



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,
Canales y Puertos

Desarrollo de un sistema de gestión del mantenimiento
predictivo de pavimentos urbanos: aplicación al barrio En
Corts de la ciudad de Valencia.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Civil

AUTOR/A: Gandía Soriano, Jorge

Tutor/a: García Segura, Tatiana

Cotutor/a: Montalbán Domingo, María Laura

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

AGRADECIMIENTOS

Gracias al respaldo de la cátedra entre la empresa TORRESCAMARA y la Universitat Politècnica de València (UPV) he podido participar durante seis meses como becario de investigación en el Departamento de Ingeniería de la Construcción y de Proyectos de Ingeniería Civil (DICPIC) de la Escuela de Caminos Canales y Puertos (ETSICCP) de València donde se ha desarrollado el presente trabajo.

Por eso, querría agradecer en este punto a las partes implicadas la confianza depositada en mí, especialmente a la empresa TORRESCAMARA, por brindarme esta oportunidad.

Por otra parte, a los compañeros del DICPIC (Carlos y Noelia), quienes me han ayudado diariamente en mis tareas, y han compartido su experiencia y conocimientos conmigo.

Y, por supuesto, agradecer especialmente a Tatiana García, Laura Montalbán y Amalia Sanz, tutoras por parte de la UPV, su atención y amabilidad tanto durante la estancia de prácticas como durante la realización del Trabajo Fin de Grado.

Por último, a mi familia y amigos, por su apoyo incondicional.

¡Gracias!

RESUMEN

Durante los últimos años, la importancia del mantenimiento de los pavimentos urbanos ha provocado que muchas agencias de carreteras hayan centrado su atención en la necesidad de preservar las redes urbanas existentes.

Actualmente, estas se gestionan mediante mantenimientos reactivos, lo que conduce a una rehabilitación de los pavimentos severa y costosa. Sin embargo, una gestión eficiente del mantenimiento debe caracterizarse por llevar a cabo acciones preventivas que disminuyan el coste y las emisiones de las actuaciones de mantenimiento. Además, una gestión del mantenimiento de pavimentos urbanos con carácter preventivo permite reducir tanto el consumo energético de los vehículos como el riesgo de accidentes de tráfico.

Si a esto se suma el deterioro periódico que sufren los pavimentos urbanos y el déficit de recursos económicos en el mantenimiento de las redes urbanas españolas, es evidente la necesidad de una mejora sustancial en la gestión eficiente del mantenimiento de pavimentos urbanos a través de la predicción de su deterioro, siendo este el objetivo del presente trabajo.

Para ello, se ha llevado a cabo la siguiente metodología: por un lado, se ha realizado un proceso previo de obtención de datos para la elaboración del modelo predictivo. Por otro lado, se ha desarrollado un sistema de gestión del mantenimiento de pavimentos urbanos propio en base a la literatura estudiada. Dicho sistema está formado por el Método *PCI* (Índice de Condición del Pavimento) para la evaluación de la condición del pavimento, el modelo de predicción propuesto mediante el uso de *RNA* (Redes Neuronales Artificiales) y el modelo de toma de decisiones.

Con los resultados del sistema de gestión propuesto es posible tomar las decisiones adecuadas respecto a las actuaciones de mantenimiento de la red, basándose principalmente en la previsión del proceso de deterioro de los pavimentos mediante las predicciones del *PCI* obtenidas, los daños presentes en los pavimentos y el coste de las actuaciones de mantenimiento durante el periodo de análisis.

El sistema de gestión propuesto se ha utilizado para determinar el plan de mantenimiento del pavimento óptimo en el barrio En Corts de la ciudad de Valencia.

RESUM

Durant els últims anys, la importància del manteniment dels paviments urbans ha provocat que moltes agències de carreteres hagen centrat la seua atenció en la necessitat de preservar les xarxes urbanes existents.

Actualment, aquestes es gestionen mitjançant manteniments reactius, la qual cosa condueix a una rehabilitació dels paviments severa i costosa. No obstant això, una gestió eficient del manteniment ha de caracteritzar-se per dur a terme accions preventives que disminuïsquen el cost i les emissions de les actuacions de manteniment. A més, una gestió del manteniment de paviments urbans amb caràcter preventiu permet reduir tant el consum energètic dels vehicles com del risc d'accidents de trànsit.

Si a tot açò s'afegeix la deterioració periòdica que pateixen els paviments urbans i el dèficit de recursos econòmics en el manteniment de les xarxes urbanes espanyoles, és evident la necessitat d'una millora substancial en la gestió eficient del manteniment de paviments urbans a través de la predicció de la seua deterioració, sent aquest l'objectiu del present treball.

Per això, s'ha dut a terme la següent metodologia: d'una banda, s'ha realitzat un procés previ d'obtenció de dades per a l'elaboració del model predictiu. D'altra banda, s'ha desenvolupat un sistema de gestió del manteniment de paviments urbans propi sobre la base de la literatura estudiada. Aquest sistema està format pel Mètode *PCI* (Índex de Condició del Paviment) per a l'avaluació de la condició del paviment, el model de predicció proposat mitjançant l'ús d'*RNA* (Xarxes Neuronals Artificials) i el model de presa de decisions.

Amb els resultats del sistema de gestió proposat és possible prendre les decisions adequades respecte a les actuacions de manteniment de la xarxa, basant-se principalment en la previsió del procés de deterioració dels paviments mitjançant del prediccions del *PCI* obtingudes, els danys presents en els paviments i el cost de les actuacions de manteniment durant el període d'anàlisi.

El sistema de gestió proposat s'ha utilitzat per a determinar el pla de manteniment del paviment òptim en el barri En Corts de la ciutat de València.

ABSTRACT

In the last years, the importance of urban pavement maintenance has led many road agencies to focus their attention on the need to preserve existing urban networks.

Currently, they are managed through reactive maintenance, and this leads to have a severe and costly pavement rehabilitation. However, efficient maintenance management should be characterised by preventive actions that reduce the cost and the emissions of maintenance actions. Moreover, preventive maintenance management of urban pavements can reduce both the energy consumption of vehicles and the risk of traffic accidents.

Considering the periodic deterioration suffered by urban pavements and the deficit of economic resources in the maintenance of Spanish urban networks, the aim of this paper becomes evident: the need for a substantial improvement in the efficient management of urban pavement maintenance through the prediction of their deterioration.

For this purpose, the following methodology was used: on the one hand, a preliminary process was carried out to obtain data for the development of the predictive model. On the other hand, based on the studied literature, a self-urban pavement maintenance management system has been developed. This system is made up of the PCI (Pavement Condition Index) method for pavement condition assessment, the prediction model using ANN (Artificial Neural Networks), and the decision-making model.

With the results of the proposed management system, it is possible to make the appropriate decisions as regards the actions of maintenance of the network by focusing on the prediction of this deterioration through *PCI* predictions that are obtained, the damage on the pavements and the cost of the actions of maintenance during the period of analysis.

The management system that was proposed has been used to determine the optimal pavement maintenance plan for the neighbourhood of *En Cortes* in the city of *Valencia*.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	1
RESUMEN	2
RESUM.....	3
ABSTRACT.....	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE ECUACIONES	11
1. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. ANTECEDENTES	12
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.3. ALCANCE	14
1.4. OBJETIVOS.....	15
2. ESTADO DEL ARTE	16
2.1. SISTEMAS DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS.....	16
2.2. INDICADORES DEL ESTADO DEL PAVIMENTO	20
2.3. MODELOS PREDICTIVOS DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO.....	24
2.4. CARACTERÍSTICAS Y VARIABLES DE LA VÍA Y DEL ENTORNO QUE INFLUYEN EN EL DETERIORO DEL PAVIMENTO	29
2.5. DAÑOS EN PAVIMENTOS	37
3. METODOLOGÍA	46
3.1. PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE LOS DATOS	47
3.1.1 OBTENCIÓN DE LOS DATOS	47
3.1.2 FILTRADO DE LOS DATOS	48
3.1.3 SELECCIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS	49
3.1.4 ORGANIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS DATOS	56
3.1.5 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE LOS DATOS.....	62

3.2. MODELO DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS URBANOS.....	66
3.2.1 EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO	66
<i>MÉTODO PCI (Índice de Condición del Pavimento)</i>	67
3.2.2 MODELO DE PREDICCIÓN DEL DETERIORO	70
<i>RED NEURONAL</i>	70
3.2.3 MODELO DE TOMA DE DECISIONES.....	77
<i>ÁRBOL DE DECISIÓN</i>	77
3.3. APLICACIÓN PRÁCTICA.....	84
3.3.1 TOMA DE DATOS.....	84
3.3.2 APLICACIÓN DEL MODELO.....	87
4. APLICACIÓN DEL MODELO DE GESTIÓN AL BARRIO EN CORTS (VALENCIA).....	94
5. RESULTADOS	98
5.1. MODELO PREDICTIVO	98
5.2. APLICACIÓN PRÁCTICA.....	105
6. CONCLUSIONES	117
7. REFERENCIAS.....	120
ANEXO I. RESULTADOS DE LOS MODELOS PREDICTIVOS	124
ANEXO II. APLICACIÓN PRÁCTICA	133
ANEXO III. PLANOS	164
ANEXO IV. PRESUPUESTO.....	171
ANEXO V. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)	183

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. SISTEMAS DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS (FHWA, 1999).	17
FIGURA 2. CARACTERÍSTICAS Y VARIABLES DE LA VÍA Y DEL ENTORNO INFLUYENTES EN EL DETERIORO DEL PAVIMENTO (YOUNOS ET AL., 2020).	29
FIGURA 3. INFLUENCIA DE LA EDAD DEL PAVIMENTO (LLOPIS-CASTELLÓ ET AL., 2020).	31
FIGURA 4. INFLUENCIA DEL VOLUMEN DE TRÁFICO (KESAL) (LLOPIS-CASTELLÓ ET AL., 2020). .	32
FIGURA 5. INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS (AAS) (LLOPIS-CASTELLÓ ET AL., 2020).	34
FIGURA 6. INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS (AAT) (LLOPIS-CASTELLÓ ET AL., 2020).	34
FIGURA 7. TIPOLOGÍAS DE DETERIOROS.	38
FIGURA 8. IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS DAÑOS (SIRHAN ET AL., 2022).	44
FIGURA 9. REPRESENTACIÓN DEL PCI EN FUNCIÓN DEL ÁREA (SIRHAN ET AL., 2022).	45
FIGURA 10. PROGRAMA <i>LONG-TERM PAVEMENT PERFORMANCE</i> (LLOPIS-CASTELLÓ ET AL., 2020).	48
FIGURA 11. ZONAS CON NIVEL DE PRECIPITACIÓN ANUAL SEMEJANTE (NORMA6.3 IC: REHABILITACIÓN DE FIRMES, 2003).	63
FIGURA 12. ZONAS TÉRMICAS ESTIVALES (NORMA6.3 IC: REHABILITACIÓN DE FIRMES, 2003). 64	
FIGURA 13. CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DEL PAVIMENTO SEGÚN EL VALOR DEL PCI (YOUNOS ET AL., 2020).	67
FIGURA 14. REPRESENTACIÓN DE UNA RED NEURONAL FFNN SINGLE-LAYER PERCEPTRON (COMPUTER AGE STATICAL INFERENCE, 2016).	71
FIGURA 15. REPRESENTACIÓN FUNCIÓN ACTIVACIÓN LINEAR (HTTPS://BOOTCAMP.MEDIUM.COM/).	73
FIGURA 16. REPRESENTACIÓN FUNCIÓN ACTIVACIÓN RELU (HTTPS://BOOTCAMP.MEDIUM.COM/).	74
FIGURA 17. REPRESENTACIÓN FUNCIÓN ACTIVACIÓN SIGMOID (HTTPS://BOOTCAMP.MEDIUM.COM/).	74
FIGURA 18. REPRESENTACIÓN FUNCIÓN ACTIVACIÓN TANH (HTTPS://BOOTCAMP.MEDIUM.COM/).	75
FIGURA 19. ‘GUÍA PRINCIPAL PARA LA ELECCIÓN DE LA ACTUACIÓN’.	80
FIGURA 20. ‘TABLA LEYENDA DE LAS ACTUACIONES’.	81
FIGURA 21. ‘TABLA DAÑOS-ACTUACIÓN’.	81

FIGURA 22. ‘TABLA JERARQUÍA DE LAS ACTUACIONES’	82
FIGURA 23. ESTACIÓN METEOROLÓGICA PENYA-ROJA ASOCIADA A AVAMET (WWW.AVAMET.ORG).	86
FIGURA 24. PLANO DE LOS DISTRITOS DE LA CIUDAD DE VALENCIA (AYUNTAMIENTO DE VALENCIA).	94
FIGURA 25. PLANO DEL DISTRITO QUATRE CARRERES (AYUNTAMIENTO DE VALENCIA).	95
FIGURA 26. PLANO DEL BARRIO EN CORTS (AYUNTAMIENTO DE VALENCIA).	96
FIGURA 27. REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LOS MODELOS.	100
FIGURA 28. DATOS DE LAS PREDICCIONES (RED NEURONAL PROPIA).	102
FIGURA 29. ERROR ABSOLUTO MEDIO Y ERROR CUADRÁTICO MEDIO (RED NEURONAL PROPIA).	102
FIGURA 30. ERRORES DE LAS PREDICCIONES (RED NEURONAL PROPIA).	103
FIGURA 31. REPRESENTACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DEL PCI EN EL TIEMPO.	106
FIGURA 32. TIPOS DE ACTUACIONES EN LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 1.	112
FIGURA 33. COSTE PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 1.	113
FIGURA 34. TIPOS DE ACTUACIONES EN LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 2.	113
FIGURA 35. COSTES PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 2.....	114
FIGURA 36. TIPOS DE ACTUACIONES EN LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 3.	115
FIGURA 37. COSTES PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 3.....	115
FIGURA 38. REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MODELO "DAÑOS_PCI_T".	125
FIGURA 39. REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MODELO "DAÑOS_PCI_T_PLL-M". .	126
FIGURA 40. REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MODELO “DAÑOS_PCI_T_VWS”	127
FIGURA 41. REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MODELO “DAÑOS_PCI_T_VWS_PLL-M”	128
FIGURA 42. REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MODELO “DAÑOS_PCI_T_VWS_TRF”	129
FIGURA 43. REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MODELO “DAÑOS_PCI_T_TRF_PLL-M”	130
FIGURA 44. REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MODELO “DAÑOS_PCI_T_VWS_TRF”	131
FIGURA 45. REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MODELO “DAÑOS_PCI_T_VWS_TRF_PLL-M”	132

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. MODELOS DE RELACIONES ENTRE INDICADORES HALLADOS EN LA LITERATURA.	23
TABLA 2. MODELOS PREDICTIVOS A PARTIR DE REDES NEURONALES EXISTENTES EN LA LITERATURA.....	27
TABLA 3. MODELOS Y VARIABLES EMPLEADAS EN EL CÁLCULO DEL DETERIORO DEL PAVIMENTO EXISTENTES EN LA LITERATURA.	30
TABLA 4. VARIABLES INFLUYENTES EN EL DETERIORO DEL PAVIMENTO.	36
TABLA 5. TIPOLOGÍAS DE DETERIOROS.	39
TABLA 6. DATOS DEL PAVIMENTO PARA LA CLASIFICACIÓN DE LAS SECCIONES.	50
TABLA 7. COLUMNAS DE INTERÉS DE LAS TABLAS DE TRÁFICO.	52
TABLA 8. COLUMNAS DE INTERÉS DE LAS TABLAS DE CLIMA VWS.	54
TABLA 9. VARIABLES CONTEMPLADAS EN LA TABLA MAESTRA.	58
TABLA 10. ÁREAS CLIMÁTICAS EN ESPAÑA.	65
TABLA 11. EJEMPLO DE OBTENCIÓN DE UN VALOR DE PCI.	69
TABLA 12. COMBINACIONES DE LAS VARIABLES DE ENTRADA EN LOS MODELOS PROPUESTOS.	76
TABLA 13. COMBINACIÓN DE LAS FUNCIONES DE ACTIVACIÓN EN LOS MODELOS PROPUESTOS.	76
TABLA 14. COMBINACIÓN DE LAS ZONAS CLIMÁTICAS CONTEMPLADAS EN LOS MODELOS PROPUESTOS.	77
TABLA 15. CLASIFICACIÓN SEGÚN LOS GRUPOS DE DAÑOS.	78
TABLA 16. CLASIFICACIÓN DE LOS DAÑOS EXISTENTES.	78
TABLA 17. CLASIFICACIÓN DE LAS ACTUACIONES SEGÚN EL VALOR DEL PCI.	79
TABLA 18. ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN LA CIUDAD DE VALENCIA (AVAMET).....	85
TABLA 19. ACTUACIONES PARA LAS SECCIONES CON FISURAS LONGITUDINALES.	88
TABLA 20. ACTUACIONES PARA LAS SECCIONES CON FISURAS TRANSVERSALES.	89
TABLA 21. ACTUACIONES PARA LAS SECCIONES CON FISURAS EN FORMA DE PIEL DE COCODRILO.	90
TABLA 22. ACTUACIONES PARA LAS SECCIONES CON PARCHES.	91
TABLA 23. ACTUACIONES PARA LAS SECCIONES CON BACHES O HUECOS.	92
TABLA 24. ACTUACIONES PARA LAS SECCIONES CON METEORIZACIÓN Y DESPRENDIMIENTO. .	93
TABLA 25. RESULTADOS DE LOS DOS MEJORES MODELOS.....	100
TABLA 26. EJEMPLO DE LA VARIACIÓN DEL <i>PCI</i> SEGÚN LOS DIFERENTES TIPOS DE DAÑOS. ...	104
TABLA 27. EJEMPLO DE LA ELECCIÓN DEL TIPO DE ACTUACIÓN EN LAS SECCIONES.	108

TABLA 28. EJEMPLO PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 1.....	109
TABLA 29. EJEMPLO PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 2.....	110
TABLA 30. EJEMPLO PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 3.....	111
TABLA 31. RESULTADOS DEL MODELO "DAÑOS_PCI_T".....	125
TABLA 32. RESULTADOS DEL MODELO "DAÑOS_PCI_T_PLL-M".....	126
TABLA 33. RESULTADOS DEL MODELO "DAÑOS_PCI_T_VWS"	127
TABLA 34. RESULTADOS DEL MODELO "DAÑOS_PCI_T_VWS_PLL-M"	128
TABLA 35. RESULTADOS DEL MODELO "DAÑOS_PCI_T_VWS_TRF"	129
TABLA 36. RESULTADOS DEL MODELO "DAÑOS_PCI_T_TRF_PLL-M"	130
TABLA 37. RESULTADOS DEL MODELO "DAÑOS_PCI_T_VWS_TRF"	131
TABLA 38. RESULTADOS DEL MODELO "DAÑOS_PCI_T_VWS_TRF_PLL-M".	132
TABLA 39. DESCRIPCIÓN DE LA RED OBJETO DE ESTUDIO.	138
TABLA 40. SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED.	143
TABLA 41. PREDICCIONES DEL PCI.	148
TABLA 42. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 1.	153
TABLA 43. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 2.	158
TABLA 44. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 3.	163
TABLA 45. CUADRO DE PRECIOS.....	173
TABLA 46. COSTE DE LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 1.	176
TABLA 47. COSTE DE LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 2.	179
TABLA 48. COSTE DE LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 3.	182
TABLA 49. GRADO DE RELACIÓN DEL TFG CON LOS ODS.....	184

ÍNDICE DE ECUACIONES

(1). VARIABLES DE TRÁFICO ACUMULADAS SEGÚN LA EDAD DEL PAVIMENTO.	51
(2). NÚMERO DE VALORES A CONSIDERAR PARA LA OBTENCIÓN DEL PCI.	67
(3). OBTENCIÓN DEL VALOR DEL PCI.	69
(4). VALOR NETO DE ENTRADA A UNA NEURONA EN FORMA DE SUMATORIO.	71
(5). VALOR NETO DE ENTRADA A UNA NEURONA EN FORMA MATRICIAL.	71
(6). VALOR DE ACTIVACIÓN A LOS VALORES DE ENTRADA.	71
(7). FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN ReLU.	72
(8). FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN SIGMOID.	73
(9). FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN TANH.	74

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

En este primer apartado se establecen los antecedentes jurídicos que justifican la realización de este Trabajo Fin de Grado.

El Real Decreto 1393/2007 del 29 de octubre, a partir del cual se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales, modificado por el RD 861/2010 dispone, con carácter general, “...establecen que todos los títulos oficiales concluirán con la elaboración y defensa de un Trabajo Fin de Grado (TFG) o Trabajo Fin de Máster (TFM), según el caso...”.

La normativa de aplicación es la Normativa Marco de Trabajo Fin de Grado y Fin de Máster de la Universidad Politécnica de València, en la que se establece en el artículo 3 que “los TFG deberán estar orientados a la aplicación y evaluación de competencias asociadas al título” y “consistirán en la realización de un trabajo o proyecto original en el que queden de manifiesto conocimientos, habilidades y competencias adquiridas por el estudiante a lo largo de sus estudios y, expresamente, las competencias asociadas a la materia TFG, tal y como se indique en la memoria de verificación”.

Este trabajo académico ha sido desarrollado en el marco de prácticas en empresa en UPV con título “Mantenimiento predictivo de vías urbanas mediante técnicas de inteligencia artificial” donde el autor ha trabajado como becario contratado en el Departamento de Ingeniería de la Construcción y de Proyectos de Ingeniería Civil (DICPIC). Este proyecto formativo está integrado en el programa Cátedra TORRESCÁMARA-UPV con la finalidad de promocionar y desarrollar la colaboración entre la Universidad y la Empresa, conectando a los alumnos con el mundo de la Empresa, facilitando colaboraciones y respaldo técnico de la Universidad a la Empresa, y fomentando en la Empresa la inversión en I+D y el desarrollo de nuevas tecnologías.

Este Trabajo Fin de Grado ha sido elaborado por el alumno Jorge Gandía Soriano, para la obtención del Grado en Ingeniería Civil. Se titula “Desarrollo de un sistema de gestión del mantenimiento predictivo de pavimentos urbanos: aplicación al barrio En Cortes de la ciudad de València”. El título fue solicitado en mayo de 2022 y fue aprobado por la Comisión Académica de Título (CAT).

Su tutor académico es Tatiana García Segura, miembro del Departamento de Ingeniería de la Construcción y de Proyectos de Ingeniería Civil (DICPIC), y su cotutor Laura Montalbán Domingo, miembro del Departamento de Ingeniería de la Construcción y de Proyectos de Ingeniería Civil (DICPIC).

Fue entregado y presentado en septiembre de 2022.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años, se ha producido un fenómeno urbanizador importante en todo el territorio español, muy superior al experimentado en cualquier país de Europa. Este crecimiento ha partido de la expansión de grandes centros urbanos en ciertas zonas, como Madrid y todo el arco Mediterráneo, donde la movilidad es el denominador común, que debe resolverse y mejorarse.

Por este motivo y con el fin de favorecer la conexión y vertebración del territorio, cada vez son más las políticas de movilidad urbana que persiguen promover una red equilibrada y sostenible de transporte público de calidad. No obstante, el vehículo privado motorizado sigue siendo el modo de transporte más utilizado en el ámbito urbano. Es más, la necesidad de reinventar el espacio urbano con la consiguiente disminución de la densidad de los centros urbanos ha provocado una mayor dependencia del vehículo privado.

Asimismo, la incertidumbre entre las políticas de movilidad urbana provoca una situación de continuos cambios en cuanto a la geometría de la vía y la capacidad, y la intensidad y tipo de tráfico, que influyen de manera directa en la gestión y el mantenimiento de los pavimentos urbanos. Si a esto se suma el deterioro periódico que sufren los pavimentos y el déficit en mantenimiento en las carreteras españolas en general, como denuncia la Asociación Española de la Carretera (AEC) según los resultados del informe titulado “Necesidades de una inversión en Conservación” (2020), se llega a la necesidad de una mejora sustancial en la gestión eficiente del mantenimiento y conservación de pavimentos urbanos. Además, se insiste en el inevitable vínculo entre el estado de la calzada y la seguridad vial y prevención de accidentes.

En línea con el desarrollo sostenible y según las afirmaciones de la Fundación CEA (Comisariado Europeo del Automóvil), una mala planificación del mantenimiento de pavimentos urbanos supone, además de sobrecostes económicos durante su explotación, un aumento del consumo

energético de los vehículos, disminuyendo su vida útil hasta un 25%, así como un incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero, con sus consecuentes problemas medioambientales y riesgos para la salud. Adicionalmente, una vía en mal estado aumenta tanto la probabilidad de cometer errores al volante como la ocurrencia de accidentes de tráfico.

Conviene resaltar que, actualmente, se lleva a cabo un mantenimiento de los pavimentos urbanos de carácter reactivo tradicional, es decir, prescribe la sustitución de la carretera una vez que un daño estructural es significativo. Este enfoque conduce a una rehabilitación más severa y costosa, que puede causar condiciones inseguras para los usuarios de la carretera antes de las intervenciones. Sin embargo, una adecuada planificación del mantenimiento de pavimentos debe caracterizarse por ser preventiva. Por lo que, un enfoque proactivo está orientado a la conservación del pavimento y pretende crear un sistema que implemente reparaciones a menor escala en las carreteras antes de que se produzcan degradaciones estructurales, limitando la necesidad de reconstruir las carreteras en toda su profundidad.

Por estos motivos, es evidente la necesidad de una mejora sustancial en la gestión eficiente del mantenimiento y conservación de pavimentos urbanos a través de la predicción de su deterioro con el paso del tiempo.

1.3. ALCANCE

La necesidad de abordar el problema planteado muestra, por tanto, el alcance de este Trabajo de Fin de Grado, que consiste en: mejorar la gestión eficiente del mantenimiento de pavimentos urbanos en la ciudad de València a través de la predicción de su deterioro y desde un punto de vista sostenible. Se trata de elaborar una herramienta de gestión que sea capaz de aportar información suficiente al técnico con el fin de establecer la planificación de mantenimiento óptima de una red viaria urbana. Esta herramienta se centra en pavimentos flexibles urbanos.

El sistema de gestión desarrollado será utilizado en un caso práctico particular en la ciudad de Valencia con el fin de mostrar la posibilidad de su inmediata aplicación a las administraciones, empresas privadas y profesionales encargados de la gestión del mantenimiento de redes viarias urbanas. Este caso práctico se realizará en el barrio En Corts de la ciudad de València (España).

1.4. OBJETIVOS

El objetivo del presente Trabajo Fin de Grado es desarrollar un sistema de gestión del mantenimiento de pavimentos urbanos en base a un modelo predictivo que permita predecir la condición futura del pavimento de vías urbanas mediante técnicas de inteligencia artificial.

Esta herramienta pretende dar respuesta a la más que necesaria gestión y planificación de las inversiones de conservación en materia de pavimentos de vías urbanas de forma que con los resultados de este modelo se podrán priorizar las actuaciones de mantenimiento y conservación de la red, basándose principalmente en la previsión del proceso de deterioro de los pavimentos mediante las predicciones del *PCI* obtenidas, los daños presentes en los pavimentos y el coste de las actuaciones de mantenimiento durante el periodo de análisis.

El sistema de gestión propuesto se utilizará para determinar el plan de mantenimiento del pavimento óptimo en el barrio En Corts de la ciudad de València.

Para la consecución de dicho objetivo principal, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Estudiar los modelos existentes publicados en la literatura.
- Analizar las relaciones entre los indicadores del estado del pavimento y las relaciones entre los daños y los indicadores.
- Determinar las características de la vía y del entorno que producen cambios significativos en el deterioro del pavimento.
- Diseñar un modelo de mantenimiento predictivo mediante técnicas de inteligencia artificial.
- Aplicación del modelo a la ciudad de València.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. SISTEMAS DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS

La importancia del mantenimiento de los pavimentos urbanos no sólo se limita a la mejora en la circulación de los vehículos, sino que afecta a otros muchos aspectos como la reducción en el riesgo de accidentes, el consumo de combustible o las emisiones de gases de efecto invernadero. Por ello, las decisiones sobre el mantenimiento y la rehabilitación de los pavimentos presentan un gran reto para las agencias de carreteras de todo el mundo.

Para superar este reto, muchas agencias de carreteras han establecido procedimientos y prácticas con el fin de preservar su red de pavimentos tomando la decisión de mantenimiento adecuada en el momento oportuno, como lo es un **Sistema de Gestión de Pavimentos (SGP)**. Dichas prácticas se ven normalmente limitadas por muchos factores, como la falta de datos, de personal, de financiación y de experiencia (Wotring et al., 1998).

El SGP se define como un "conjunto de herramientas o métodos que ayudan a los responsables de la toma de decisiones a encontrar estrategias óptimas para proporcionar y mantener los pavimentos en condiciones de servicio durante un periodo de tiempo determinado" (Haas et al., 1994). El SGP prioriza las carreteras que más necesitan una acción de Mantenimiento y Rehabilitación (M&R) y recomienda la acción adecuada para cada pavimento basándose en el rendimiento y el estado de cada segmento de la red de carreteras (Sirhan et al., 2022).

La *Federal Highway Association of America* (FHWA, 1999), esquematiza el SGP como indica la siguiente figura:

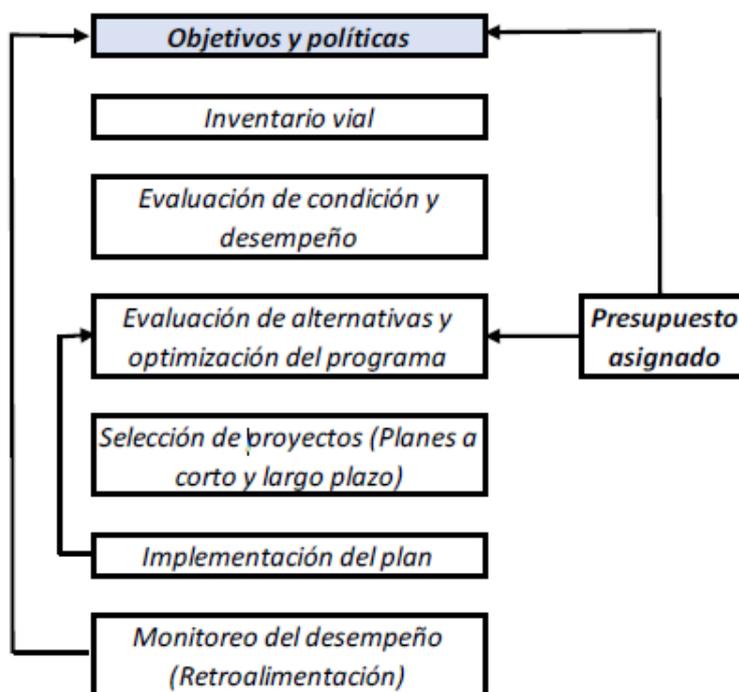


FIGURA 1. SISTEMAS DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS (FHWA, 1999).

La evaluación fiable y precisa del estado de la red de pavimentos existente es un componente muy importante para el éxito de los Sistemas de Gestión de Pavimentos.

Esta evaluación se ha logrado históricamente a través de una inspección visual anual del estado del pavimento. Por ejemplo, el agrietamiento de la superficie del pavimento se evalúa mediante una calificación de la superficie y defectos dominantes para cada tramo de la red de pavimento *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 2007). Sin embargo, ahora se dispone de nuevas tecnologías para medir otros problemas importantes del pavimento a nivel de la red. La obtención de imágenes de la superficie del pavimento mediante la fotografía o la digitalización y la medición del perfil del pavimento mediante sensores no táctiles son ejemplos de estas tecnologías (Mascio et al., 2007). Wang et al. (2015) utilizaron sensores basados en imágenes láser 3D para el estudio del deterioro del pavimento. Esta tecnología produce un perfil longitudinal para la rugosidad y un perfil transversal para las roderas (Elhadidy et al., 2021).

Debido a que no existe una guía estándar para clasificar y cuantificar los deterioros del pavimento en cuanto a su tipo, severidad y cuantificación, así como evaluar la condición del pavimento mediante indicadores, diferentes investigadores y administraciones han propuesto sus propias guías para su uso en una determinada región o país. Una de las referencias más conocidas y difundidas es la *ASTM*, que proporciona criterios de identificación y clasificación de

los deterioros para los pavimentos flexibles y rígidos. Otra referencia estadounidense que se utiliza habitualmente es el manual incluido en el programa *Long-Term Pavement Performance* (LTPP), definido por la *Federal Highway Administration of America* (FHWA), que estandariza la recolección de datos sobre el estado del pavimento y las actividades de Mantenimiento y Rehabilitación (M&R) en Estados Unidos y Canadá. Esta clasificación es relevante por su amplia experiencia y por su orientación internacional e integridad de la clasificación.

Asimismo, los antecedentes europeos en materia de identificación y gestión de las dificultades se limitan a algunos casos aislados. De hecho, sólo el Instituto Francés de Ciencia y Tecnología para el Transporte y la Asociación Suiza de Profesionales de la Carretera y el Transporte han desarrollado un enfoque sistemático en la identificación de los problemas del firme en sus directrices, mientras que sólo recientemente, Irlanda ha incluido la evaluación del pavimento de las carreteras, que se basa únicamente en la evaluación del estado de la superficie. En Italia, la difusión de los procedimientos estándar para la identificación de los deterioros es escasa y se limita a las directrices del Consejo Nacional de Investigación y a un caso aislado de aplicación de cualquier funcionario de carreteras.

El objetivo común de todos los catálogos de daños mencionados anteriormente es proporcionar un conjunto de criterios comunes, lo más objetivo posible, para la evaluación de las carreteras y definir estrategias de gestión. De hecho, casi todos los métodos para llevar a cabo un sistema de gestión de pavimentos se basan en el desarrollo de indicadores del estado del pavimento para expresar el rendimiento estructural y operativo, mediante la combinación de diferentes tipos de daños expresados en términos de gravedad y extensión, como el Índice de Condición del Pavimento (PCI) (Ragnoli et al., 2018).

Por tal razón, diversas organizaciones, entidades gubernamentales e investigadores han centrado su atención en la gestión de pavimentos empleando técnicas propias tanto de gestión y evaluación de los pavimentos como de la respectiva toma de datos. A continuación se detallan algunos ejemplos:

- El Ministerio de Transporte y el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) de Colombia fue una de las primeras organizaciones en realizar grandes esfuerzos en materia de la gestión vial, desarrollando un programa de mantenimiento integral de redes viarias, en el que se incluían 11 redes importantes cubriendo una longitud total de 1.987 kilómetros.

- El Banco Mundial (BM), considera indispensable una buena gestión de la infraestructura y la hace efectiva a partir del programa *Highway Development and Management* (HDM-4), considerando aspectos como la calidad de la rodadura, los costos del usuario, los costos de conservación, construcción, y el valor residual de la vía.
- Agencias como el *International Road Assessment Program* (IRAP), emplean una metodología para la gestión basada en la seguridad vial y en la medición del riesgo asociado con el estado de las carreteras.
- Adicionalmente, la *Roadware Corporation* desarrolló el Analizador Automático de Caminos (ARAN), el cual entrega medidas de la profundidad de rodadura por medio de siete sensores ultrasónicos, instalados en la parte frontal del vehículo.
- En Suecia, se utiliza el sistema láser *Road Surface Tester* (RST) desarrollado para medir la profundidad de las grietas, su anchura y la profundidad de la rodadura de neumático, es capaz de medir la distancia recorrida, el perfil longitudinal y la macrotextura de la superficie.
- En el ámbito nacional colombiano, el sistema (SICAIPAV), desarrollado por investigadores de la Universidad de Santander (Colombia), captura imágenes de las grietas del pavimento a través de una cámara de escaneo por línea (Macea-Mercado et al., 2016).
- En España, el Ayuntamiento de Madrid mediante la dinámica “Madrid Avisa” prioriza el confort de los usuarios en la gestión del mantenimiento de los pavimentos (Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad, 2013).

2.2. INDICADORES DEL ESTADO DEL PAVIMENTO

La evaluación del comportamiento del pavimento mediante indicadores del estado del mismo es también un componente básico de cualquier Sistema de Gestión de Pavimentos. Tiene por objeto establecer un diagnóstico que permita al ingeniero seleccionar la actuación de mantenimiento óptima en cada caso.

El proceso de recopilación de la información se puede hacer de dos formas según la amplitud y el detalle precisos en cada caso: (i) inspección mediante auscultaciones y (ii) inspección visual.

INDICADORES CON INFORMACIÓN OBTENIDA MEDIANTE AUSCULTACIONES

Los indicadores más utilizados por los principales órganos gestores españoles en este caso son; el Índice de Regularidad Superficial (IRI), la profundidad de las roderas (RD) y el Coeficiente de Rozamiento Transversal (CRT).

La rugosidad del pavimento puede cuantificarse mediante el Índice Internacional de Rugosidad (IRI). El IRI fue desarrollado por el Banco Mundial en la década de 1980 según ARA, ERES Consultants (2004), y se define como "el movimiento vertical acumulado de la suspensión dividido por la distancia recorrida, obtenido a partir de un modelo matemático de un cuarto de coche simulado que atraviesa un perfil medido a 80 km/ h". Además, muchas agencias de carreteras de todo el mundo consideran el valor IRI inicial como un criterio de garantía de calidad, mientras que el IRI terminal es un indicador de las acciones de mantenimiento del pavimento o de las necesidades de reconstrucción. La rugosidad del pavimento está directamente relacionada con la calidad de la conducción, el confort y la seguridad, ya que es una de las causas principales de accidente. Para la medida de esta característica se pueden emplear aparatos como los perfilógrafos y los viágrafos (Peraka y Biligiri et al., 2020).

La profundidad de las roderas (RD) mide la deflexión longitudinal del pavimento a lo largo de la trayectoria de la rueda como consecuencia de la acumulación de deformaciones de las capas y la subrasante. Las principales causas del ahuecamiento son la repetición de la carga de tráfico pesado o el movimiento lateral del material de las capas. Se trata de un indicador importante que está relacionado con la seguridad vial, ya que, en condiciones de humedad, un nivel elevado de roderas puede facilitar los fenómenos de hidropilaje y la pérdida de control de los vehículos. La medición de la RD es sencilla, pero requiere una gran precisión en la adquisición de datos;

puede calcularse a partir de perfiles obtenidos con cualquier método de medición válido, desde equipos topográficos de varilla y nivel estáticos hasta sistemas de perfilado inercial de alta velocidad.

Asimismo, el CRT tiene por objeto medir la adherencia de los neumáticos a la capa de rodadura. Por lo que, de igual manera que el RD, se trata de un indicador importante que está relacionado con la seguridad vial, ya que, en condiciones de humedad, un nivel elevado de roderas puede facilitar los fenómenos de hidroplaneo y la pérdida de control de los vehículos.

INDICADORES CON INFORMACIÓN OBTENIDA MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL

En este caso se obtienen otros indicadores como el Índice de Condición del Pavimento (PCI), el Índice de la Condición de Pavimentos Urbanos (UPCI) y el Índice de Servicio Actual (PSI), que también se han utilizado comúnmente para asignar estrategias de mantenimiento para los pavimentos existentes (Shah et al. 2013).

Entre las metodologías más comunes se encuentra el **Índice de Condición del Pavimento** (*Pavement Condition Index, PCI*). Se trata de una medida exhaustiva del estado actual del pavimento que se basa en los deterioros superficiales observados y en un sólido análisis estadístico para el muestreo del pavimento. También indica la integridad estructural del pavimento y el estado operativo de la superficie (ASTM, 2007). Examina 19 deterioros diferentes (grietas en forma de piel de cocodrilo, parcheo, exudación, pulimento de agregados, agrietamiento en bloque, huecos, abultamientos y hundimientos, cruce de vía férrea, corrugación, ahuellamiento, depresión, desplazamiento, grietas de borde, grietas parabólicas, grietas de reflexión de junta, hinchamiento, desnivel carril/berma, desprendimiento de agregados y/o meteorización y grietas longitudinales y transversales) con distintos niveles de severidad (baja, media y alta) y su extensión. Los datos para la determinación del *PCI* se recopilan mediante una inspección visual o métodos de estudio basados en imágenes. Los métodos de inspección basados en imágenes, que utilizan un vehículo para recoger películas, vídeos o imágenes digitales del sistema de pavimento, son más rápidos y seguros.

El *UPCI* fue desarrollado por Osorio et al. en 2014 como parte del proyecto “*Research and Development of Solutions for Urban Pavement Management in Chile*” con la finalidad de analizar las condiciones de pavimentos urbanos. Se basa en mediciones objetivas de los daños comúnmente existentes en la superficie del pavimento y en evaluaciones realizadas por un panel

de expertos. La metodología de obtención del *UPCI*, es muy similar a la del *PCI*; se realiza mediante inspección visual, donde se detecta la tipología, cantidad y severidad del daño. Posteriormente mediante fórmulas establecidas, y de la misma forma que para el *PCI*, se determina el índice que puede ir de 1 a 10, siendo 1 la peor de las condiciones y 10 la mejor. Según la escala, un pavimento promedio necesita rehabilitación cuando el $UPCI \leq 4$, preservación cuando $4 < UPCI \leq 8$ y mantenimiento rutinario cuando $UPCI > 8$. Aunque ha sido desarrollado especialmente para redes viales urbanas, sus autores recomiendan que, para su utilización en una localización diferente a la de donde fue desarrollado (Chile), se deben definir los índices de calidad *UPCI* en caso de querer adaptar el método a otro tipo de clima o red vial.

Otro de los indicadores que se utilizan para evaluar la condición del pavimento es el índice de servicio actual (*PSI*). Es un parámetro que se utiliza para describir el estado funcional del pavimento con respecto a la calidad de la conducción. Proporciona una valoración de la capacidad de la carretera para servir al tráfico y tiene en cuenta varias características de la carretera, como la varianza de la pendiente, la profundidad de las roderas, el agrietamiento y la superficie de parcheo. El *PSI* se utiliza para proporcionar una evaluación completa de las condiciones del pavimento, tanto para los aspectos de seguridad como de confort. La complejidad hace que sean necesarios varios datos de entrada para el cálculo (Peraka y Biligiri, 2020).

RELACIÓN ENTRE INDICADORES DEL ESTADO DEL PAVIMENTO Y EL PCI

Por un lado, según Elhadidy et al., (2021) los estudios presentados mostraron que tanto el *IRI* como el *PCI* son función de los problemas del pavimento. Por lo tanto, debería existir una relación entre el *IRI* y el *PCI*. A pesar de ello, fueron pocos los investigadores que exploraron la relación *IRI-PCI* con una validez estadística aceptable.

Con todo, Elhadidy et al. (2021) desarrollaron un modelo que relacionaba el *PCI* con el *IRI* utilizando la base de datos del *LTPP* como fuente de datos. El enfoque de modelización adoptado fue el análisis de regresión; así, se desarrolló un modelo de regresión simplificado en forma de función sigmoidea. El conjunto de datos incluía 1.448 secciones de pavimento del *LTPP* procedentes de los Estudios Generales de Pavimentos (*GPS*) y de los Estudios Específicos de Pavimentos (*SPS*), formando 1.744 registros de datos.

De la misma forma, Park et al. (2007) establecieron una relación de poder entre el *PCI* y el IRI utilizando datos de nueve estados y provincias de América del Norte.

Dewan y Smith et al. (2002) presentaron otro modelo para el cálculo del IRI en función del *PCI* de las ciudades y condados de la zona de la bahía de California, con la intención de utilizar el modelo en la estimación de los costes/beneficios del usuario para su SGP.

En otro trabajo, Arhin et al. (2015) propusieron modelos de predicción del *PCI* mediante el IRI para una zona urbana densa por clasificación funcional y tipo de pavimento en el Distrito de Columbia.

A pesar del gran esfuerzo realizado, los modelos de la literatura que correlacionan el *PCI* con el IRI se basan únicamente en datos limitados que no cubren una amplia gama de valores de IRI y *PCI* que representan la amplia y variable gama de condiciones de los pavimentos. Además, la precisión de estos modelos era, en su mayoría, de escasa a regular.

A continuación, se muestra mediante una tabla resumen las referencias más ilustrativas en materia del actual estado de la investigación. Además, se puede observar las ecuaciones de los modelos obtenidos en dicho estudios para el cálculo del *PCI* y su coeficiente de determinación R^2 .

TABLA 1. MODELOS DE RELACIONES ENTRE INDICADORES HALLADOS EN LA LITERATURA.

Índice	Ecuación del modelo	R^2	Referencia
IRI	$IRI = 0,0171(153 - PCI)$	0,530	(Dewan y Smith et al., 2002)
PCI	$\log PCI = 2 - 0,436(\log IRI)$	0,590	(Park et al., 2007)
PCI	$PCI_{ASP} = -0,224(IRI_{ASP}) + 120,02$	0,820	(Arhin et al., 2015)
PCI	$79,933 IRI = 14,061 + \exp(0,048 * PCI)$	0,995	(Elhadidy et al., 2021)

Otros indicadores como el IRI y la RD se centran únicamente en características específicas (rugosidad y deformación), están lejos de describir exhaustivamente el estado actual del pavimento; además, si se tiene en cuenta el nivel de precisión exigido, las actividades de estudio resultan caras y requieren mucho tiempo (Peraka y Biligiri, 2020).

2.3. MODELOS PREDICTIVOS DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO

Los modelos de predicción de condiciones son un componente clave en los sistemas de gestión de infraestructuras, pues permiten una efectiva planificación a largo plazo, así como la posibilidad de coordinar actividades de mantenimiento.

En el caso de los pavimentos, los modelos predictivos deben ser capaces de detectar los deterioros tanto de la estructura de firmes inicial como de la estructura de firmes después de haber recibido algún tipo de mantenimiento. George, Rajagopal, y Lim et al. (1989) señalan que la medición y predicción del rendimiento de un pavimento es un elemento crítico de cualquier sistema de gestión de pavimentos.

Estos mismos autores clasifican los modelos predictivos en dos tipos: determinísticos y probabilísticos. Los modelos determinísticos incluyen respuesta primaria, rendimiento estructural, rendimiento funcional y modelos de daño. Todos ellos pueden ser de carácter empírico, lo que implica regresiones numéricas o correlaciones del tipo mecánico-empíricas. En cuanto a los modelos probabilísticos se incluyen las cadenas de Markov y curvas de supervivencia.

Como indica Osorio-Lird et al. (2018) se pueden emplear diferentes métodos que permiten desarrollar los modelos de predicción, entre los que destacan:

- Análisis de regresión estadística
- Redes neuronales artificiales
- Modelos bayesianos
- Cadenas de Markov y simulación de Monte Carlo
- Otros

Organismos como la *AASHTO*, el Análisis de Costos de Pavimentos de Ontario y el Departamento de Transporte de Nevada, así como varios investigadores, han desarrollado métodos deterministas debido a que son realmente sencillos de entender y aplicar.

Por un lado, el análisis de regresión estadística es el método determinista más utilizado para desarrollar modelos de predicción de pavimentos. Los modelos de regresión pueden utilizarse para determinar la relación no lineal existente entre un indicador del estado del pavimento y

una característica de la vía o del entorno que influya en su deterioro (Mohamed et al., 2022; Amin et al., 2015). Además, han demostrado ser eficientes con grandes muestras de datos experimentales e históricos. Sin embargo, presentan dos principales desventajas. Por un lado, estos modelos no pueden extrapolarse más allá de los límites de los datos experimentales y generan un único valor de la variable dependiente. Por ejemplo, las cargas de tráfico y las condiciones climáticas que afectan al Índice de Condición del Pavimento tienen características aleatorias y, por tanto, la cuantificación de los parámetros que afectan sustancialmente al deterioro del pavimento es difícil (Mohamed et al., 2022). Por otro lado, el desarrollo y la precisión de los modelos de predicción mediante regresión depende de la disponibilidad de información histórica, incluido el estado a lo largo del tiempo y la edad del pavimento (TAC, 2013).

Entre los modelos basados en el análisis de regresión, cabe mencionar los desarrollados por Arambula et al. (2011), Dong et al. (2015) y Hassan et al. (2017). Ya que, en todos los casos, se recurrió al manual *Long Term Pavement Performance* (LTPP), que permite la descarga gratuita de los datos históricos sobre el estado del pavimento en multitud de secciones viarias, tanto urbanas como interurbanas en EE. UU. y Canadá. Sin embargo, Kargah-Ostadi et al. (2019) lograron modelar una curva de *PCI* para pavimentos urbanos en función del tiempo apoyada en el nivel de daño, que era calculada como la diferencia entre el valor del *PCI* entre dos mediciones consecutivas dividida por el tiempo transcurrido entre ambas mediciones. Estas tasas fueron agrupadas en función del nivel del *PCI* inicial y, para cada nivel establecido, se calculó la tasa de daño media. Partiendo de estos valores, construyeron la curva de daño del *PCI* y calibraron el correspondiente modelo de regresión en función de la edad del pavimento urbano.

Por otro lado, el uso de técnicas de **Redes Neuronales Artificiales** se ha hecho cada vez más popular en la modelización de problemas de ingeniería, en concreto, en el campo de la ingeniería de pavimentos. Han permitido modelar con éxito el rendimiento de los pavimentos en servicio debido a su eficiencia en la predicción y resolución de relaciones y problemas no lineales y en el tratamiento de grandes cantidades de datos inciertos (Eldin y Senouci et al., 1995; Taha y Hanna et al., 1995; Ceylan et al., 2014; Van der Gryp et al., 1998; Sollazzo et al., 2017). La RNA puede reemplazar con éxito los modelos de regresión típicos que exigen una relación predefinida (Owusu y Ababio et al., 1998; Bekhor y Livneh et al., 2014), además de predecir los diferentes índices de rendimiento del pavimento frente a diferentes factores, como el IRI (Shahnazari et al. 2012; Arhin et al., 2015), o el *PCI* (Suman y Sinha et al., 2012; Amin y Amador-Jimenez et al., 2017; Jalal et al., 2017; Kirbas y Karasahin et al., 2016).

Como ejemplos de la implementación de redes neuronales como modelo de predicción destacan; Amin y Amador-Jimenez et al. (2017) desarrollaron una red neuronal de retro propagación (BPN) para predecir el *PCI*, utilizando como entradas el tráfico medio diario anual (AADT), las cargas equivalentes por eje (ESAL), la *SN*, la edad del pavimento, el espesor de la losa y la diferencia en el *PCI* entre el año actual y el anterior (ΔPCI). Jalal et al. (2017), desarrollaron una *Dynamic Neural Network* (DNN) optimizada para predecir el *PCI* en función del AADT, el tipo de pavimento, el año de la encuesta y la longitud y el ancho de la muestra. Ambos modelos mencionados predijeron el *PCI* de forma eficiente (Sirhan et al., 2022).

Shahnazari et al. (2012) desarrollaron un modelo *Dynamic Neural Network* (DNN) para estimar el *PCI* en función de los resultados de la inspección visual, donde se identifican el tipo de daño, la gravedad y la densidad. Las variables de entrada del modelo fueron el agrietamiento de cocodrilo, el agrietamiento de longitud, el parcheado, los baches y el agrietamiento transversal. Los autores descubrieron que los valores de *PCI* predichos por el DNN coinciden con las mediciones de campo. Sin embargo, en su modelo no se tuvieron en cuenta todas las alteraciones para predecir el *PCI*; hay otras alteraciones que pueden influir en los valores del *PCI*, como el hinchamiento y el ahucamiento.

Por último y más actual, la investigación de Issa et al., (2022), que tenía como objetivo modelar la relación entre el tipo y la gravedad de los daños y los valores del *PCI* mediante un modelo sencillo y adaptable, empleó las capacidades de las redes neuronales artificiales (RNA) para predecir los valores de *PCI* de las diferentes secciones, reduciendo así los esfuerzos y la experiencia técnica necesarios para estimar los valores de *PCI*. Además, el uso de RNA permitió la posibilidad de introducir nuevas variables localizadas, como la presencia de baches o huecos en las secciones del pavimento. Tras comparar los resultados de la RNA con los obtenidos aplicando modelos de regresión lineal múltiple y otros enfoques no inteligentes, comprendieron que la RNA superó a los otros modelos. El modelo probado muestra una relación lineal entre los valores *PCI* observados y los predichos con una pendiente cercana a 1,0, lo que indica un modelo de predicción preciso y fiable. El coeficiente de determinación de esta relación fue de 0,9971. A continuación, se muestra mediante una tabla resumen algunos de los modelos referentes a la bibliografía en los que se han implementado redes neuronales como modelo de predicción. Además, se puede observar otra información al respecto, como el tipo de red neuronal, las variables de entrada utilizadas, el tamaño de la muestra y los años de los datos.

TABLA 2. MODELOS PREDICTIVOS A PARTIR DE REDES NEURONALES EXISTENTES EN LA LITERATURA.

Índice	Tipo de Red Neuronal	Variables de entrada	Tamaño de la muestra	Año de los datos	Referencia
PCI	Profunda	Ocho tipos de daños en tres severidades: grietas de cocodrilo, bloque, borde, agrietamiento longitudinal, transversal, parcheado, bacheado y exudación	12.487	No específica	(Shahnazari et al., 2012)
PCI	Poco profunda	PCI actual y edad del pavimento	75	2011-2012	(Suman y Sinha et al., 2014)
PCI	Poco profunda	Edad del pavimento	89	No específica	(Kirbas y Karasahin et al., 2016)
PCI	Profunda	Longitud de la sección, anchura de la sección, tipo de pavimento, AADT, año de la encuesta	157	2014-2016	(Jalal et al., 2017)
PCI	Profunda	AADT, ESAL, SN, Edad, delta PCI y grosor de la losa	19.826	2009-2010	(Amin y Amador-Jimenez et al., 2017)
PCI	Profunda	Los 19 tipos de daños y severidades, área de los daños, anchura de la sección y número de pozos de registro	348	No específica	(Issa et al., 2022)

Los modelos bayesianos son un tipo de modelización probabilística que ofrece resultados fiables para una muestra de datos pequeña, así como cierta objetividad según las evaluaciones del panel de expertos. Combinan el conocimiento previo de las probabilidades de eventos con los datos observados para producir una expresión ajustada de la distribución probabilística de eventos posteriores (Osorio-Lird et al., 2018). Las ventajas de los modelos bayesianos son la capacidad de incorporar la incertidumbre y las opiniones de los expertos para complementar los datos históricos (Amador-Jiménez y Mrawira et al., 2011). Este método se basa en la distribución de probabilidad previa elegida para el análisis. La principal limitación de esta metodología es que la inferencia bayesiana incluye la evaluación de diferentes posteriores, lo que supone un análisis exhaustivo. Se ha reconocido que los métodos de cadenas de Markov y Monte Carlo facilitan este análisis (Lunn, Thomas, Best y Spiegelhalter et al., 2000).

Los modelos de Cadena de Markov son un modelo probabilístico que tiene en cuenta el deterioro probabilístico del pavimento a lo largo del tiempo empleando una Matriz de Probabilidad de Transición (TPM) para predecir el estado futuro del pavimento en función de su estado actual. Cuando se combina con simulaciones de Monte Carlo, el modelo refleja la transición estocástica del estado del pavimento a lo largo del tiempo. Estos modelos, que pueden desarrollarse sin una gran base de datos histórica, se han aplicado con éxito en investigaciones anteriores (Black, Brint, y Brailsford et al., 2005; Chamorro y Tighe et al., 2011; Hassan et al., 2015; Silva, Van Dam, Bulleit, y Ylitalo et al., 2000; Yang, Lu, Gunaratne, y Dietrich et al., 2006). No obstante, tiene algunas deficiencias, como el requisito de una gran cantidad de datos. Son pocos los estudios que han adoptado el modelo de Markov para la predicción del comportamiento, lo que demuestra una vez más los limitados esfuerzos realizados para adoptar modelos probabilísticos de predicción del comportamiento (Mohamed et al., 2022).

Otros métodos útiles en el desarrollo de modelos de predicción de la condición del pavimento son los llamados Procesos Gamma. Son procesos estocásticos que siguen distribuciones gamma que permiten representar magnitudes aleatorias que varían con el tiempo o caracterizar una sucesión de variables aleatorias que evolucionan en función de otra variable, generalmente el tiempo. Las representaciones de los procesos gamma son preferibles a los modelos discretos de Markov para los procesos de crecimiento o degradación continuos en el modelo de deterioro, así como en el modelo de decisión (Frangopol et al. 2004; van Noortwijk et al., 2009; Pandey et al. 2009; Strauss et al. 2017; Ahadi y Micic et al., 2011). En otras palabras, el proceso gamma es más adecuado para modelar fenómenos físicos graduales, continuos y crecientes o decrecientes, como el proceso de degradación de un pavimento. Sin embargo, los procesos gamma sólo se han aplicado de forma muy limitada para modelar la degradación de las propiedades mecánicas de componentes estructurales, como diques, edificios y puentes (van Noortwijk et al., 2005; Edirisinghe et al., 2013; Aboura et al., 2014).

2.4. CARACTERÍSTICAS Y VARIABLES DE LA VÍA Y DEL ENTORNO QUE INFLUYEN EN EL DETERIORO DEL PAVIMENTO

Para llevar a cabo una gestión eficiente del mantenimiento de los pavimentos urbanos, diferentes investigadores han tratado de identificar qué factores relacionados con las características de la vía y del entorno son clave en el proceso de deterioro del pavimento y, por tanto, en el Índice de Condición del Pavimento (PCI) (Pais et al. 2013; Younos et al., 2020).

La mayoría de los modelos presentes en la literatura tienden a desarrollarse de manera segregada en función del nivel de tráfico, la edad del pavimento y/o las condiciones climáticas. Lo que permite deducir cómo estas variables afectan al proceso de deterioro del pavimento.

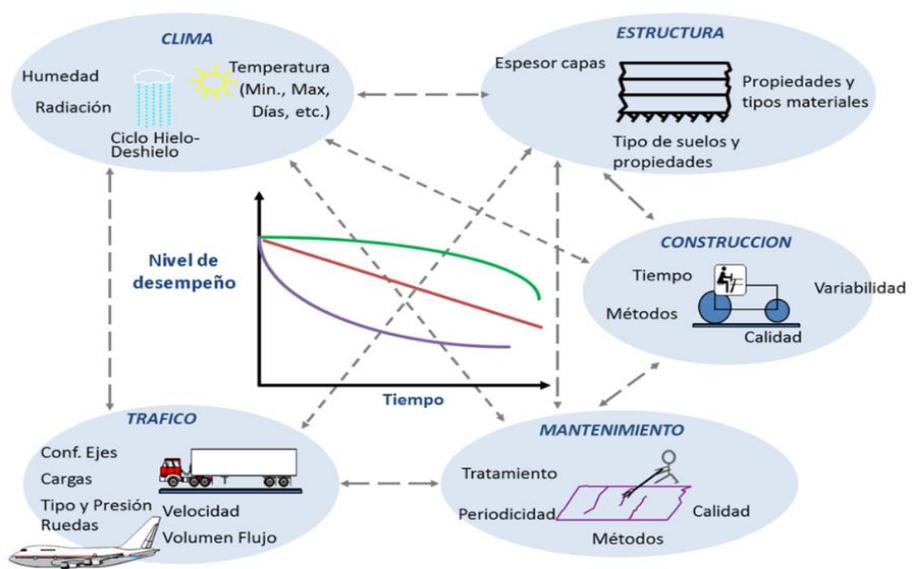


FIGURA 2. CARACTERÍSTICAS Y VARIABLES DE LA VÍA Y DEL ENTORNO INFLUYENTES EN EL DETERIORO DEL PAVIMENTO (YOUNOS ET AL., 2020).

Por ejemplo, el estudio realizado por Gao et al. (2019), analiza la influencia de la temperatura y la precipitación en conjunto, o Perera y Kohn et al. (2001) que identificaron una estrecha relación entre el comportamiento del pavimento y las condiciones climáticas.

Igualmente, Garber et al. (2011) propusieron un modelo de regresión simple que predice el PCI en función de la edad, el tráfico y la capacidad estructural existente del pavimento, a partir del *PCI*, el número de años desde la construcción (AGE), el tráfico medio diario en 1000 veh/día (ADT), y el número estructural existente del pavimento (SN). Aunque el coeficiente de determinación (R^2) de este modelo es muy alto (0,973), se ha desarrollado a partir de una base de datos muy limitada, que consiste en sólo 20 secciones de pavimento local, y todas ellas están situadas en la misma condición climática.

Mahmood et al. (2015) ha desarrollado un modelo utilizando 59 secciones de prueba con 820 observaciones de la base de datos *Long-Term Pavement Performance* (LTTP); que incluye *PCI*, X_1 que es el kip *ESAL* acumulativo (KESALS) y se define como la carga equivalente por eje desarrollado a partir de la *AASHTO* para establecer una relación de daños y comparar los efectos de los ejes que soportan diferentes cargas, X_2 la edad del pavimento (años), X_3 el efecto de mantenimiento (espesor de la capa y del recubrimiento), X_4 la longitud de agrietamiento longitudinal y transversal (m), X_5 el área agrietada (cocodrilo, borde y bloque) (m²), y a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , a_5 y a_6 son coeficientes de regresión basados en la condición climática. El modelo tiene un R^2 que oscila entre 0,52 y 0,93 en función de la región climática. Cabe señalar que las variables incluidas en el modelo (edad y KESAL) son variables dependientes.

Jalal et al. (2017) desarrollaron un modelo de predicción del *PCI* mediante RNA basado en un estudio experimental realizado en el campus de la Universidad de Texas A&M. En consecuencia, el problema se definió con cinco entradas, la longitud y la anchura de las muestras (m), el tipo de pavimento, el tráfico medio diario anual *AADT* (vehículo/día), y el año del estudio como número, y una salida, el *PCI*. En este modelo no había ninguna variable que expresara el efecto del clima, aunque el *PCI* es una función del clima y del tráfico.

En la siguiente tabla se resumen los modelos estudiados:

TABLA 3. MODELOS Y VARIABLES EMPLEADAS EN EL CÁLCULO DEL DETERIORO DEL PAVIMENTO EXISTENTES EN LA LITERATURA.

Índice	Ecuación del modelo	R^2	Referencia
PCI	$PCI = 100 - a$ (ESALS) $a = Surface\ type$	-	(Smadi y Maze et al., 1994)
PCI	$PCI = 10061(2 - 0.08X_1X_2 - e^{-0.05XX_2})$	-	(Behbahani et al., 2004)
PCI	$PCI = 85.3360 - 0.4415 * Slip - 2.3254 * Poth - 37.2875 * RD$	0,780	(Ahmed et al., 2008)
PCI	$PCI = 98,87 - 2,18(EDAD) + 0,02(ADT) + 0,28(SN)$	0,973	(Garber et al., 2011)
PCI	$OPCI = f(PCI\ Distress) (PCI\ Roughness) (PCI - Structure) (PCI\ Skid)$	-	(Shah et al., 2013)
PCI	$PCI = 11.52 + (88,86/1 + \exp(0.33T - 5.45))$	0,960	(Kan et al., 2015)
PCI	$PCI = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5 + a_6$	0,520-0,930	(Mahmood et al., 2015)
PCI	Red neuronal ANN (length and width of the samples (m), pavement type, annual average daily traffic: AADT (vehicle/day), and year of survey as number)	0,974	(Jalal et al., 2017)
PCI	Deterioration rate (dr) = $(100 - PCI) / AGE$	-	(Parsons y Pullen et al., 2017)

Si se analizan estas variables más detalladamente como propone Llopis-Castelló et al. (2020), se obtiene que:

INFLUENCIA DE LA EDAD DEL PAVIMENTO

En concreto, la **edad del pavimento** es el principal factor influyente en el proceso de deterioro de los pavimentos urbanos. Se considera un fenómeno estocástico, es decir, una variable aleatoria que evolucionan en función de otra variable, en este caso el tiempo. Es la diferencia entre la fecha de construcción de una sección de carretera y la fecha de la evaluación del pavimento en la sección.

A pesar de que los tramos de carretera considerados tenían distintos niveles de tráfico y condiciones climáticas, la edad del pavimento (p_a) fue la variable con mayor relación al proceso de deterioro.

Como se muestra a continuación, la relación fue modelada mediante un análisis de regresión empleando técnicas de validación cruzada. Como resultado, se obtuvo que el Índice de Condición del pavimento (PCI), decrece alrededor de 5 unidades por año a partir del primer año y medio de su construcción.

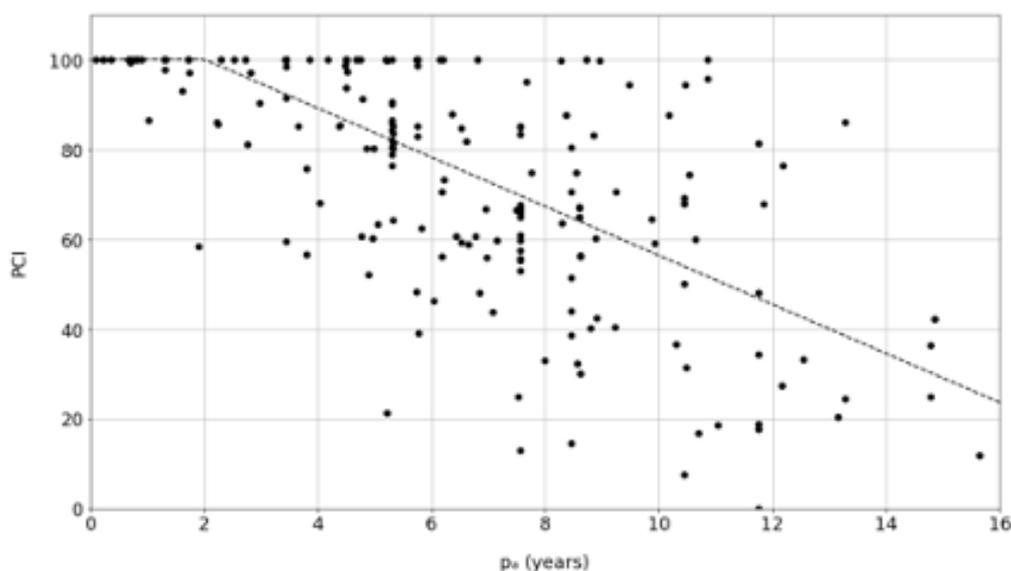


FIGURA 3. INFLUENCIA DE LA EDAD DEL PAVIMENTO (LLOPIS-CASTELLÓ ET AL., 2020).

INFLUENCIA DEL VOLUMEN DE TRÁFICO

Sabiendo que las cargas de tráfico elevadas es uno de los factores más influyentes en el deterioro del pavimento (Llopis-Castelló et al., 2020) propuso un análisis a partir de las siguientes variables:

- Intensidad Media Diaria de Tráfico (AADT) en vehículos por día (vpd).
- Intensidad Media Diaria de Tráfico pesado (AADTT) en vpd.
- Carga equivalente por eje anual (ESAL), en miles (KESAL).

Los coeficientes de correlación entre las tres variables mencionadas fueron elevados (>0.7). Sin embargo, *AADTT* Y *KESAL* fueron las que mostraron una mayor influencia en el proceso de deterioro, lo que demuestra que el **tráfico pesado** es verdaderamente significativo. Más concretamente, la variables *KESAL*, mostró una relación más profunda con el *PCI* que la variable *AADTT*.

A partir de un modelo de regresión considerando la edad del pavimento y la variables *KESAL*, se determinó de una manera más precisa la influencia del tráfico pesado en el deterioro del pavimento. Como resultado, se obtuvo que el volumen de tráfico pesado era capaz de explicar hasta casi el 10% del fenómeno. Como se puede observar en la ilustración que se adjunta a continuación, para una determinada edad del pavimento, la condición empeora conforme el volumen de tráfico es mayor.

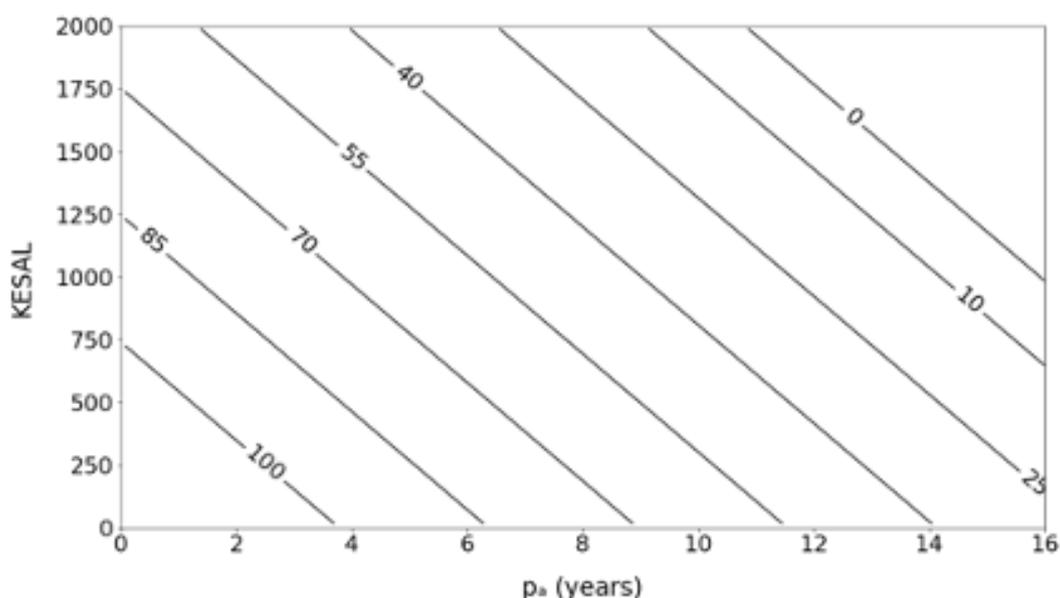


FIGURA 4. INFLUENCIA DEL VOLUMEN DE TRÁFICO (KESAL) (LLOPIS-CASTELLÓ ET AL., 2020).

INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS

Además de la carga del tráfico, las condiciones climáticas en términos de temperatura y precipitación tienen un efecto significativo en el rendimiento del pavimento y, por tanto, en el *PCI*. Asimismo, Llopis-Castelló et al. (2020) propusieron analizar el viento como otro factor climático influyente, así como las siguientes variables climáticas:

- Precipitación promedio anual (AAP) en mm, calculada como la precipitación de lluvia promedio anual (mm) durante la edad del pavimento (p_a).
- Altura promedio anual de nieve (AAS), estimada como la precipitación de nieve promedio anual (mm) durante p_a .
- Temperatura promedio anual (AAT), obtenida como la temperatura promedio anual del aire ($^{\circ}\text{C}$) durante p_a .
- Rango de temperatura promedio anual (AART), estimado como el promedio del rango anual de temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$), calculado para cada año como la diferencia de temperatura entre el mes más frío y el más cálido, durante p_a .
- Desviación estándar de temperatura (SDT), calculada como la desviación estándar de la temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$) durante p_a .
- Viento promedio anual (W), obtenido como la velocidad del viento promedio anual (km / h) durante p_a .
- Humedad media anual (H), estimada como la humedad media anual (%) durante p_a .

En cuanto a variables climáticas, se analizó la influencia de la precipitación, la temperatura, el viento y la humedad en el proceso de deterioro del pavimento. Las variables más influyentes fueron las relacionadas con la **precipitación (AAT y AAS)** y la temperatura (AAT, AART y SDT). A su vez, se obtuvo que la Velocidad Media Anual del Viento (W) y la Humedad Media Anual (H) no influyeron de forma significativa en la condición del pavimento.

La Altura Media Anual de Nieve (AAS) tuvo un mayor impacto en el estado del pavimento que la Precipitación Media Anual (AAP), que resultó en una variable no significativa. Concretamente, para una determinada edad del pavimento, el (*PCI*) disminuye por cada 100 mm de nieve acumulados.

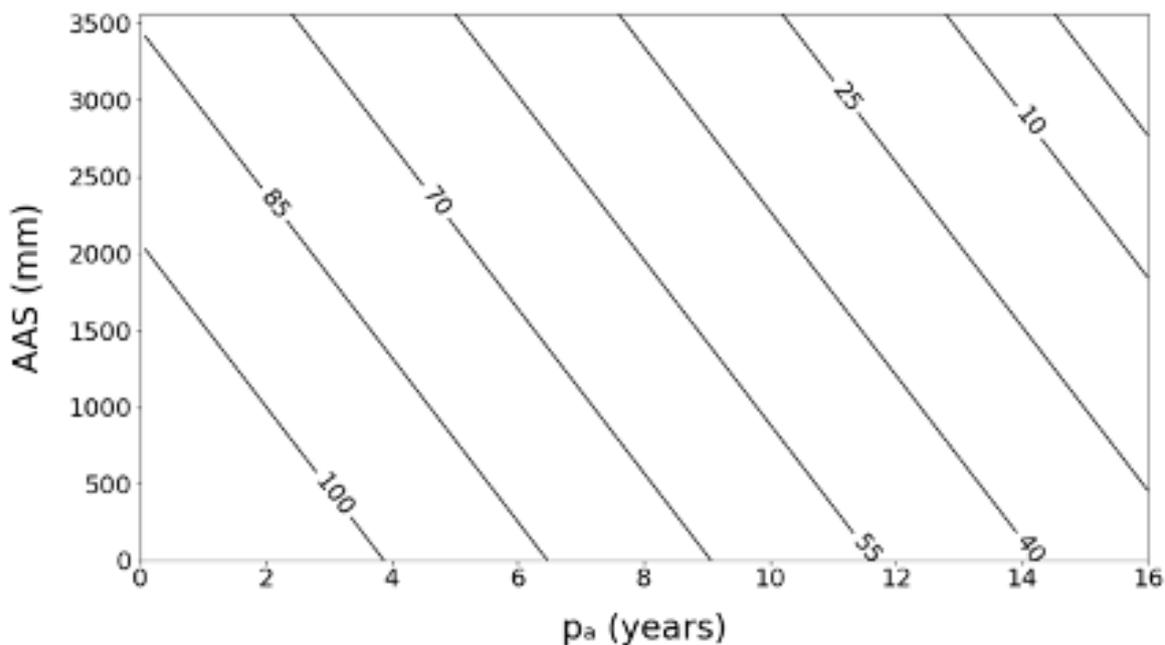


FIGURA 5. INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS (AAS) (LLOPIS-CASTELLÓ ET AL., 2020).

Entre las variables de temperatura, la Temperatura Media Anual (AAT) mostró una mayor relación con el fenómeno asociado al deterioro del pavimento. Las secciones expuestas a temperaturas medias anuales entre 5 y 15 °C fueron los que mayores evidencias de deterioro mostraron. Por lo contrario, las secciones situadas en regiones cálidas (AAT = 20-30 °C) mostraron un retraso sustancial en el comienzo del proceso de deterioro.

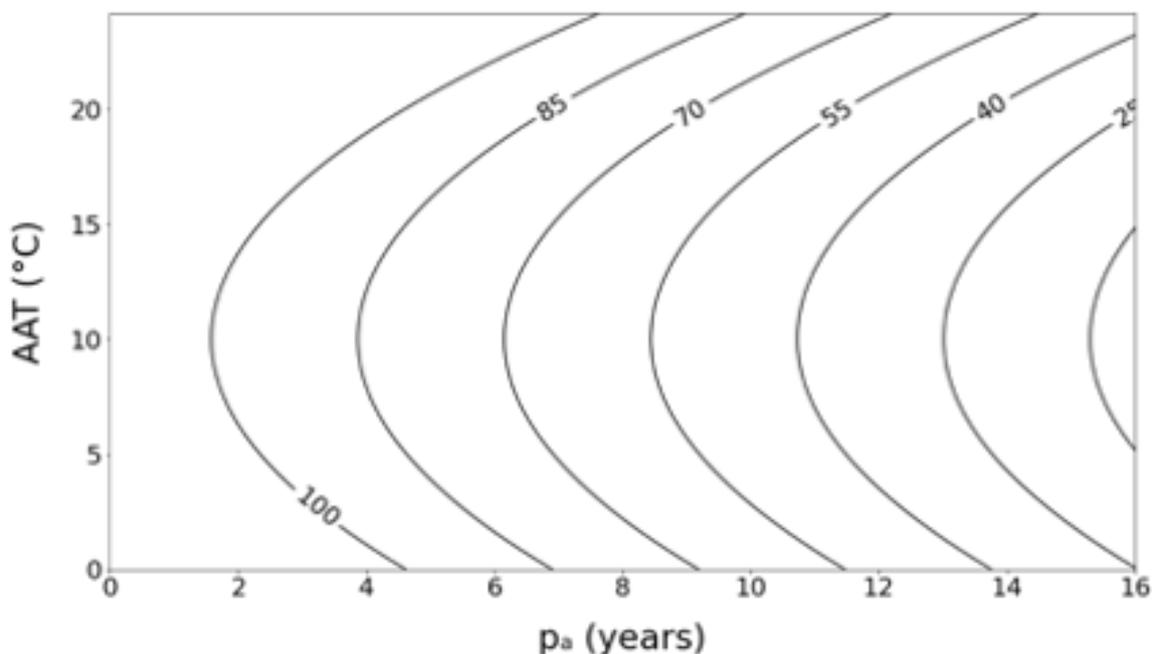


FIGURA 6. INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS (AAT) (LLOPIS-CASTELLÓ ET AL., 2020).

Por último, aquellas variables que representan la variación de temperatura, AART y SDT, describieron la misma tendencia. A medida que decrecían, el inicio del proceso de deterioro era más tardío. Lo que explica que los pavimentos expuestos a condiciones extremas son más propensos a sufrir ciclos de hielo-deshielo y, por tanto, afecta drásticamente a la condición del pavimento.

De este modo, de acuerdo con la literatura, se puede obtener que; las cargas de tráfico elevadas es uno de los factores más influyentes en el deterioro del pavimento, debido a que provocan el agrietamiento por fatiga y contribuyen a la formación de huecos, disminuyendo significativamente el valor del *PCI*. Además, cuanto mayor sea la carga de tráfico, mayor será el daño que se produzca en las capas del pavimento. Esta carga de tráfico pesada se debe principalmente a los camiones que transportan pesos pesados, lo que se traduce en importantes cargas por eje (Adlinge y Gupta et al., 2013; Alaswadko y Hassan et al., 2016; Almeida et al., 2019; Pérez-Acebo et al., 2020b).

Además de la carga del tráfico, las condiciones climáticas en términos de temperatura y precipitación tienen un efecto significativo en el rendimiento del pavimento y, por tanto, en el *PCI*. Las temperaturas de congelación afectan negativamente al rendimiento del pavimento causando problemas en forma de agrietamiento térmico, fatiga y congelación, formación de huecos en el pavimento (debido a los ciclos de hielo-deshielo), baches y deterioro de las grietas (Zubeck y Dore et al., 2009). Otro factor climático adicional que afecta al *PCI* es el exceso de humedad que no se drena adecuadamente de las capas del pavimento, lo que deteriora el estado de éste, incluso si la humedad permanece en el subsuelo.

La Tabla 4 expone, por tanto, las variables de la vía y del entorno influyentes más empleadas en los modelos publicados en la literatura.

TABLA 4. VARIABLES INFLUYENTES EN EL DETERIORO DEL PAVIMENTO.

Índice	Edad	Tráfico			Clima							Referencia	
		AADT	AADTT	KESAL	AAP	AAS	AAT	AART	SDT	W	H		
PCI				X									(Smadi et al., 1994)
PCI	X	X											(Garber et al., 2011)
PCI	X				X						X		(Mahmood et al., 2015)
PCI	X												(Kirbaş et al., 2016)
PCI	X												(Parsons et al., 2017)
PCI		X											(Jalal et al., 2017)
PCI			X	X									Amin et al., 2017)
PCI	X		X	X		X	X	X	X				(Llopis-Castelló et al., 2020)

AADT: Intensidad Media Diaria de Tráfico. AADTT: Intensidad Media Diaria de Tráfico Pesado. KESAL: Carga equivalente por eje anual (ESAL), en miles. AAP: Precipitación Promedio Anual. AAT: Temperatura promedio Anual. AART: Rango de Temperatura Promedio Anual. SDT: Desviación Estándar de Temperatura. W: Viento Promedio Anual. H: Humedad Media Anual.

Cabe destacar que estas variables se pueden estimar a partir de los datos registrados en *Long-Term Pavement Performance (LTPP)*, definido por la *Federal Highway Administration (FHWA)*, que estandariza la recolección de datos sobre el estado del pavimento y las actividades de mantenimiento y rehabilitación (M&R) en Estados Unidos y Canadá.

2.5. DAÑOS EN PAVIMENTOS

Para una correcta evaluación de la condición del pavimento, es necesario identificar y cuantificar previamente los distintos tipos de daños y defectos que se pueden encontrar en el parte superficial del firme, así como su posible transformación a lo largo del tiempo.

Para ello, existen dos tipos de inspección: (i) inspección mediante auscultaciones e (ii) inspección visual. Mientras que la inspección mediante auscultaciones se basa principalmente en la evaluación de indicadores objetivos medidos a través de equipos que proporcionen información precisa y cuantitativa sobre el estado estructural y superficial del pavimento, la inspección visual es efectuada por técnicos especialistas, de acuerdo con otros factores influyentes como las características climáticas de la zona, lo que introduce cierta subjetividad en la evaluación del daño.

A pesar de dicha subjetividad, el método de inspección más común en el entorno urbano es el visual, debido principalmente a la dificultad de obtener indicadores objetivos en secciones caracterizadas por la presencia de intersecciones, variaciones significativas de la velocidad de circulación, etc. Para minimizar dicha subjetividad, esta inspección debe basarse en criterios lo más sencillos posible, así como, apoyarse en guías modelo para clasificar y cuantificar los deterioros del pavimento en cuanto a su tipo, severidad y cuantificación. Sin embargo, puesto que no existe una única guía estándar, administraciones como la *ASTM* han propuesto sus propias guías para su uso en una determinada región o país.

Por lo que, es imprescindible conocer los principales tipos de daños y defectos que pueden originarse en la parte superficial de los firmes con el fin de elaborar correctamente la evaluación de la condición del pavimento, y así, llevar a cabo una gestión eficiente que priorice las actividades de rehabilitación y permita obtener el máximo beneficio con el menor número de recursos posible.

2.5.1 CLASIFICACIÓN Y TIPOS DE DAÑOS EN PAVIMENTOS URBANOS

Los distintos tipos de deterioros o daños más comunes que se pueden presentar en pavimentos flexibles, semiflexibles y semirrígidos urbanos se pueden clasificar en cuatro grandes categorías: (i) agrietamiento, (ii) degradación del material de la capa de rodadura, (iii) degradación de la capa de rodadura sin degradación de material y (iv) otros tipos de daños.

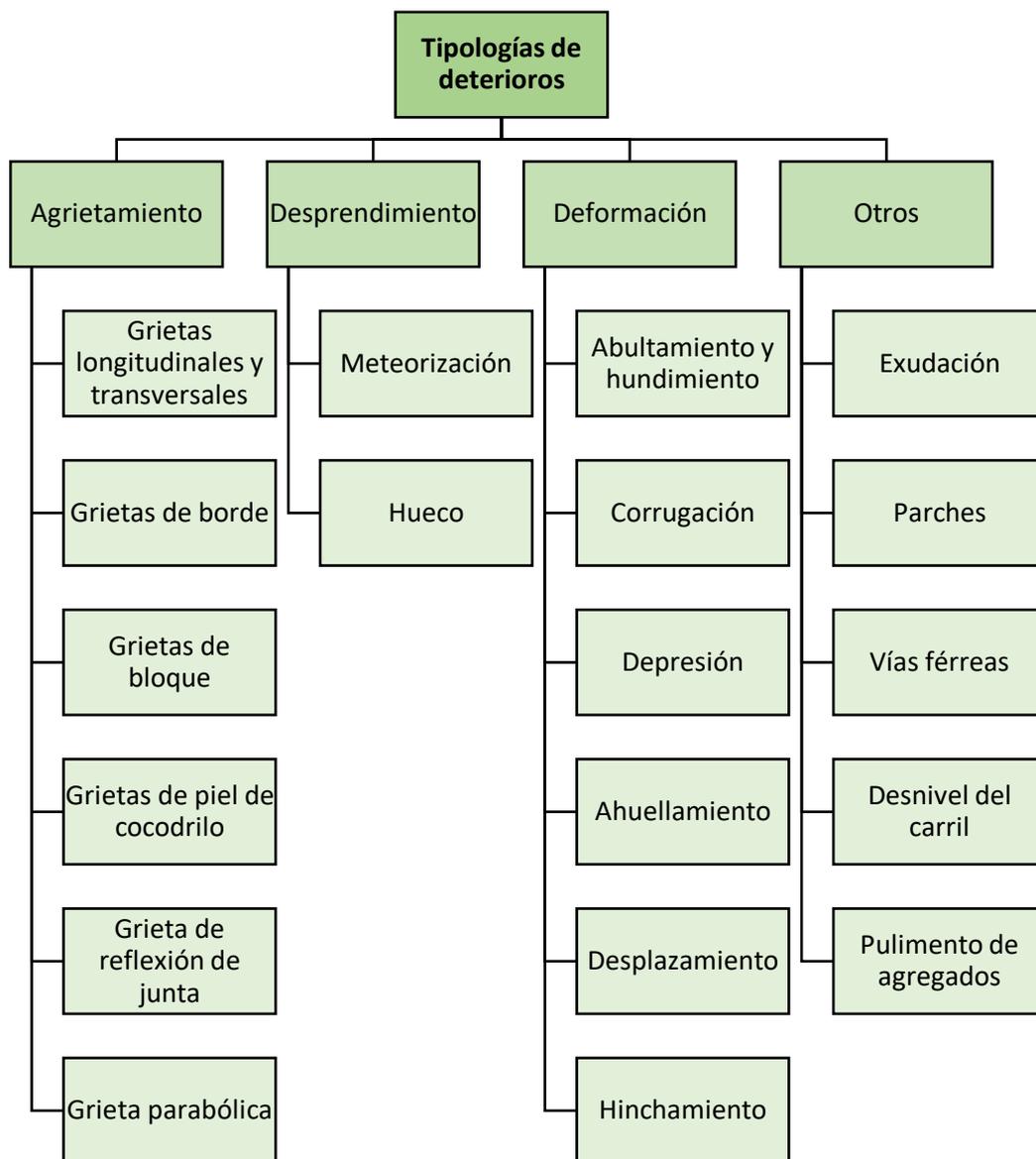
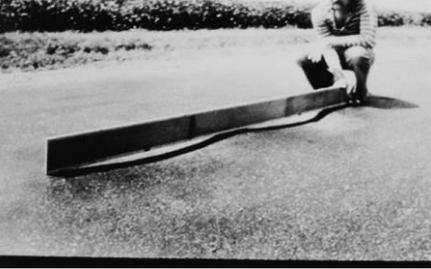


FIGURA 7. TIPOLOGÍAS DE DETERIOROS.

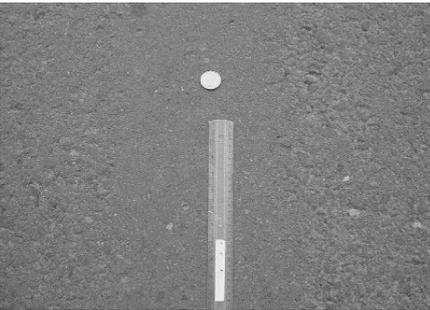
Los daños del pavimento que se indican a continuación son los considerados por la *Standard Practice for Roads and Parkings Lots Pavement Condition Index Surveys* (ASTM, 2018) para la obtención del *Pavement Condition Index (PCI)*, siendo esta una de las referencias más conocidas y difundidas, ya que proporciona criterios de identificación y clasificación de los deterioros para los pavimentos flexibles y rígidos.

TABLA 5. TIPOLOGÍAS DE DETERIOROS.

Tipo de daño	Descripción	Ilustración
<p>Grietas de piel de cocodrilo o agrietamiento por fatiga <i>(Alligator Cracking)</i></p>	<p>Se refiere a una serie de fisuras interconectadas causadas por acción de la fatiga de la superficie de pavimento asfáltico sometida a repeticiones de carga o tráfico. Es considerado como un daño estructural importante y suele ir acompañado de ahuellamiento.</p>	
<p>Exudación <i>(Bleeding)</i></p>	<p>Se presenta como una película de material bituminoso sobre la superficie del pavimento, que crea una superficie brillante, cristalina y reflexiva que generalmente se vuelve pegajosa. Es generada durante un tiempo cálido, donde el ligante se expande llenando los vacíos y ocupando la superficie del pavimento. Al no ser un proceso reversible, el asfalto se acumula sobre la superficie.</p>	
<p>Grietas en bloque <i>(Block Cracking)</i></p>	<p>Son fisuras interconectadas que dividen el pavimento en piezas rectangulares. Son causadas principalmente por las variaciones diarias de temperatura y evolucionan a grietas de cocodrilo con el paso del tiempo.</p>	

<p>Abultamiento y hundimiento (<i>Bumps and Sags</i>)</p>	<p>Son pequeños desplazamientos localizados del pavimento hacia arriba (abultamiento) o hacia abajo (hundimiento). Generan una superficie ondulada, y se diferencian de los baches o huecos, al no suponer una pérdida de material en la capa de rodadura.</p>	
<p>Corrugación o "lavadero" (<i>Corrugation</i>)</p>	<p>Es una serie de cimas y depresiones, (generalmente menos a 3m), a intervalos bastante regulares a lo largo del pavimento. Las cimas son perpendiculares al sentido del tránsito.</p>	
<p>Depresión (<i>Depression</i>)</p>	<p>Son áreas de superficie del pavimento localizadas con niveles de elevación ligeramente menores a aquellos que se encuentran alrededor del pavimento. Suelen ser reconocibles al estancarse agua en ellos tras la lluvia.</p>	
<p>Grietas de borde (<i>Edge Cracking</i>)</p>	<p>Son fisuras paralelas al borde externo del pavimento, generalmente a una distancia de entre 0.3 y 0.6 metros. Si el daño se prolonga hasta el borde, puede generarse fragmentación de la capa de rodadura en el borde provocando la pérdida de material.</p>	

<p>Grietas de reflexión de junta (<i>Joint Reflection Cracking</i>)</p>	<p>Ocurren sólo en pavimentos con superficie asfáltica construidos sobre losas de hormigón. El movimiento de las losas de hormigón genera las grietas en la capa de rodadura paralelas a las juntas de la losa.</p>	
<p>Desnivel del carril (<i>Lane/Shoulder Drop Off</i>)</p>	<p>Es la diferencia en elevación entre el borde del pavimento y la berma. Esta falla es provocada por la erosión de la berma, el asentamiento de la berma, o por la colocación de nuevas capas sin el debido ajuste del nivel de la berma.</p>	
<p>Grietas longitudinales y transversales (<i>Longitudinal & Transversal Cracking</i>)</p>	<p>Las fisuras longitudinales son paralelas al eje central del pavimento, y las transversales se extienden a través del ancho del pavimento formando ángulos rectos con el eje central del pavimento.</p>	
<p>Parches (<i>Patching</i>)</p>	<p>Es un área del pavimento que ha sido reemplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente. Es un daño asociado a la rugosidad del pavimento.</p>	

<p>Pulimento de agregados (<i>Polished Aggregates</i>)</p>	<p>Es un tipo de daño causado por repeticiones de carga de tráfico. De modo que los áridos de expuestos en la capa de rodadura quedan pulidos, dejando una superficie lisa y disminuyendo la adherencia del pavimento-neumático.</p>	
<p>Huecos o baches (<i>Potholes</i>)</p>	<p>Son pequeñas depresiones en la superficie del pavimento en forma de ollas en los que sí se desprende material. Suelen tener su origen en la evolución de otros daños como la piel de cocodrilo. Generalmente presentan bordes agudos y lados verticales.</p>	
<p>Ahuellamiento (<i>Rutting</i>)</p>	<p>Es una depresión superficial en las huellas de la rueda. Es una deformación común en zonas con alta intensidad de tráfico pesado.</p>	
<p>Desplazamiento (<i>Shoving</i>)</p>	<p>Es un corrimiento longitudinal y permanente de un área localizada de la superficie del pavimento causado por acción de la carga de tráfico. Normalmente ocurre sólo en pavimentos con mezclas de asfalto líquido inestables.</p>	

<p>Grietas en forma parabólica o por deslizamiento (<i>Slippage Cracking</i>)</p>	<p>Son fisuras en forma de medialuna, que generalmente se presentan en sentido transversal a la dirección del tránsito. Se producen por el efecto del tráfico tras frenar o realizar giros y se dan en presencia de capas de rodadura de baja resistencia o cuando la unión entre capas no está bien ejecutada.</p>	
<p>Hinchamiento (<i>Swell</i>)</p>	<p>Abultamiento o levantamiento localizado en la superficie del pavimento, generalmente en la forma de una onda que distorsiona el perfil de la carretera.</p>	
<p>Meteorización o desprendimiento de agregados (<i>Weathering or Raveling</i>)</p>	<p>Son el desgaste en la superficie del pavimento debido a la pérdida de ligante asfáltico o alquitrán y partículas del agregado removidas. Estos daños nos indican que el ligante asfáltico ha sufrido un endurecimiento considerable o que estamos en presencia de una mezcla de pobre calidad. Es común en zonas de aparcamiento.</p>	
<p>Cruce de vía férrea (<i>Railroad Crossing</i>)</p>	<p>Los daños asociados a los cruces de vías férreas son depresiones y abultamientos en los alrededores y entre los raíles.</p>	

RELACIÓN ENTRE LOS DIFERENTES TIPOS DE DAÑOS Y EL PCI

Por otro lado, según (Sirhan et al., 2022), respecto a la importancia relativa de cada uno de los diferentes tipos de daños en el cálculo del *PCI*; por un lado, los daños referentes a las grietas de piel de cocodrilo (*alligator cracking*), los huecos (*potholes*) y el ahuellamiento (*rutting*) en diferentes niveles de severidad, el hinchamiento (*swelling*) en severidades altas y medias, la meteorización (*raveling*) y los parches (*patching*) en severidades altas y el desnivel del carril (*lane drop off*) en severidades bajas tienen la mayor contribución a la predicción del *PCI*, ya que en total estos problemas constituyen el 90% de los valores de importancia relativa. Y, por otro lado, el desplazamiento (*shoving*), el agrietamiento longitudinal/transversal (*longitudinal/transverse cracking*) y el agrietamiento en bloque (*block cracking*) tienen la contribución más baja, especialmente a baja severidad.

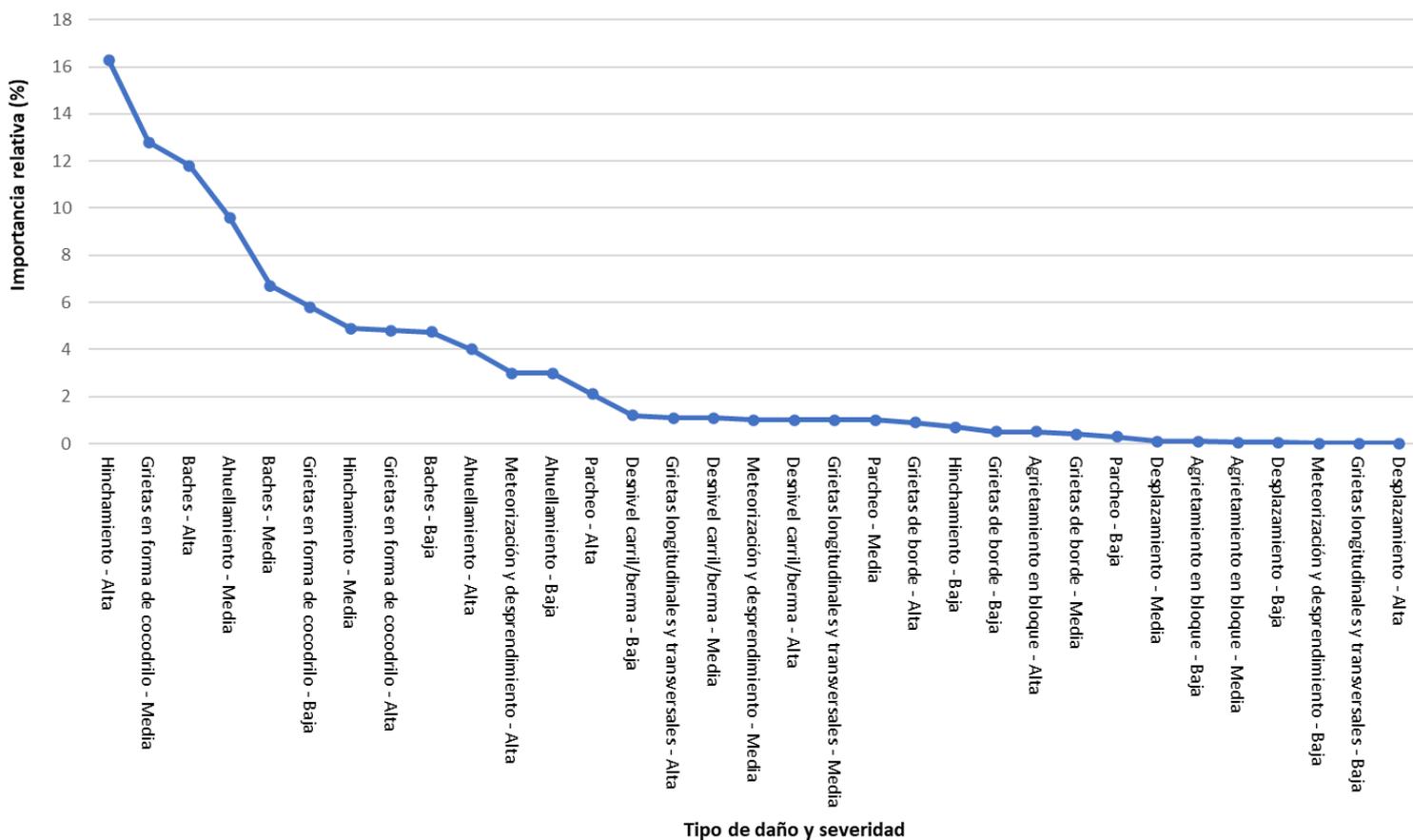


FIGURA 8. IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS DAÑOS (SIRHAN ET AL., 2022).

No obstante, cada combinación de nivel de daño y severidad tiene un grado de influencia diferente en el valor del *PCI*. En cambio, Shahin et al. (1994) aseguró que un mayor porcentaje de área dañada, sí provoca una mayor reducción del valor del *PCI*.

A modo de ejemplo, en la Figura 9, se muestra la predicción del *PCI* en función del área porcentual de los daños relativos al hinchamiento y las grietas de cocodrilo en los niveles de severidad alto, medio y bajo, que indican un patrón razonable con los resultados expuestos anteriormente.

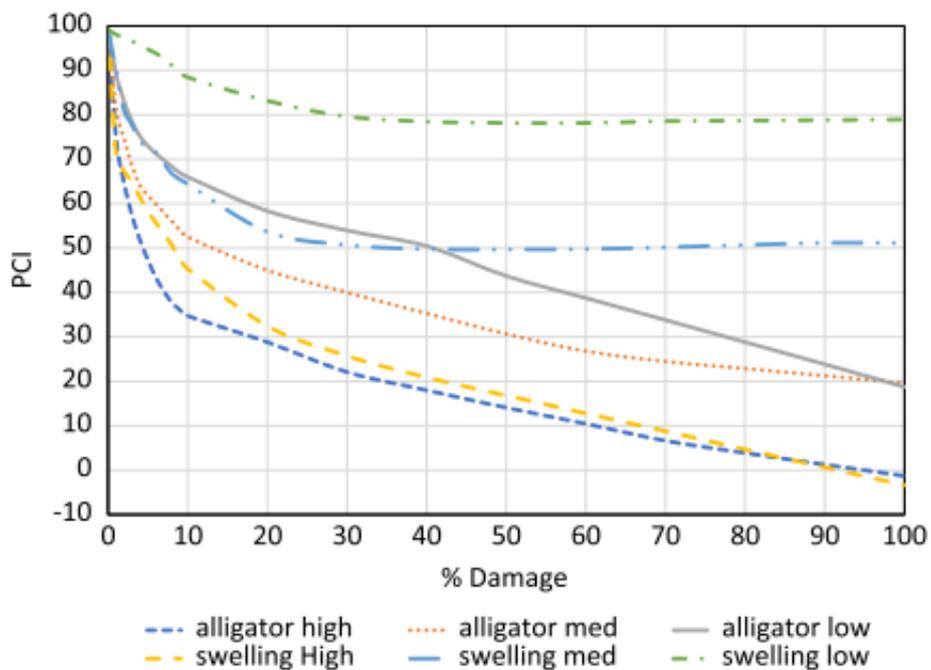


FIGURA 9. REPRESENTACIÓN DEL *PCI* EN FUNCIÓN DEL ÁREA (SIRHAN ET AL., 2022).

En conclusión, los valores de *PCI* tienden a decaer a medida que aumenta el área porcentual de los daños. Como era de esperar, un problema con un nivel de gravedad más alto, tiene una influencia más significativa en el valor del *PCI* (Sirhan et al., 2022).

3. METODOLOGÍA

En este apartado del documento se detalla la metodología que se ha seguido para la consecución de los objetivos parciales que componen el presente Trabajo de Fin de Grado.

Por una parte, se ha realizado un análisis exhaustivo de la literatura existente con el fin de conocer el estado actual de la investigación en materia de los modelos de gestión del mantenimiento predictivo de pavimentos en ámbito urbano, y así, poder aplicar los conocimientos adquiridos en el desarrollo de un modelo propio para la ciudad de València.

Mientras que, por otra parte, se ha llevado a cabo el propio desarrollo del modelo de gestión del mantenimiento de pavimentos urbanos como principal objeto del presente trabajo académico.

Para ello, en primer lugar, se presenta un proceso previo para la obtención de los datos que se compone de distintas fases; (i) obtención de los datos, (ii) filtrado de los datos, (iii) selección y tratamiento de los datos, (iii) organización y clasificación de los datos y (v) análisis de los datos. En segundo lugar, se ha desarrollado el propio **modelo de gestión del mantenimiento de pavimentos urbanos** en base a la literatura estudiada, compuesto por el método de evaluación de la condición del pavimento, la herramienta de predicción y el modelo de toma de decisiones. Y, por último, se ha llevado a cabo una aplicación práctica de la herramienta de gestión del mantenimiento predictivo desarrollada en el barrio En Corts de la ciudad de Valencia.

Tal y como aconsejan los autores, para este caso en particular, se ha analizado y cuantificado la influencia de la edad del pavimento, las condiciones climáticas y la demanda de tráfico en la condición del pavimento a través del indicador **Pavement Condition Index (PCI)** para vías urbanas.

Asimismo, tras examinar los modelos de *PCI* desarrollados anteriormente existentes en la literatura, se ha observado que, aunque muchos de los modelos han adoptado por la regresión lineal como enfoque de la modelización, recientemente se han desarrollado varios modelos de predicción del *PCI* mediante técnicas de aprendizaje automático, debido a la eficiencia de estos modelos. Por lo que, en este caso, la predicción del *PCI* para valorar el estado del pavimento, se ha realizado mediante **Redes Neuronales Artificiales (RNA)**.

3.1. PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE LOS DATOS

Con el fin de elaborar un modelo predictivo propio, así como de comprender la evolución de la condición del pavimento, se ha realizado, en una primera instancia, un proceso de análisis cualitativo de los datos compuesto por varias fases. Se trata de un procedimiento iterativo realizado mediante hojas de cálculo Excel.

3.1.1 OBTENCIÓN DE LOS DATOS

Para la obtención de los datos tanto en el desarrollo de la práctica “Mantenimiento predictivo de vías urbanas mediante técnicas de inteligencia artificial” como en el presente trabajo “Desarrollo de un sistema de gestión del mantenimiento predictivo de pavimentos urbanos: aplicación al barrio En Corts de la ciudad de Valencia”, se ha recurrido al manual incluido en el programa *Long-Term Pavement Performance* (LTPP), definido por la *Federal Highway Administration* (FHWA).

La base de datos del *LTPP* es una de las fuentes más completas y fiables de datos sobre la condición del pavimento. Se desarrolló como parte del Programa de Investigación Estratégica de Carreteras (SHRP), en 1987 (DataPave 2001). La base de datos del *LTPP* cubre diferentes estados de América y Canadá con diferentes estructuras y propiedades de los pavimentos, edades, condiciones climáticas y niveles de tráfico. Además, incluyen el inventario general y la información de las secciones de prueba, las propiedades de los materiales, el mantenimiento y la rehabilitación (M&R), el clima, el tráfico, la deflexión, el perfil longitudinal (IRI) y los problemas del pavimento (Elhadidy et al., 2021).

El programa *Long-Term Pavement Performance* (LTPP) ha estado recopilando datos del pavimento durante aproximadamente 30 años en más de 2.000 secciones de carretera, que tienen generalmente 3,7 m (12 pies) de ancho × 152,4 m (500 pies) de largo con un área de 563,88 m² (6000 pies²). Estos datos se agrupan en las siguientes categorías: (i) inventario de deterioros en el pavimento; (ii) estructura del pavimento; (iii) datos de la demanda de tráfico; y (iv) datos de las condiciones meteorológicas.

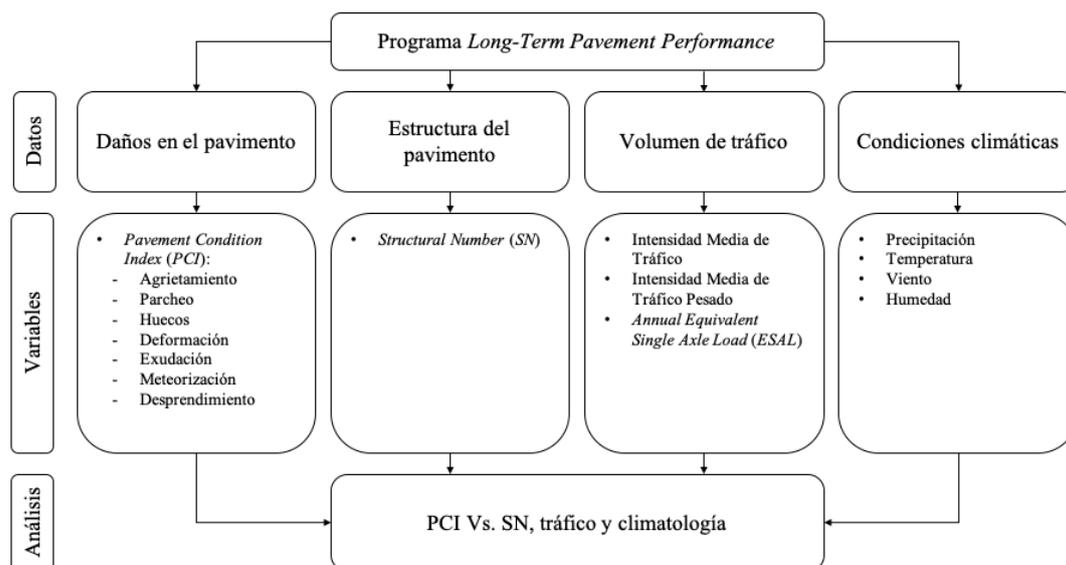


FIGURA 10. PROGRAMA LONG-TERM PAVEMENT PERFORMANCE (LLOPIS-CASTELLÓ ET AL., 2020).

Dicha base de datos es accesible desde la página web: <https://infopave.fhwa.dot.gov/>. Para obtener la información, se debe realizar una selección previa de la información deseada, añadiéndola a una cesta virtual, y solicitando su envío por parte de la administración de InfoPave a un correo electrónico concreto. Una vez se encuentre disponible, se podrá acceder a la información desde la web mediante un acceso por código, pudiendo descargarse en diversos formatos: hojas Excel (.xlsx), bases de datos de Microsoft SQL (.mdb), o copias de respaldo de Microsoft SQL Server (.bak), en función de la cantidad de información descargada.

3.1.2 FILTRADO DE LOS DATOS

En este caso, se han extraído todos los datos disponibles referentes a las secciones urbanas registradas en LTPP hasta la fecha, en todos los estados de EE. UU. y Canadá, obteniendo de este modo una muestra representativa. Además, para facilitar el cálculo del PCI los datos se han descargado en sistema anglosajón “US-CUSTOMARY”.

Para ello, en el menú principal de la página web del LTPP InfoPave en el apartado *Select and Download* se han seleccionado los siguientes filtros:

Clase funcional de la vía (*Roadway Functional Class*)

- Vía de distribución de ámbito urbano, (*Urban Collector*)
- Arteria menor de ámbito urbano, (*Urban Minor Arterial*)
- Arteria principal de ámbito urbano (otras), (*Urban Principal Arterial – Other*)
- Arteria principal de ámbito urbano – Interestatal, (*Urban Principal Arterial – Interstate*)
- Arteria principal de ámbito urbano – Otras, (*Urban Principal Arterial – Other Freeways or Expressways*)

Tipo de superficie (*Surface Type*)

- Pavimento de hormigón asfáltico, (*Asphalt Concrete Pavement, ACP*)

3.1.3 SELECCIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Los datos del *LTPP* se disponen en diferentes tablas. Para el tratamiento de los datos se deben seleccionar y unificar previamente.

PCI

No es posible obtener el *PCI* directamente del programa *LTPP*, sin embargo, sí se dispone de la información de los daños presentes en cada tramo de vía.

Así pues, se puede calcular el *PCI* ponderando los diferentes daños presentes en la vía en función de sus severidades. Para este cálculo, se ha empleado el Método *PCI* (*Pavement Condition Index*) estandarizado por *ASTM International*.

DATOS DEL PAVIMENTO

Respecto a los datos del pavimento, se ha tenido en cuenta su edad (*Pavement Age, Pa*), que se calcula como la diferencia entre la fecha de asignación del *CONSTRUCTION_NUMBER* (*CN*) o fecha de construcción del pavimento (cuando *CN* = 1), y la fecha de evaluación del tramo de vía. Estos datos se pueden obtener de la tabla *EXPERIMENT_SECTION* seleccionable como *Experiment Type and Improvement (M&R) History*, como se muestra a continuación.

<ul style="list-style-type: none"> 📁 Pavement Structure and Construction <ul style="list-style-type: none"> 📁 General Section Information <ul style="list-style-type: none"> 📄 Experiment Type and Improvement (M&R) History 📁 Traffic <ul style="list-style-type: none"> 📁 Monitored Traffic Data and Computed Parameters <ul style="list-style-type: none"> 📁 Traffic Summary Statistics <ul style="list-style-type: none"> 📄 Equivalent Single Axle Loads (ESALs)
--

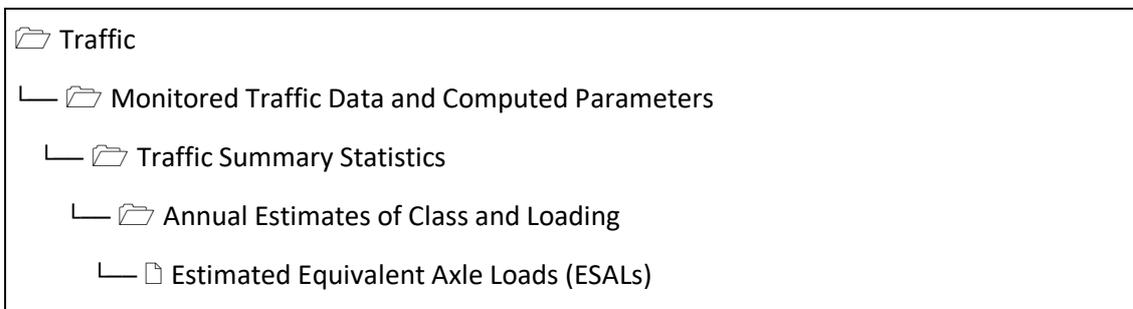
Asimismo, se han valorado los siguientes datos para facilitar la clasificación:

TABLA 6. DATOS DEL PAVIMENTO PARA LA CLASIFICACIÓN DE LAS SECCIONES.

Campo	Código	Descripción	Unidades
State Code	STATE_CODE	Código numérico para estado o provincia. Los códigos de los Estados Unidos son consistentes con los Estándares Federales de Procesamiento de Información.	INT
LTPP Section Identifier	SHRP_ID	Número de identificación de la sección de prueba asignado por el programa LTPP. Debe combinarse con STATE_CODE para ser único.	STRING
Construction Number	CONSTRUCTION_NO	Número de evento utilizado para relacionar los cambios en la estructura del pavimento con otros elementos de datos dependientes del tiempo. Este campo se establece en 1 cuando una sección de prueba se acepta inicialmente en LTPP y se incrementa con cada cambio en la estructura de la capa.	INT (1...)
Construction Number Assign Date	CN_ASSIGN_DATE	Fecha de asignación para el inicio de un evento de construcción. Será igual a la fecha de aceptación cuando una sección de prueba se incluye por primera vez en LTPP, eso es, CONSTRUCTION_NO = 1.	MM/DD/AAAA

DATOS DE TRÁFICO

Tras el estudio previo, respecto a los datos de tráfico, se han seleccionado los datos de tráfico total y pesado, así como la carga equivalente para eje individual (ESAL). Esta información puede obtenerse mediante la selección de la opción *Show Advanced Data Classification*.



De este modo, se obtienen dos tablas:

- TRF_HIST_EST_ESAL: contiene la información estimada de la carga de tráfico de la vía recogida en EE. UU. antes del programa LTPP (eso es, con fecha anterior a 1990).
- TRF_MON_EST_ESAL: dispone de las estimaciones de tráfico desde la fundación del programa LTPP (desde 1990).

Ambas tablas contienen información similar, sin embargo, se ha seleccionado la relativa al tráfico total (AADT) y el tráfico pesado (AADTT), así como el *KESAL* de cada sección de vía. En la siguiente tabla, se desglosan los identificadores de las columnas que dichas tablas comparten y que son de interés en este estudio, así como sus unidades de referencia.

TABLA 7. COLUMNAS DE INTERÉS DE LAS TABLAS DE TRÁFICO.

Campo	Código	Descripción	Unidades
State Code	STATE_CODE	Código numérico para estado o provincia. Los códigos de los Estados Unidos son consistentes con los Estándares Federales de Procesamiento de Información.	INT
LTPP Section Identifier	SHRP_ID	Número de identificación de la sección de prueba asignado por el programa LTPP. Debe combinarse con STATE_CODE para ser único.	STRING
Estimation Year	YEAR_MON_EST	Fecha en que fueron realizadas las mediciones.	AAAA
AADT All Vehicles	AADT_ALL_VEHIC	Estimación anual del tráfico medio diario de vehículos por la vía LTPP.	INT
AADT Combination Trucks LTPP Lane	AADT_TRUCK_COMBO	Estimación anual del tráfico medio diario de vehículos pesados por la vía LTPP.	INT
Annual Equivalent Single Axle Loads In 1000s In LTPP Lane For Year	ANL_KESAL_LTPP_LN_YR	ESAL anual en miles para la vía LTPP.	INT

Dado que se desea conocer el impacto de estos valores a lo largo del tiempo sobre la vía, se consideran sus valores promediados en el período de vida del pavimento (P_a) con respecto a su número de construcción (CN). Esto implica que, para cada valor en cada año, se sumen los valores anuales de los años anteriores —siempre que compartan CN — y se dividan por el número de años considerados:

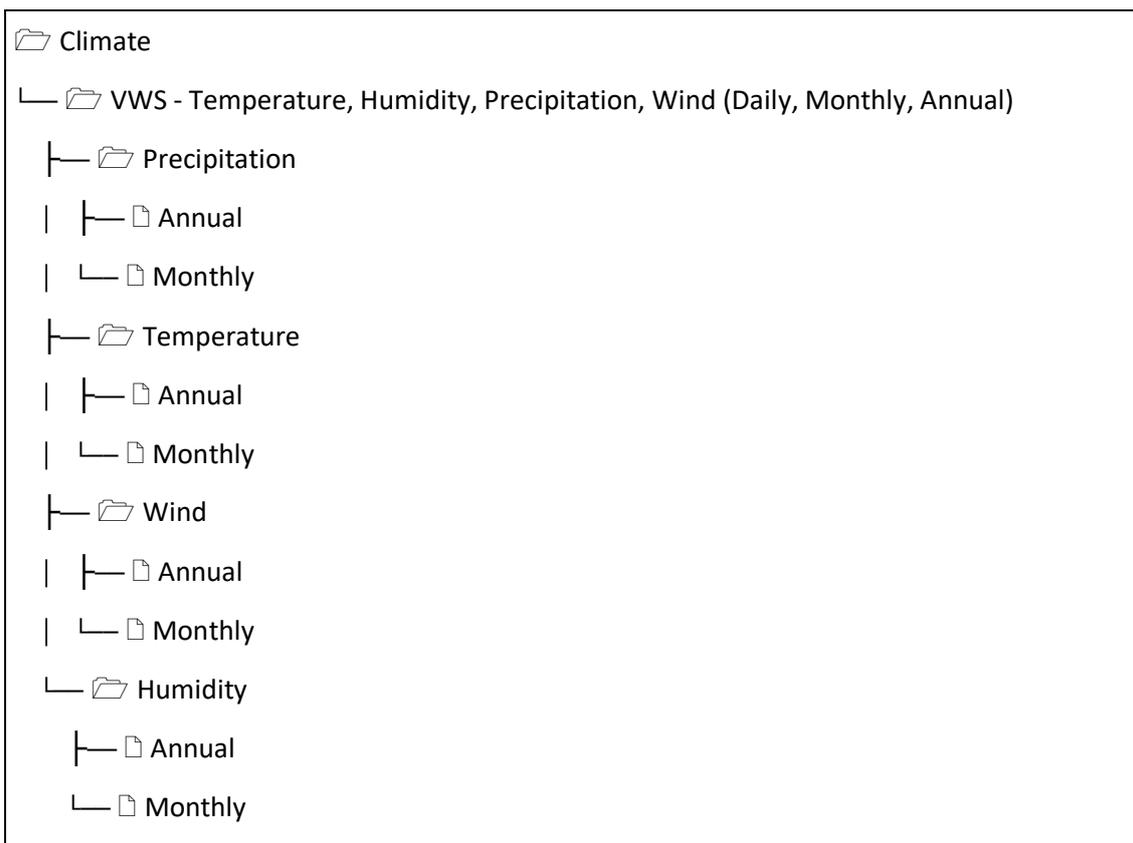
$$AADT_{P_a} = \frac{\sum_{i=1}^n AADT_i}{n}; \quad AADTT_{P_a} = \frac{\sum_{i=1}^n AADTT_i}{n}; \quad KESAL_{P_a} = \frac{\sum_{i=1}^n KESAL_i}{n} \quad (1)$$

siendo n el número de años considerados hasta el año evaluado, e i cada uno de los años con datos de tráfico desde la fecha de asignación del número de construcción.

De esta forma, se obtiene una estimación de la carga media de tráfico que la vía ha sufrido desde su construcción o última intervención.

DATOS METEOROLÓGICOS

En *LTPP* existen dos bases de datos climáticas diferenciadas: la *Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications* (MERRA), y la *Virtual Weather Station* (VWS). Para nuestro caso, se ha escogido la segunda opción debido a que está directamente gestionada por *LTPP* y utiliza la misma codificación de los tramos de vía (a diferencia de MERRA, que requiere del uso de un diccionario para comparar su clasificación con la de *LTPP*). La información se puede obtener mediante la selección:



Dentro de la selección, se presentan diferentes tablas que estiman las condiciones climáticas que afectan a cada tramo de vía, según el año y mes de interés:

- CLM_VWS_PRECIP_ANNUAL/MONTH: precipitación (total y nieve).
- CLM_VWS_TEMP_ANNUAL/MONTH: temperatura, congelamiento y variabilidad.
- CLM_VWS_WIND_ANNUAL/MONTH: velocidad del viento.
- CLM_VWS_HUMIDITY_ANNUAL/MONTH: humedades máxima y mínima.

En este caso, se puede agrupar la colección de valores promediados anuales y mensuales en una única tabla. A continuación, se exponen las columnas de interés presentes en las tablas:

TABLA 8. COLUMNAS DE INTERÉS DE LAS TABLAS DE CLIMA VWS.

Campo	Código	Descripción	Unidades
State Code	STATE_CODE	Código numérico para estado o provincia. Los códigos de los Estados Unidos son consistentes con los Estándares Federales de Procesamiento de Información.	INT
LTPP Section Identifier	SHRP_ID	Número de identificación de la sección de prueba asignado por el programa LTPP. Debe combinarse con STATE_CODE para ser único.	STRING
Year	YEAR	Year for which VWS data were computed.	YYYY
Month	MONTH	Month when AWS data were collected.	MM
Total Annual Precipitation	TOTAL_ANN_PRECIP	Precipitación anual.	mm
Total Monthly Precipitation	TOTAL_MON_PRECIP	Precipitación mensual.	mm
Annual Total Snowfall	TOTAL_SNOWFALL_YR	Precipitación de nieve anual.	mm
Monthly Total Snowfall	TOTAL_SNOWFALL_MONTH	Precipitación de nieve mensual.	mm
Average Annual Temperature Average	MEAN_ANN_TEMP_AVG	Temperatura media anual.	° C
Average Monthly Temperature Average	MEAN_MON_TEMP_AVG	Temperatura media mensual.	° C

Campo	Código	Descripción	Unidades
Annual Freezing Index	FREEZE_INDEX_YR	Índice de congelamiento por año. ¹	grados-día (° C)
Monthly Freezing Index	FREEZE_INDEX_MONTH	Índice de congelamiento por mes.	grados-día (° C)
Annual Freeze Thaw	FREEZE_THAW_YR	Días anuales en que la temperatura osciló entre grados bajo y sobre cero.	INT
Monthly Freeze Thaw	FREEZE_THAW_MONTH	Días mensuales en que la temperatura osciló entre grados bajo y sobre cero.	INT
Average Annual Wind Average	MEAN_ANN_WIND_AVG	Velocidad media anual del viento.	m/s
Average Monthly Wind Average	MEAN_MON_WIND_AVG	Velocidad media mensual del viento.	m/s
Maximum Annual Humidity Average	MAX_ANN_HUM_AVG	Promedio anual de la humedad máxima diaria relativa.	%
Maximum Monthly Humidity Average	MAX_MON_HUM_AVG	Promedio mensual de la humedad máxima diaria relativa.	%
Minimum Annual Humidity Average	MIN_ANN_HUM_AVG	Promedio anual de la humedad mínima diaria relativa.	%
Minimum Monthly Humidity Average	MIN_MON_HUM_AVG	Promedio mensual de la humedad mínima diaria relativa.	%

¹ El índice de congelamiento (en grados Celsius) se calcula siguiendo la fórmula: $FI = \sum_{i=1}^n (0 - T_i)$; donde n es el total de días del período con temperaturas bajo cero, i son los días bajo esas temperaturas; y T_i es la temperatura media diaria del aire.

3.1.4 ORGANIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS DATOS

Partiendo de los datos obtenidos de *LTPP*, y tras una selección de los datos de interés y el cálculo de aquellos que no se han podido obtener directamente, se ha creado una tabla maestra que relaciona los diferentes tipos de daños, el *PCI*, las variables climáticas y las variables de tráfico. Debido a que no todos los conjuntos de datos contienen la misma cantidad de información, ni todos hacen referencia al total de tramos existentes para cada estado, se ha considerado la hoja de datos de la inspección de los daños del pavimento como punto de partida, habiendo incorporado los valores del *PCI* calculados desde el código VBA para Excel que se ha mencionado anteriormente.

De este modo, se realiza un procesado de las hojas de interés, de forma que permita una asignación unívoca entre un conjunto de segmentos de vía (código de estado más identificador del segmento),² números de construcción, y fecha de la medición o prueba, y el correspondiente valor del índice o propiedad medida. Este procesado se realiza utilizando un programa de Python que vuelca la información de las hojas de los índices (*PCI*), los datos del pavimento (edad *Pa*) y la información externa (datos climáticos y carga de tráfico que soporta la vía), y genera un conjunto de tablas CSV con los datos preparados para su agrupamiento en la tabla maestra.

Una vez procesada la información original de *LTPP*, la agrupación se realizará asignando los valores de cada tabla CSV a las entradas de la inspección visual/*PCI* anteriormente obtenidas. Los criterios seguidos dependen de cada valor de interés trabajado:

- *PCI*
- Propiedades del firme
 - Edad del pavimento: se calcula y asigna por código de estado, ID del segmento, y número de construcción.
- Datos externos
 - Clima (*VWS*): se asigna por código de estado, ID del segmento, número de construcción y fecha (coincidiendo el año y el mes de interés con las entradas del *PCI*). Se incorporan todas las variables climáticas existentes.

² Referido a la implementación del programa *LTPP*, consistente en un *State Code* (*STATE_CODE*) y un *Section Identifier* (*SHRP_ID*), que funcionan como claves primarias en las tablas de la base de datos.

- Tráfico: se asigna por código de estado, ID del segmento, número de construcción y fecha (coincidiendo el año con las entradas del *PCI*). Se añaden los valores de *AADT*, *AADTT* y *KESAL*.

Al igual que el paso anterior, el proceso se automatiza utilizando un programa elaborado en Python, capaz de reconocer los ficheros CSV necesarios para su procesamiento y agrupar los datos en un conjunto unificado (tabla maestra).

La siguiente tabla recoge todas las variables contempladas en la tabla maestra:

TABLA 9. VARIABLES CONTEMPLADAS EN LA TABLA MAESTRA.

Categoría	Variable (código)	Variable (descripción)	Ud.
Identificación	STATE_CODE	Código numérico para estado o provincia. Los códigos de los Estados Unidos son consistentes con los Estándares Federales de Procesamiento de Información.	-
	STATE_CODE_EXP	Nombre del Estado.	-
	SHRP_ID	Número de identificación de la sección de prueba asignado por el programa LTPP. Debe combinarse con STATE_CODE para ser único.	-
	SURVEY_DATE	Fecha.	-
	CONSTRUCTION_NO	Número de evento utilizado para relacionar los cambios en la estructura del pavimento con otros elementos de datos dependientes del tiempo. Este campo se establece en 1 cuando una sección de prueba se acepta inicialmente en LTPP y se incrementa con cada cambio en la estructura de la capa.	-
Deterioros	GATOR_CRACK_A_L	Área de grietas de cocodrilo severidad baja.	sq ft
	GATOR_CRACK_A_M	Área de grietas de cocodrilo severidad media.	sq ft
	GATOR_CRACK_A_H	Área de grietas de cocodrilo severidad alta.	sq ft
	BLK_CRACK_A_L	Área de agrietamiento en bloque severidad baja.	sq ft
	BLK_CRACK_A_M	Área de agrietamiento en bloque severidad media.	sq ft
	BLK_CRACK_A_H	Área de agrietamiento en bloque severidad alta.	sq ft
	EDGE_CRACK_L_L	Longitud de grieta de borde severidad baja.	sq ft
	EDGE_CRACK_L_M	Longitud de grieta de borde severidad media.	sq ft
	EDGE_CRACK_L_H	Longitud de grieta de borde severidad alta.	sq ft
	LONG_CRACK_WP_L_L	Longitud de grieta longitudinal de la trayectoria de la rueda severidad baja.	ft
	LONG_CRACK_WP_L_M	Longitud de grieta longitudinal de la trayectoria de la rueda severidad media.	ft
	LONG_CRACK_WP_L_H	Longitud de grieta longitudinal de la trayectoria de la rueda severidad alta.	ft
	LONG_CRACK_WP_SEAL_L_L	Longitud de grieta longitudinal de trayectoria de rueda bien sellada de gravedad baja.	ft
LONG_CRACK_WP_SEAL_L_M	Longitud de grieta longitudinal de trayectoria de rueda bien sellada de gravedad media.	ft	

Categoría	Variable (código)	Variable (descripción)	Ud.
	LONG_CRACK_WP_SEAL_L_H	Longitud de grieta longitudinal de trayectoria de rueda bien sellada de gravedad alta.	ft
	LONG_CRACK_NWP_L_L	Longitud de la fisura longitudinal fuera de la trayectoria de rodadura de severidad baja.	ft
	LONG_CRACK_NWP_L_M	Longitud de la fisura longitudinal fuera de la trayectoria de rodadura de severidad media.	ft
	LONG_CRACK_NWP_L_H	Longitud de la fisura longitudinal fuera de la trayectoria de rodadura de severidad alta.	ft
	LONG_CRACK_NWP_SEAL_L_L	Longitud de la fisura longitudinal bien sellada fuera de la trayectoria de rodadura de severidad baja.	ft
	LONG_CRACK_NWP_SEAL_L_M	Longitud de la fisura longitudinal bien sellada fuera de la trayectoria de rodadura de severidad media.	ft
	LONG_CRACK_NWP_SEAL_L_H	Longitud de la fisura longitudinal bien sellada fuera de la trayectoria de rodadura de severidad alta.	ft
	TRANS_CRACK_NO_L	Número de grietas transversales de severidad baja.	nº
	TRANS_CRACK_NO_M	Número de grietas transversales de severidad media.	nº
	TRANS_CRACK_NO_H	Número de grietas transversales de severidad alta.	nº
	TRANS_CRACK_L_L	Longitud de grieta transversal de severidad baja.	ft
	TRANS_CRACK_L_M	Longitud de grieta transversal de severidad media.	ft
	TRANS_CRACK_L_H	Longitud de grieta transversal de severidad alta.	ft
	TRANS_CRACK_SEAL_L_L	Longitud de grieta transversal bien sellada de severidad baja.	ft
	TRANS_CRACK_SEAL_L_M	Longitud de grieta transversal bien sellada de severidad media.	ft
	TRANS_CRACK_SEAL_L_H	Longitud de grieta transversal bien sellada de severidad alta.	ft
	PATCH_NO_L	Número de parches de severidad baja.	nº
	PATCH_NO_M	Número de parches de severidad media.	nº
	PATCH_NO_H	Número de parches de severidad alta.	nº
	PATCH_A_L	Área de parches de severidad baja.	sq ft
	PATCH_A_M	Área de parches de severidad media.	sq ft

Categoría	Variable (código)	Variable (descripción)	Ud.
	PATCH_A_H	Área de parches de severidad alta.	sq ft
	POTHOLES_NO_L	Número de baches de severidad baja.	nº
	POTHOLES_NO_M	Número de baches de severidad media.	nº
	POTHOLES_NO_H	Número de baches de severidad alta.	nº
	POTHOLES_A_L	Área de baches de severidad baja.	sq ft
	POTHOLES_A_M	Área de baches de severidad media.	sq ft
	POTHOLES_A_H	Área de baches de severidad alta.	sq ft
	SHOVING_NO	Número de desplazamientos.	nº
	SHOVING_A	Área de desplazamiento.	sq ft
	BLEEDING	Exudación.	sq ft
	POLISH_AGG_A	Área de pulimiento de agregados.	sq ft
	RAVELING	Área de desprendimiento de agregados.	sq ft
	PUMPING_NO	Número de bombeos.	nº
	PUMPING_L	Longitud de bombeo.	ft
	OTHER	Observaciones realizadas sobre la toma de datos de los deterioros.	-
	SURVEY_WIDTH	Ancho del pavimento medido para medir el deterioro.	ft
	WP_LENGTH_CRACKED	Longitud agrietada de la trayectoria de la rueda.	ft
	TRANS_CRACK_L_GT183	Longitud de grieta transversal superior a 1,83 m.	ft
Indicadores	PCI	Valor del PCI.	adim.
Edad	Pa	Edad del pavimento desde fecha de asignación hasta fecha evacuación de cada PCI.	años
Tráfico	AADT	Estimación anual del tráfico medio diario de vehículos por la vía LTPP, calculada como promedio de los años desde fecha de asignación hasta fecha de evacuación de cada PCI.	nº
	AADT_CUM	Datos acumulados de la estimación anual del tráfico medio diario de vehículos por la vía LTPP.	nº
	AADTT	Estimación anual del tráfico medio diario de vehículos pesados por la vía LTPP, calculada como promedio de los años desde fecha de asignación hasta fecha de evacuación de cada PCI.	nº

Categoría	Variable (código)	Variable (descripción)	Ud.
	AADTT_CUM	Datos acumulados de la estimación anual del tráfico medio diario de vehículos pesados por la vía LTPP	nº
	KESAL	ESAL anual en miles para la vía LTPP, calculada como promedio de los años desde fecha de asignación hasta fecha de evacuación de cada PCI.	nº
	KESAL_CUM	Datos acumulados de ESAL anual en miles para la vía LTPP.	nº
Pavimento	SN	Número estructural utilizado en pavimentos asfálticos.	adim.
Clima	TOTAL_ANN_PRECIP	Precipitación anual.	mm
	TOTAL_MON_PRECIP	Precipitación mensual.	mm
	TOTAL_SNOWFALL_YR	Precipitación de nieve anual.	mm
	TOTAL_SNOWFALL_MONTH	Precipitación de nieve mensual.	mm
	MEAN_ANN_TEMP_AVG	Temperatura media anual.	deg C
	MEAN_MON_TEMP_AVG	Temperatura media mensual.	deg C
	FREEZE_INDEX_YR	Índice de congelamiento por año.	deg C degree days
	FREEZE_INDEX_MONTH	Índice de congelamiento por mes.	deg C degree days
	FREEZE_THAW_YR	Días anuales en que la temperatura osciló entre grados bajo y sobre cero.	days
	FREEZE_THAW_MONTH	Días mensuales en que la temperatura osciló entre grados bajo y sobre cero.	days
	MEAN_ANN_WIND_AVG	Velocidad media anual del viento.	m/s
	MEAN_MON_WIND_AVG	Velocidad media mensual del viento.	m/s
	MAX_ANN_HUM_AVG	Promedio anual de la humedad máxima diaria relativa.	%
	MAX_MON_HUM_AVG	Promedio mensual de la humedad máxima diaria relativa.	%
	MIN_ANN_HUM_AVG	Promedio anual de la humedad mínima diaria relativa.	%
	MIN_MON_HUM_AVG	Promedio mensual de la humedad mínima diaria relativa.	%
	CLIMATIC_ZONE	Zona climática.	Texto
MON_PREC_CUM	Precipitación mensual acumulada.	mm	
MON_SNOW_CUM	Nieve mensual acumulada.	mm	

3.1.5 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE LOS DATOS

SELECCIÓN DE LA MUESTRA

Tal y como se explica en el apartado 3., los datos se han obtenido de la base de datos Long-Term Pavement Performance (LTPP), considerando únicamente la vías urbanas de pavimento flexible de todos los estados posibles de EE.UU. Tras el proceso de selección y tratamiento de los datos, se dispone de una muestra total de 774 registros, durante un periodo de 30 años (1989-2019), abarcando un total de 36 estados de EE.UU.

Sin embargo, se han descargado los datos de EE.UU para una posterior aplicación en València (España), de modo que es necesario filtrar los datos descargados para considerar únicamente los que se correspondan con un clima similar al de València. Ello requiere, en primer lugar, identificar y clasificar el clima de València.

El clima en España se puede clasificar en función de la precipitación media anual (mm) y la zona térmica estival (Norma 6.3 IC: Rehabilitación de Firmes, 2003).

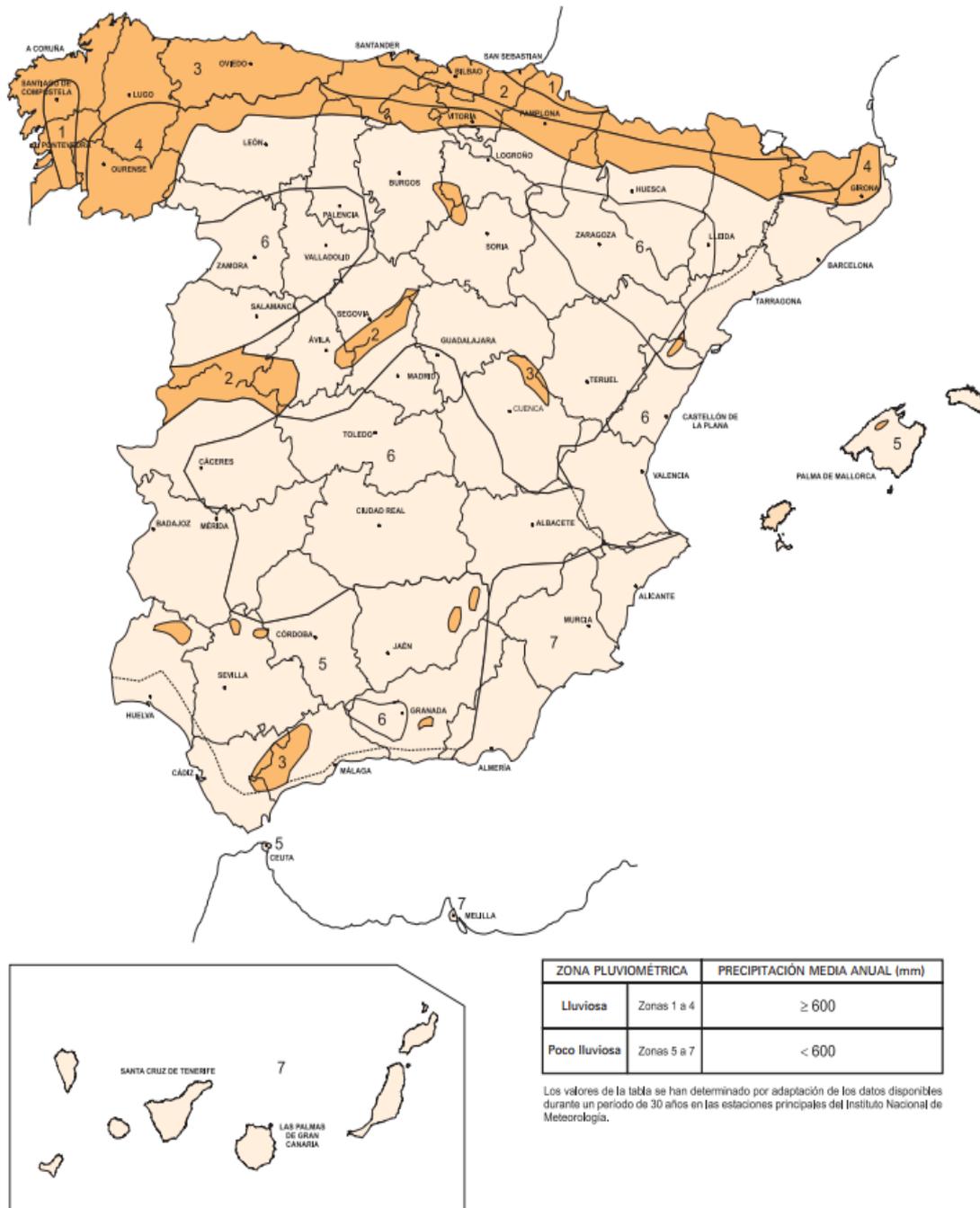


FIGURA 11. ZONAS CON NIVEL DE PRECIPITACIÓN ANUAL SEMEJANTE (NORMA 6.3 IC: REHABILITACIÓN DE FIRMES, 2003).

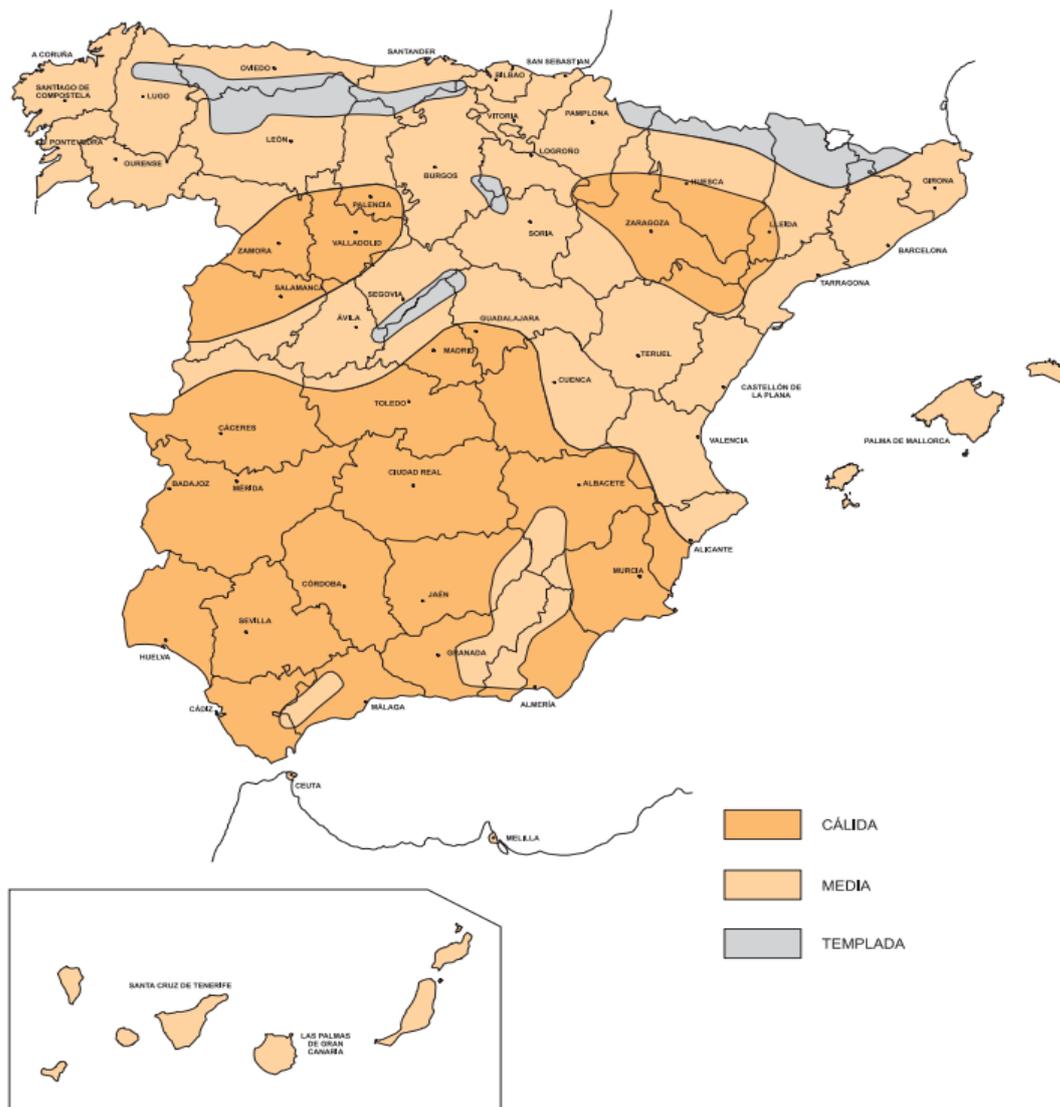


FIGURA 12. ZONAS TÉRMICAS ESTIVALES (NORMA 6.3 IC: REHABILITACIÓN DE FIRMES, 2003).

La Norma 6.3 IC: *Rehabilitación de Firmes* no indica los criterios para determinar si la zona térmica estival es templada, media o cálida. Estos criterios dependerán de la Temperatura Media Estival (TME) (temperatura media de los meses de verano -junio, julio y agosto-).

Se han descargado los datos mensuales por estaciones meteorológicas de <https://datosclima.es/Aemethistorico/Tempestad.php>, para establecer una clasificación cuantitativa que concuerde con el mapa de la normativa.

Finalmente, se clasifican las distintas zonas térmicas estivales en función de la TME tal que:

- Templada: $11 \leq TME \leq 16$
- Media: $16 < TME < 23$
- Cálida: $23 \leq TME \leq 29$

En base a todo ello, se pueden diferenciar cuatro áreas climáticas existentes en España:

TABLA 10. ÁREAS CLIMÁTICAS EN ESPAÑA.

Área climática	Codificación área climática	Precipitación media anual (mm)	Temperatura Media Estival (°C)
LLUVIOSA – TEMPLADA	LL-T	≥ 600	$11 \leq TME \leq 16$
POCO LLUVIOSA – MEDIA	PLL-M	< 600	$16 < TME < 23$
LLUVIOSA – MEDIA	LL-M	≥ 600	
POCO LLUVIOSA – CÁLIDA	PLL-C	< 600	$23 \leq TME \leq 29$

ANÁLISIS CUALITATIVO DE LA MUESTRA

Se ha analizado de forma cualitativa la evolución del *PCI* en el tiempo para cada una de las secciones. Para ello, se calcula el de *PCI* que se produce en la sección sin que se realice ninguna actuación de mantenimiento (mismo SHRP_ID y mismo CONSTRUCTION_NO). Si no se llevan a cabo actuaciones de mantenimiento, el *PCI* debe ir disminuyendo con el paso del tiempo. Se analiza también, de forma cualitativa, la evolución de los deterioros en el tiempo para cada una de las secciones, en ausencia de procedimientos de mantenimiento.

Después de determinar qué; aproximadamente un 22% de los datos muestra una variación positiva de *PCI* en el tiempo, sin que se realice ninguna actuación de mantenimiento, se deduce que es ilógico, aunque no implica que los datos sean incorrectos. Puesto que, el *PCI* depende de los deterioros, se ha comprobado que el *PCI* calculado sea el correcto en base a los datos existentes descargados del *LTPP*. Descartada la posibilidad de un error en el cálculo del *PCI*, se analiza la evolución de los deterioros en el tiempo. En este análisis se observa que la evolución de los deterioros en muchos casos no es lógica: los daños disminuyen de severidad con el paso del tiempo. Esto se debe a que los datos fueron recogidos por diferentes agencias, diferente personal, diferentes tipos de tecnologías y bajo diversas condiciones ambientales. Además, estas últimas dificultan en muchas ocasiones la identificación de deterioros como las exudaciones, tal y como indica *LTPP* en la variable *OTHER*.

Por lo tanto, se decide eliminar los casos en los que el *PCI* sufre una variación positiva. De este modo la muestra es de 607 registros: 0 en el área climática LL-T, 69 PLL-M, 283 LL-M y 16 PLL-C. En concreto, en la ciudad de Valencia se aplicaría solamente el área climática PLL-M. Cabe esperar que esta depuración de los datos permita mejores resultados estadísticos.

3.2. MODELO DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS URBANOS

El sistema de gestión del mantenimiento propuesto se ha desarrollado en base a las recomendaciones de los autores de la literatura existente. Este sistema de gestión incluye un modelo predictivo de la condición del pavimento que se fundamenta en los datos de la muestra que se ha preparado previamente. A su vez, el sistema de gestión se compone de una fase de evaluación de la condición del pavimento, así como, de una fase de toma de decisiones.

3.2.1 EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO

La metodología de evaluación de la condición del pavimento planteada para el desarrollo del modelo predictivo se apoya íntegramente en el método del **Índice de Condición del Pavimento (PCI)** como medida sustituta del nivel de deterioro para cada sección de carretera.

A partir del cálculo del *PCI* en las secciones objeto de estudio se ha permitido caracterizar cada una de ellas para la toma de decisiones posterior referente al mantenimiento de las vías.

ELECCIÓN DEL ÍNDICE PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO

La elección de este índice para la cuantificación de la condición del pavimento se ha llevado a cabo tras comparar los diferentes indicadores recomendados en la literatura existente. A continuación, se exponen los motivos principales de su elección:

- En cuanto a la toma de datos, el *PCI* permite evaluar la condición del pavimento mediante una inspección visual de todos los daños considerados en la metodología.
- Además, el método *PCI* toma como unidad de referencia una superficie determinada de la vía a la que se ha llamado sección en el proceso de evaluación de la condición del pavimento.
- Asimismo, el *PCI* permite evaluar la condición del pavimento a partir de un único valor en una sección. Esto simplifica en gran medida el proceso de evaluación y predicción posterior.
- A su vez, el *PCI* es el índice recomendado por la *“Guía para la rehabilitación y la gestión de los firmes de las carreteras dependientes de las administraciones locales”* (AEC, 2019).

MÉTODO PCI (Índice de Condición del Pavimento)

El *PCI* es un indicador numérico que evalúa el estado de la superficie del pavimento. Proporciona una medida de la condición del pavimento en base a una inspección visual del daño. Este índice se calcula según los siguientes tipos de deterioro, proporcionados por el programa *LTPP*:

- Deterioros superficiales:
 - Meteorización y desprendimiento (m²).
 - Exudación (m²).
- Deformaciones superficiales:
 - Ondulaciones transversales (m²).
 - Roderas (m²).
 - Abultamientos (m²).
- Agrietamiento:
 - Longitudinal (m).
 - Transversal (m).
 - En forma de piel de cocodrilo (m²).

El valor numérico del índice *PCI* caracteriza la condición del pavimento de una sección, de manera que un valor de 100 indica que la condición del pavimento es perfecta y un valor de 0 significa el colapso total del mismo (ASTM D 6433-07, 2007). Se puede clasificar por rangos, como:



FIGURA 13. CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DEL PAVIMENTO SEGÚN EL VALOR DEL PCI (YOUNOS ET AL., 2020).

Para ello, en primer lugar, se debe identificar la cantidad total de cada uno de los daños dentro de una misma sección, diferenciando en función de su nivel de severidad, e independientemente de la posición que ocupe dentro de la sección. El método *PCI* propone tres niveles de severidad por cada tipo de daño. A excepción de las grietas longitudinales y transversales, que son medidas en unidades de longitud (m), el resto de los daños considerados son medidos en unidades de área (m²).

A partir de la cantidad de cada daño, se obtiene el valor de la densidad y su nivel de severidad presente por unidad de área de sección o metro lineal, expresado en porcentaje de área total. De esta forma, se obtiene un valor numérico (*Deduct Value*) que expresa la afección que supone para el conjunto de la sección la cantidad de cada daño presente.

Así pues, se tiene que cada daño y severidad presente en la sección viene definido por un valor numérico. Sin embargo, para la obtención del valor *PCI*, solo son considerados aquellos que cuentan con un peso relativo mayor, que más van a condicionar el estado del pavimento.

Para ello, la *ASTM* propone la siguiente expresión;

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) \cdot (100 - MaxDV) \quad (2)$$

Donde

m: número de valores a considerar para la obtención del *PCI*.

MaxDV: máximo valor numérico que caracteriza un daño.

Como se puede observar, si el máximo valor numérico fuese de 100, solo se consideraría un único valor (*m*=1), el de este daño. Esto se traduce en que, si un daño genera un valor de 100, la presencia de este único daño genera un colapso total de la sección.

Para el resto de los casos, el valor resultante *m* es un valor racional, donde la parte entera corresponde al número de valores a considerar; la parte decimal indica la parte proporcional de otro valor que será considerada. Como ejemplo de ello, si el valor de *m* fuese 7,03, se considerarían los 7 valores más altos y un 3 por cien del octavo valor más alto. Si el octavo valor más alto fuese 4, solo se consideraría un valor de 0,13.

Una vez se tienen claros todos los valores, la cuantificación numérica del daño sería el sumatorio de todos ellos. Pero el proceso es algo más complejo. Para una mayor comprensión, se presenta un ejemplo, la explicación se realiza siguiendo la Tabla 11.

TABLA 11. EJEMPLO DE OBTENCIÓN DE UN VALOR DE PCI.

#	Deduct Values	Total	q	CDV
1	34,31 25,27 11,83 10,38 9,32 7,31 6,05 0,20	104,67	7,00	51,05
2	34,31 25,27 11,83 10,38 9,32 7,31 6,05 0,20	104,67	7,00	51,05
3	34,31 25,27 11,83 10,38 9,32 7,31 2,00 0,20	100,63	6,00	48,84
4	34,31 25,27 11,83 10,38 9,32 2,00 2,00 0,20	95,32	5,00	49,14
5	34,31 25,27 11,83 10,38 2,00 2,00 2,00 0,20	88,00	4,00	50,47
6	34,31 25,27 11,83 2,00 2,00 2,00 2,00 0,20	79,61	3,00	51,42
7	34,31 25,27 2,00 2,00 2,00 2,00 2,00 0,20	69,78	2,00	51,55
8	34,31 2,00 2,00 2,00 2,00 2,00 2,00 0,20	46,51	1,00	46,35

Para el caso ejemplo, m es igual a 7,03, de esta forma, en la primera fila se muestran los valores resultantes, los 7 primeros valores completos y un 3% del octavo valor más alto. La suma de estos valores en muchos casos puede ser superior a 100, y por lo tanto se han de corregir (o normalizar) entre 0 y 100 en función del criterio establecido en las tablas que la *ASTM* incluye en la norma.

El método plantea, además, un total de 8 alternativas (en el caso ejemplo) reflejadas en la Tabla 11. Estas alternativas se generan sustituyendo los valores superiores a 2, por un valor de 2. En la fila 8 se sustituyen todos los valores superiores a 2, menos el valor máximo; en la fila 7, se sustituyen todos los valores, menos los dos máximos, y así sucesivamente. Esto permite comparar distintas alternativas donde los valores máximos cuentan con un peso relativo mayor respecto al resto.

Realizada esta matriz, por cada fila se evalúan cuántos valores están por encima de 2, siendo esto representado por q , con este valor de q se establece el *Correct Deduct Value (CDV)*, que corrige el valor del *DV* para un valor entre 0 y 100.

De todas las alternativas, la que indica un daño mayor es la de la fila 7, con un valor corregido total (*Corrected Deduct Value, CDV*) de 51,55.

El valor del *PCI* se obtiene de la siguiente forma:

$$PCI = 100 - CDV \quad (3)$$

Se trata de un método que permite combinar hasta un total de 19 tipos de daños y que considera la importancia relativa de cada daño en la cuantificación total del daño.

El cálculo de los valores de *PCI* para toda la base de datos se ha realizado de forma automática a partir de una hoja de Excel utilizando el procedimiento sugerido por Kan Wu et al. (2015).

3.2.2 MODELO DE PREDICCIÓN DEL DETERIORO

El modelo de predicción se ha realizado mediante el uso de **Redes Neuronales Artificiales (RNA)** como herramienta para la predicción del Índice de la Condición del Pavimento.

RED NEURONAL

Las Redes Neuronales Artificiales (RNA) o, en inglés, *Artificial Neural Network* (ANN) son una de las técnicas de aprendizaje automático más eficientes en la actualidad. Conceptualmente, las RNA se inspiran en el funcionamiento del cerebro humano. Consisten en unidades de procesamiento que intercambian datos o información que se utilizan para reconocer patrones y son capaces de aprender y mejorar su funcionamiento.

Las ANN se pueden clasificar en diferentes grupos según su tipología y los algoritmos de aprendizaje influyendo directamente en su rendimiento. En este caso, se ha recurrido a las Redes Neuronales Prealimentadas o, *Feed-Forward Neural Network* (FFNN), ya que es una de las más utilizadas. Las FFNN funcionan de manera que la información se propaga hacia adelante, es decir, de la capa de entrada a la de salida.

DESARROLLO

El desarrollo de la red neuronal se ha llevado a cabo a partir del lenguaje de programación Python. En el ecosistema de Python, existen múltiples librerías que permiten crear modelos basados en redes neuronales, dependiendo del caso conviene usar una librerías u otras. Para este tipo de modelo se tiene que recurrir a *frameworks* especializados como Tensorflow-Keras.

ARQUITECTURA DE LA RED

Las redes neuronales son modelos creados al ordenar operaciones matemáticas siguiendo una determinada estructura. La forma más común de representar la estructura de una red neuronal es mediante el uso de capas (*layers*), formadas a su vez por neuronas (*units* o *neurons*). Cada neurona, realiza una operación sencilla y está conectada a las neuronas de la capa anterior y de la capa siguiente mediante pesos, cuya función es regular la información que se propaga de una neurona a otra.

En este caso, se trata de una red neuronal FFNN de Perceptrón de una capa o, en inglés, *Single-Layer Perceptron*. Se considera uno de los tipos más sencillos de red neuronal prealimentada, ya que consta de una sola capa de nodos de salida, es decir, las entradas están conectadas directamente a las salidas a través de una serie de ponderaciones. La figura 14 muestra la arquitectura de este tipo de redes neuronales.

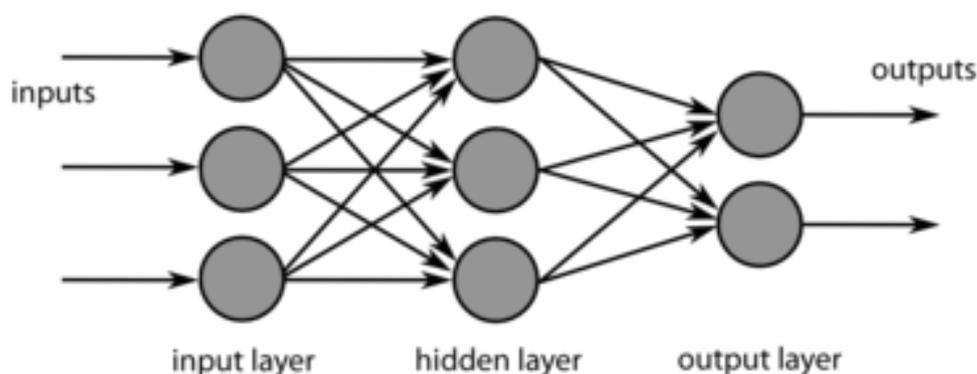


FIGURA 14. REPRESENTACIÓN DE UNA RED NEURONAL FFNN SINGLE-LAYER PERCEPTRON (COMPUTER AGE STATICAL INFERENCE, 2016).

La primera capa de la red neuronal se conoce como capa de entrada o *input layer* y recibe datos en bruto, es decir, el valor de los predictores. La capa intermedia, conocida como capa oculta o *hidden layer*, recibe los valores de la capa de entrada ponderados por los pesos (flechas grises). La última capa, también llamada *output layer*, combina los valores que salen de la capa intermedia para generar la predicción.

Cada neurona de la primera capa supone el valor de uno de los predictores. Las flechas representan los coeficientes de regresión o pesos, y la neurona de salida simboliza el valor predicho.

LA NEURONA

La neurona es la unidad funcional de los modelos de redes. Dentro de cada neurona, tienen lugar dos operaciones: la suma ponderada de sus entradas y la aplicación de una función de activación.

En la primera parte, se multiplica cada valor de entrada X_i por su peso asociado W_i y se suman junto con el sesgo del modelo. Este es el valor neto de entrada a la neurona. A continuación, este valor se pasa por una función, conocida como función de activación, que transforma el valor neto de entrada en uno de salida. Gracias a las funciones de activación, se pueden generar salidas muy diversas.

El funcionamiento matemático es el siguiente:

- El valor neto de entrada a una neurona es la suma de los valores que le llegan, ponderados por el peso de las flechas, más el sesgo.

$$entrada = \sum_{i=1}^n X_i W_i + b \quad (4)$$

- Esta operación suele representarse como el producto matricial, donde X representa el valor de los vectores de entrada y W el valor de los pesos.

$$entrada = X_i W_i + b \quad (5)$$

- A este valor se le aplica una función de activación (g) que lo transforma en lo que se conoce como valor de activación (a), que es lo que finalmente sale de la neurona.

$$a = g(entrada) = g(X_i W_i + b) \quad (6)$$

FUNCIONES DE ACTIVACIÓN

Las funciones de activación controlan en gran medida la información que se propaga desde una capa a la siguiente. Estas funciones convierten el valor neto de entrada a la neurona en un nuevo valor, mediante la combinación de los *inputs*, pesos y sesgo. Las funciones de activación no lineales con múltiples capas, permite que los modelos sean capaces de aprender relaciones no lineales.

La gran mayoría de las funciones de activación convierten el valor de entrada neto de la neurona en un valor dentro del rango (0, 1) o (-1, 1). Cuando el valor de activación de una neurona es 0, se dice que la neurona está inactiva, ya que no pasa ningún tipo de información a las siguientes neuronas. A continuación, se describen las funciones de activación que se han estudiado para el desarrollo del modelo de predicción:

- **Funciones lineales:**

- **Linear:** también conocida como identidad, permite que la entrada sea igual a la salida, por lo que se usa si a la salida se requiere una regresión lineal y de esta manera la red neuronal que se le aplica la función va a generar un valor único.

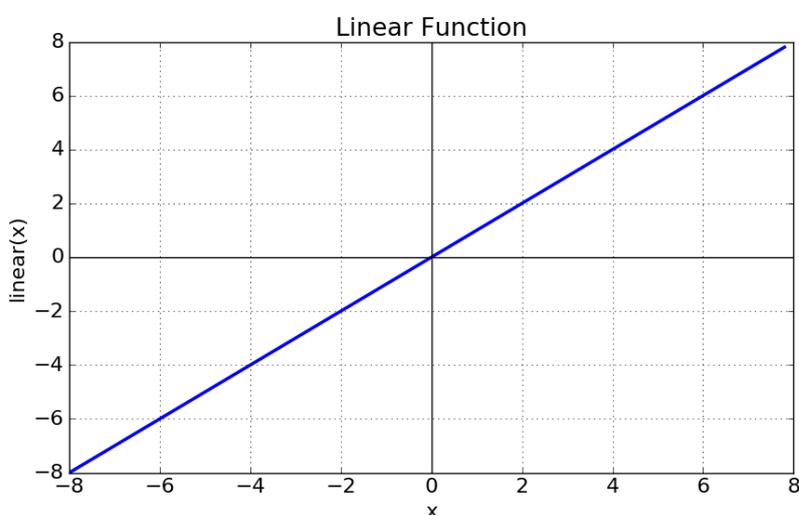


FIGURA 15. REPRESENTACIÓN FUNCIÓN ACTIVACIÓN LINEAR
([HTTPS://BOOTCAMP.AI.MEDIUM.COM/](https://bootcampai.medium.com/)).

- **Funciones no lineales:**

- **Rectified linear unit (ReLU):** la función de activación *ReLU* aplica una transformación no lineal muy simple, activa la neurona solo si el *input* está por encima de 0. Mientras el valor de entrada está por debajo de 0, el valor de salida es 0, pero cuando es superior a 0, el valor de salida aumenta de forma lineal con el de entrada.

$$ReLU(x) = \max(x, 0) \quad (7)$$

De esta forma, la función de activación retiene únicamente los valores positivos y descarta los negativos dándoles una activación de cero.

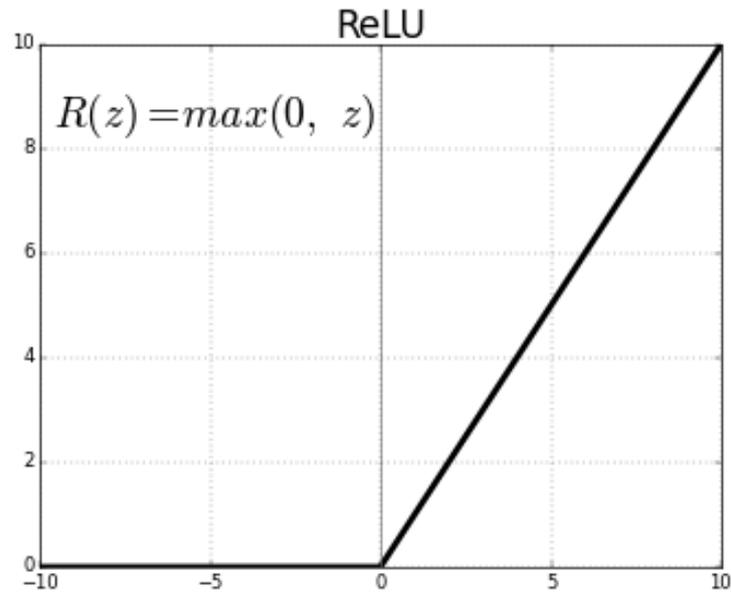


FIGURA 16. REPRESENTACIÓN FUNCIÓN ACTIVACIÓN RELU ([HTTPS://BOOTCAMP AI.MEDIUM.COM/](https://bootcampai.medium.com/)).

- **Sigmoide:** la función sigmoide transforma los valores en el rango de $(-\infty, +\infty)$ a valores en el rango $(0,1)$.

$$\text{sigmoid}(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)} \quad (8)$$

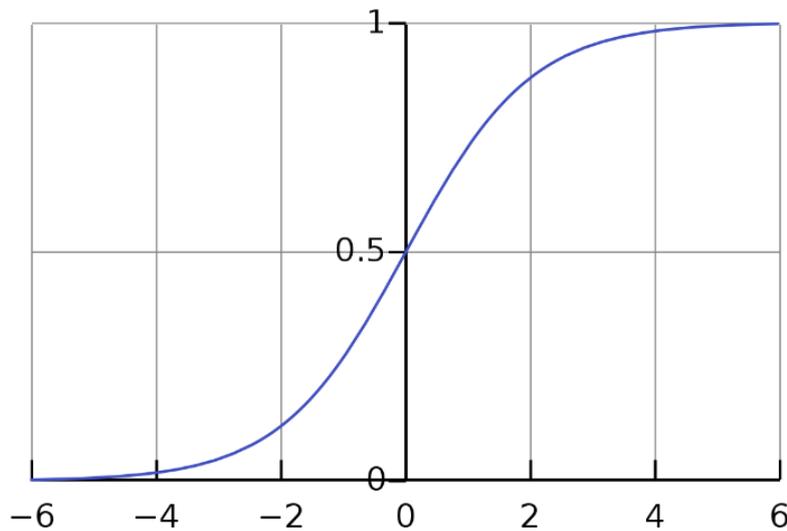


FIGURA 17. REPRESENTACIÓN FUNCIÓN ACTIVACIÓN SIGMOID ([HTTPS://BOOTCAMP AI.MEDIUM.COM/](https://bootcampai.medium.com/)).

Aunque la función de activación *sigmoide* se utilizó mucho en los inicios de los modelos de redes, en la actualidad, suele preferirse la función *ReLU*.

- **Tangente hiperbólica (Tanh):** la función de activación *Tanh*, se comporta de forma similar a la función *sigmoide*, pero su salida está acotada en el rango (-1, 1).

$$\tanh(x) = \frac{1 - \exp(-2x)}{1 + \exp(-2x)} \quad (9)$$

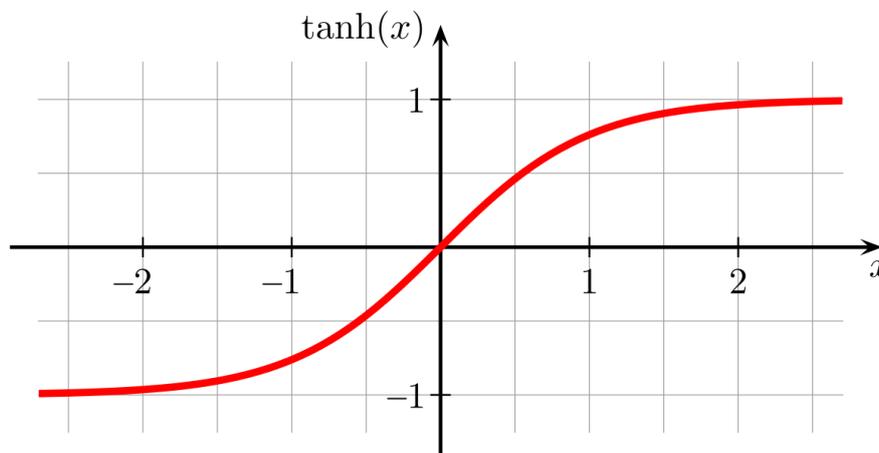


FIGURA 18. REPRESENTACIÓN FUNCIÓN ACTIVACIÓN TANH ([HTTPS://BOOTCAMP AI.MEDIUM.COM/](https://bootcampai.medium.com/)).

Sin las funciones de activación las redes neuronales solo pueden aprender relaciones lineales.

El modelo de predicción desarrollado consta de una capa interna con una función de activación **Linear** y una capa de salida con una función de activación **ReLU**.

ENTRENAMIENTO

El proceso de entrenamiento de la red neuronal consiste en ajustar el valor de los pesos y sesgos de tal forma que, las predicciones que se generen, tengan el menor error posible. Gracias a esto, el modelo es capaz de identificar qué predictores tienen mayor influencia y de qué forma están relacionados entre ellos y con la variable de respuesta.

Para este entrenamiento se ha utilizado un 70% aleatorio de los datos de la muestra que queda tras filtrar la muestra inicial para obtener el modelo deseado (581). A su vez, el 30% restante de los datos se usa para el proceso de validación del modelo.

MODELOS PROPUESTOS

Partiendo de la infinidad de combinaciones posibles para la elaboración del modelo predictivo, se ha propuesto un análisis de una serie de modelos en base a unas características específicas.

En primer lugar, uno de los aspectos más importantes para tener en cuenta en la creación de modelos son los datos de partida. A partir de la muestra obtenida en el estudio previo referente a los datos de EE.UU. y Canadá se pueden plantear modelos muy diferentes. Por este motivo, se han estudiado y obtenido cuáles son las variables y características de la vía y el entorno que mayor influencia tienen en el proceso deterioro de los pavimentos urbanos. Luego, a partir de estas variables donde se incluían exactamente los daños, el tráfico y la climatología, se han propuesto las siguientes combinaciones de datos de entrada:

TABLA 12. COMBINACIONES DE LAS VARIABLES DE ENTRADA EN LOS MODELOS PROPUESTOS.

DISTRESS + PCI + T
DISTRESS + PCI + T + MON_PREC_CUM + MON_SOW_CUM
DISTRESS + PCI + T + AADT_CUM + AADTT_CUM + KESAL_CUM
DISTRESS + PCI + T + AADT_CUM + AADTT_CUM + KESAL_CUM + MON_PREC_CUM + MON_SOW_CUM

Otro aspecto importante en el desarrollo de los modelos son las funciones de activación de las diferentes capas existentes en la Red Neuronal. En este caso, tras las recomendaciones de los autores de la literatura y las pruebas propias realizadas previamente, se ha decidido estudiar las siguientes combinaciones:

TABLA 13. COMBINACIÓN DE LAS FUNCIONES DE ACTIVACIÓN EN LOS MODELOS PROPUESTOS.

act_IN	act_OUT
Linear	Linear
ReLU	ReLU
sigmoid	Linear
tanh	ReLU
Linear	Linear
ReLU	ReLU
sigmoid	Linear
tanh	ReLU

Por último, también se ha tenido en cuenta a la hora de elaborar el modelo la posibilidad de crear un modelo específico para la zona climática correspondiente a la ciudad de Valencia. Sin embargo, esto supone una reducción importante de la muestra inicial ya que, este modelo de Red Neuronal, no permite trabajar con secciones de vía en las que no estén presentes todas las variables de partida contempladas ni las celdas vacías. Las variables de tráfico presentaban el mismo problema.

TABLA 14. COMBINACIÓN DE LAS ZONAS CLIMÁTICAS CONTEMPLADAS EN LOS MODELOS PROPUESTOS.

Zone
ALL
POCO LLUVIOSA - MEDIA

Los modelos se testearon un total de 9 veces cada uno de manera que los datos correspondientes al porcentaje de entrenamiento y validación variaban cada vez con el objetivo de aumentar la fiabilidad del modelo.

3.2.3 MODELO DE TOMA DE DECISIONES

El sistema de gestión del mantenimiento propuesto se completa con un modelo o guía de toma de decisiones para la elección de las actuaciones de mantenimiento. Este modelo se ha realizado a partir de un **árbol de decisión** que relaciona los daños existentes en una sección de carretera con las posibles actuaciones de mantenimiento correspondientes.

ÁRBOL DE DECISIÓN

Un árbol de decisión es un mapa que incluye los posibles resultados a una serie de decisiones relacionadas. Permite que un individuo o una organización comparen posibles acciones entre sí según unos requisitos, por ejemplo, sus costos, probabilidades y beneficios. Se pueden usar para dirigir un intercambio de ideas o trazar un algoritmo que anticipe matemáticamente la mejor opción.

Un árbol de decisión, por lo general, comienza con un único nodo y luego se ramifica en resultados posibles. Cada uno de esos resultados crea nodos adicionales, que se ramifican en otras posibilidades. Esto le da una estructura similar a la del árbol.

DESARROLLO

Para determinar las actuaciones de mantenimiento presentes en el árbol de decisión se ha recibido la ayuda de un grupo de expertos del sector de la Conservación y Explotación de las carreteras (COEX) actualmente en activo y pertenecientes a la empresa PAVASAL, más concretamente a la Delegación de Oliva.

ESTRUCTURA DEL ÁRBOL DE DECISIÓN

El planteamiento del árbol de decisión propuesto se basa en los daños existentes en una sección de la vía de modo que permite elegir el tratamiento de mantenimiento óptimo en cada caso. Aunque se ha tenido en cuenta la posibilidad de que existan más de un daño simultáneamente en una sección de la vía el procedimiento para la elección de la actuación es muy similar.

Con el fin de simplificar el modelo, se han agrupado los daños en cuatro tipos, según recomiendan la mayoría de las administraciones en materia de conservación y explotación de carreteras, de la siguiente manera:

TABLA 15. CLASIFICACIÓN SEGÚN LOS GRUPOS DE DAÑOS.

Agrietamiento	Desprendimiento	Deformación	Otros
---------------	-----------------	-------------	-------

En este caso:

TABLA 16. CLASIFICACIÓN DE LOS DAÑOS EXISTENTES.

Agrietamiento	Desprendimiento	Otros
Grietas en forma de piel de cocodrilo	Baches	Parches
Grietas longitudinales	Meteorización y desprendimiento	
Grietas transversales		

Conjuntamente con los daños, se han clasificado las posibles actuaciones a llevar a cabo en cuatro grandes grupos, según el valor del PCI:

TABLA 17. CLASIFICACIÓN DE LAS ACTUACIONES SEGÚN EL VALOR DEL PCI.

Puntual	Reposició	Recrecido	Reconstrucción
$70 < PCI < 100$	$40 < PCI < 70$	$10 < PCI < 40$	$0 < PCI < 10$

De esta manera, a partir de los daños detectados y el nivel de *PCI* en una sección se puede decidir la actuación en cada caso.

Concretamente, la estructura del árbol de decisión consta de una parte principal donde queda detallada la guía para la elección de la actuación de mantenimiento y tres tablas auxiliares que sirve de apoyo a la guía con la finalidad de facilitar el proceso. La guía principal corresponde con la Figura 19 que se adjunta a continuación.

En la primera tabla ‘Tabla leyenda de las actuaciones’, se exponen todas las actuaciones agrupadas según si el tipo de actuación es puntual, reposición, recrecido o demolición y reconstrucción completa. Además, a cada una de las actuaciones se le asigna un número del 1 al 8 como identificador.

En la tabla ‘Tabla daños-actuación’ se pueden observar los identificadores que se asignan en base al rango del valor del *PCI* de la sección objeto de estudio y el tipo de daños presente. De modo que, a partir del daño y el *PCI* se pueda determinar la actuación óptima en cada caso.

Por último en la tabla ‘Tabla jerarquía de las actuaciones’ se relacionan mediante identificadores todas las actuaciones contempladas de modo que, si es necesario, sea posible priorizar la actuación de mayor magnitud con el objetivo de reducir los costes de operación y primando que la decisión sea realmente eficiente.

A continuación, se adjuntan también las tres tablas auxiliares. En primer lugar, la Figura 20 equivale a la ‘Tabla leyenda de las actuaciones’. Seguidamente, se adjunta la ‘Tabla daños-actuación’ Figura 21, y por último, la ‘Tabla jerarquía de las actuaciones’ Figura 22.

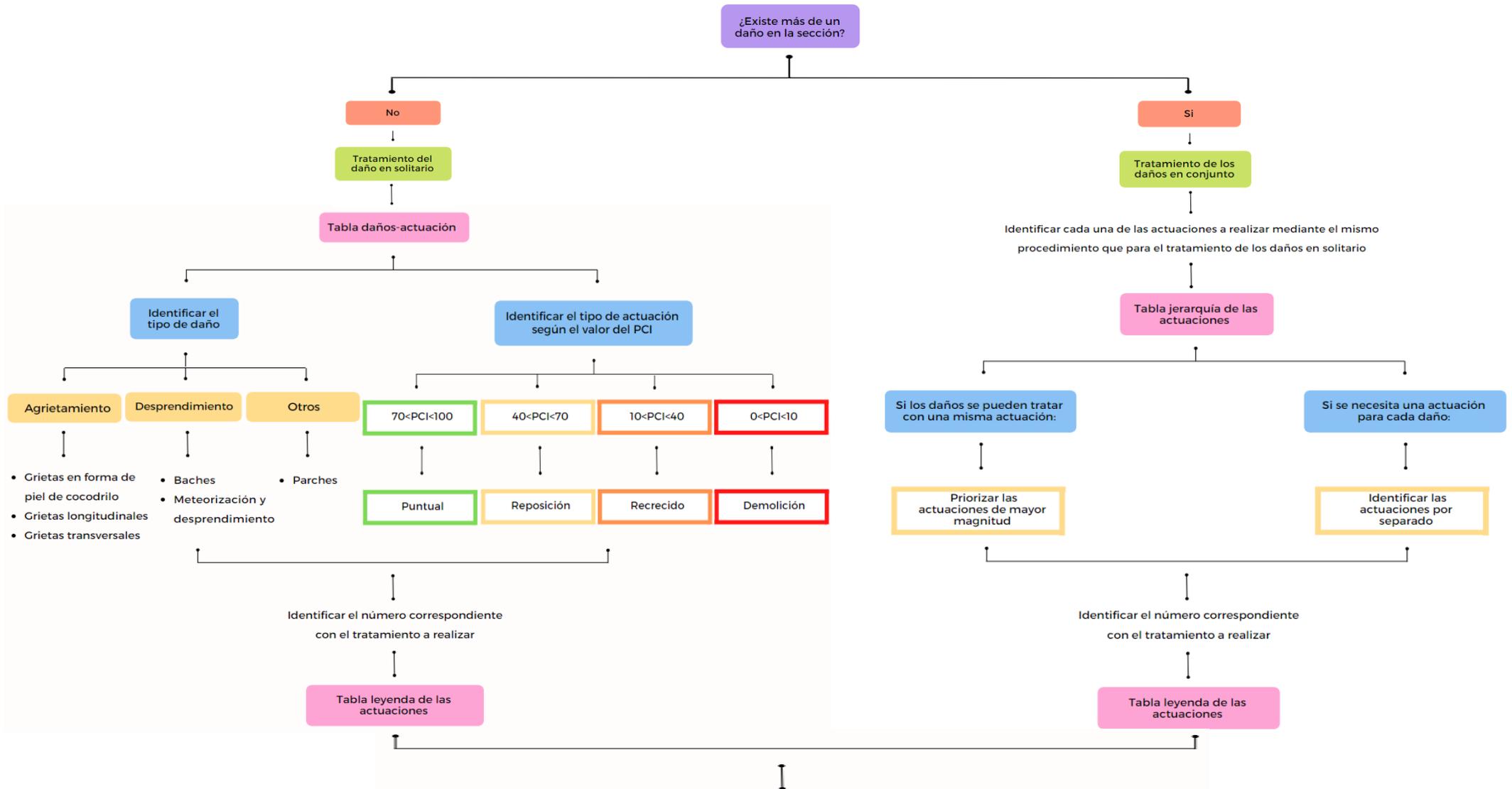


FIGURA 19. 'GUÍA PRINCIPAL PARA LA ELECCIÓN DE LA ACTUACIÓN'.

ACTUACIONES		Nº
Actuación puntual	Sellado de grietas con mástic bituminoso	1
	Barrido y relleno con aglomerado en frío	2
	Microfresado, barrido y riego con emulsión con capa de lechada bituminosa	3
Reposición	Sellado de grietas con mástic bituminoso más riego con emulsión	4
	Corte, barrido, riego y relleno con mezcla bituminosa	5
	Fresado, barrido, riego con emulsión y reposición con mezcla bituminosa	6
Recrecido	Fresado, barrido, riego con emulsión y reposición con mezcla bituminosa más otro riego y capa de recrecido	7
Demolición y reconstrucción completa	Saneamiento y reconstrucción total (con medios mecánicos)	8

FIGURA 20. 'TABLA LEYENDA DE LAS ACTUACIONES'.

Tabla daños-actuación

		RUTINARIO (70<PCI<100)	PREVENTIVO (O PERIÓDICO) (40<PCI<70)	REHABILITACIÓN (10<PCI<40)	RECONSTRUCCIÓN COMPLETA (0<PCI<10)
		Actuación puntual	Reposición	Recrecido	Demolición y reconstrucción completa
AGRIETAMIENTO	Grietas en forma de piel de cocodrilo	1	4	7	8
	Grietas longitudinales	1	4	7	8
	Grietas transversales	1	4	7	8
DESPRENDIMIENTO	Baches	2	5	7	8
	Meteorización y desprendimiento	3	6	7	8
OTROS	Parches	3	6	7	8

FIGURA 21. 'TABLA DAÑOS-ACTUACIÓN'.

Tabla jerarquía de las actuaciones

		RUTINARIO (70-PCI-100)			PREVENTIVO (O PERIÓDICO) (40-PCI-70)			REHABILITACIÓN (10-PCI-40)	RECONSTRUCCIÓN COMPLETA (0-PCI-10)
		Sellado de grietas con mástic bituminoso (1)	Barrido y relleno con aglomerado en frío (2)	Microfresado, barrido y riego con emulsión con capa de lechada bituminosa (3)	Sellado de grietas con mástic bituminoso más riego con emulsión (4)	Corte, barrido, riego y relleno con mezcla bituminosa (5)	Fresado, barrido, riego con emulsión y reposición con mezcla bituminosa (6)	Fresado, barrido, riego con emulsión y reposición con mezcla bituminosa más otro riego y capa de recrecido (7)	Saneamiento y reconstrucción total (con medios mecánicos) (8)
RUTINARIO (70-PCI-100)	Sellado de grietas con mástic bituminoso (1)		1 y 2	1 y 3	4	1 y 4	6	7	8
	Barrido y relleno con aglomerado en frío (2)	1 y 2		3	2 y 4	5	6	7	8
	Microfresado, barrido y riego con emulsión con capa de lechada bituminosa (3)	1 y 3	3		3 y 4	3 y 5	6	7	8
PREVENTIVO (O PERIÓDICO) (40-PCI-70)	Sellado de grietas con mástic bituminoso más riego con emulsión (4)	4	2 y 4	3 y 4		4 y 5	6	7	8
	Corte, barrido, riego y relleno con mezcla bituminosa (5)	1 y 4	5	3 y 5	4 y 5		6	7	8
	Fresado, barrido, riego con emulsión y reposición con mezcla bituminosa (6)	6	6	6	6	6		7	8
REHABILITACIÓN (10-PCI-40)	Fresado, barrido, riego con emulsión y reposición con mezcla bituminosa más otro riego y capa de recrecido (7)	7	7	7	7	7	7		8
RECONSTRUCCIÓN COMPLETA (0-PCI-10)	Saneamiento y reconstrucción total (con medios mecánicos) (8)	8	8	8	8	8	8	8	

FIGURA 22. 'TABLA JERARQUÍA DE LAS ACTUACIONES'.

Funcionamiento

A continuación, se detalla el funcionamiento del árbol de decisión que se muestra en la Figura 19:

1. En primer lugar, es necesario identificar la presencia de daños en la sección objeto de estudio.
2. Una vez se han localizado los daños, se debe diferenciar si existe solamente un daño o más de uno.
3. En caso de que exista solamente un daño, se sigue el proceso de tratamiento del daño en solitario mediante la Tabla daños-actuación.
4. Por un lado, se tiene que identificar el tipo de daño existente.
5. Mientras que, por otro lado, se debe identificar el tipo de actuación que se va a realizar según el valor del *PCI* en esa sección. Para ello, se han establecido unos rangos de valores del *PCI* a los que se les atribuye una serie de actuaciones.
6. Una vez se ha identificado el tipo de daños presente y el tipo de actuación según el *PCI* de la sección en la tabla de daños-actuación, se obtiene un identificador.
7. Por último, con este identificador y la Tabla leyenda de las actuaciones es posible determinar la actuación correspondiente en cada caso.
8. En caso de que exista más de un daño sobre la misma sección, se sigue el proceso de tratamiento de los daños en conjunto. En este caso, se debe determinar la actuación correspondiente siguiendo el mismo procedimiento que para el tratamiento del daño en solitario.
9. Por tanto, tras determinar qué actuación se va a llevar a cabo para cada uno de los daños existentes en la sección mediante su identificador, se debe consultar la Tabla de jerarquía de las actuaciones.
10. En esta tabla pueden darse dos situaciones. Por un lado, si los daños presentes se pueden tratar con una misma actuación, se debe priorizar los casos en que se necesitan actuaciones de mayor magnitud.
11. En caso contrario, si se necesita una actuación para cada daño, se debe identificar las actuaciones necesarias en cada caso por separado.
12. Por último, en ambos casos, se obtiene de la Tabla jerarquía de las actuaciones un identificador que permite determinar la actuación correspondiente en cada caso según la Tabla leyenda de las actuaciones.

3.3. APLICACIÓN PRÁCTICA

Una vez se ha completado el desarrollo del modelo de gestión del mantenimiento de pavimentos compuesto por el modelo de evaluación y predicción de la condición del pavimento y el árbol de decisión, se ha llevado a cabo la aplicación práctica en el barrio de En Corts de la ciudad de Valencia.

La toma de datos para la evaluación de los daños de la red viaria se ha realizado gracias a la empresa PAVASAL quienes han facilitado parte de la información histórica registrada en materia de mantenimiento y conservación de las carreteras urbanas de la ciudad de Valencia.

3.3.1 TOMA DE DATOS

De acuerdo con el modelo predictivo seleccionado, se han obtenido los datos relativos a la aplicación práctica. A pesar de que para la creación del modelo sí se tuvo en cuenta la inclusión de variables de tráfico, los resultados en todos los casos fueron desfavorables, por tanto, se descartaron estos datos en la aplicación real.

DATOS DE LOS DAÑOS

Los datos referentes a los daños existentes en las secciones objeto de estudio han sido facilitados por los miembros del grupo de investigación en el que se incluye este Trabajo de Fin de Grado.

La toma de los datos fue realizada el **domingo 15 de noviembre de 2020**. De modo que, la evaluación puede realizarse para los años completos a partir de enero de 2021, asumiendo que los daños tomados equivaldrán a los daños presentes en la vía a fecha de 31 de diciembre de 2020.

La elección de realizar la toma de datos el domingo se debe a la importante reducción de tráfico para este día de la semana en el centro de Valencia. Lo que permite realizar la toma de los datos de una manera mucho más eficiente.

PCI

Una vez se han obtenido los datos referentes a los daños presentes en las secciones objeto de estudio es posible determinar el *PCI* ponderando los diferentes daños presentes en la vía en función de sus severidades. Para este cálculo, se ha empleado el Método *PCI* (*Pavement Condition Index*) estandarizado por *ASTM International*.

DATOS METEOROLÓGICOS

Tras consultar diversas fuentes de información que contienen datos meteorológicos referentes a la ciudad de Valencia, se decidió trabajar con la página web de AVAMET (*Associació valenciana de meteorologia Josep Peinado*) <https://www.avamet.org/index.php>, debido a la posibilidad de obtener datos de una zona muy próxima al barrio En Corts.

En el apartado *meteoXarxa* de esta página web se pueden encontrar datos históricos tomados a partir de una serie de estaciones meteorológicas repartidas alrededor de toda la ciudad, en concreto:

TABLA 18. ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN LA CIUDAD DE VALENCIA (AVAMET).

Estacions meteorològiques en la ciutat de València
València Camins al Grau
València l'Olivereta
València Sant Isidre
València Altocúmulo
València l'Albufera/Tancat de la Pipa
València Vivers AEMET
València aeroport AEMET
València Micalet
València Peña-Roja
València l'Albufera/Racó de l'Olla (Centre d'informació)
València Col.legi Diocesà San Juan Bosco

Como se puede observar en la Figura 23, la estación meteorológica más cercana a la zona objeto de estudio es la Estación Meteorológica **València Peña-Roja**. Es una estación asociada a AVAMET, que desde su instalación en 2016 se ubica en un entorno urbano, en concreto en la calle *Passeig de l'Albereda*. Además, cuenta con un pluviómetro de mediciones fiables y contrastadas.



FIGURA 23. ESTACIÓN METEOROLÓGICA PENYA-ROJA ASOCIADA A AVAMET (WWW.AVAMET.ORG).

De acuerdo con el funcionamiento del modelo predictivo seleccionado, se han descargado solamente las variables climáticas correspondientes a las precipitaciones de lluvia y nieve acumuladas anualmente.

Como es obvio, no existen precipitaciones en forma de nieve en la ciudad de Valencia y, por tanto, no se consideran. En cuanto a las precipitaciones en forma de lluvia, se han considerado la misma cantidad para todas las secciones de vía del barrio En Corts.

INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

Toda la información cartográfica utilizada en la aplicación práctica se ha obtenido de la página web del Ayuntamiento de València, así como del geoportal web <https://geoportal.valencia.es/>.

Mediante este enlace ha sido posible descargar la cartografía deseada generando una carpeta zip que incluye un archivo .dwg con esta información. Estos archivos han sido verdaderamente útiles para la elaboración de los planos del barrio En Corts.

COSTES DE LAS ACTUACIONES DE MANTENIMIENTO

De la misma manera que para determinar las actuaciones de mantenimiento, los precios unitarios de cada una de las actuaciones de mantenimiento se han obtenido gracias a la ayuda de un grupo de expertos del sector de la Conservación y Explotación de las Carreteras (COEX) actualmente en activo y pertenecientes a la empresa PAVASAL, más concretamente a la Delegación de Oliva.

3.3.2 APLICACIÓN DEL MODELO

MODELO PREDICTIVO

Una vez se ha seleccionado el modelo predictivo y se han preparado los datos para la aplicación práctica, se puede empezar el proceso para obtener las predicciones.

Este proceso consiste en realizar una validación del modelo seleccionado con los datos referentes a las secciones del barrio de En Corts. Para ello, se utiliza la misma tabla maestra que en la elaboración de los modelos. Para realizar la predicción es importante tener en cuenta en qué período de tiempo se desea evaluar estos datos, es decir, si la predicción se va a realizar para el próximo año, en dos años, o según el caso.

En este caso, las predicciones se realizan para los cuatro siguientes años, debido a que es la duración equivalente a un periodo de gobierno. Teniendo en cuenta que la toma de datos de la muestra pertenece al año 2020, las predicciones serían para los años 2021, 2022, 2023 y 2024. De esta forma, es posible conocer la evolución en el deterioro del pavimento y determinar las actuaciones de mantenimiento correspondientes en cada caso.

MODELO DE TOMA DE DECISIONES

Las decisiones respecto a las actuaciones de mantenimiento que se deben llevar a cabo en las secciones objeto de estudio se han realizado siguiendo la metodología explicada en el Apartado 3.2.3. Sin embargo, para la aplicación práctica se ha decidido describir en detalle cada una de las actuaciones de mantenimiento consideradas en la guía con el fin de probar el modelo de gestión desarrollado en un caso real de conservación.

Además, se ha considerado el coste de ejecución material de las actuaciones de mantenimiento a lo largo del tiempo como criterio principal para la toma de decisiones.

Fisuras longitudinales		
Objetivo del mantenimiento	Conservar y/o adecuar la integridad de la estructura del pavimento; evitar la filtración de agua.	
Evaluación	Alternativa de reparación recomendada	Actuaciones
Nº	Descripción	
1	Sellado de juntas y fisuras en caliente con material bituminoso elástico incluso saneo previo mediante agua a presión o soplado energético y p.p. de árido de cobertura.	P041006
4	Sellado de juntas y fisuras en caliente con material bituminoso elástico incluso saneo previo mediante agua a presión o soplado energético y p.p. de árido de cobertura + emulsión tipo C60B ADH en riegos de adherencia, con índice de rotura entre 2 y 10 i/ el barrido y la preparación de la superficie, totalmente terminado.	P041006 + P040401
7	Fresado de pavimento bituminoso, o de hormigón, de espesor medio mayor de 3 cm. y menor o igual a 5 cm., en tajo mayor de 50 m ² , incluso carga y transporte del material fresado a lugar de acopio + barrido mecánico de superficie pavimentada, incluso carga y transporte de materiales a vertedero + emulsión tipo C60B ADH en riegos de adherencia, con índice de rotura entre 2 y 10 i/ el barrido y la preparación de la superficie, totalmente terminado + 2*(fabricación de mezcla bituminosa en caliente, semicaliente o templada tipo AC 16 surf S o AC 22 surf S con árido calizo, excepto ligante hidrocarbonado, incluso transporte a pie de obra).	P020210 + P041003 + P040401 + P04050107 *2
8	Demolición de firme o pavimento asfáltico incluso corte, desescombro, carga y transporte de material demolido a lugar de acopio + saneo de pavimento deteriorado, incluso corte de perímetro, arranque de pavimento, excavación, relleno con zahorra artificial y pavimentación con 10 cm de mezcla bituminosa en caliente de cualquier clase, para superficies menores a 50 m ² .	P020205 + P041106
Posible evolución	Incremento en la longitud de las fisuras, desde centímetros a varios metros; ramificación y multiplicación (fisuras múltiples) hasta dar lugar a agrietamiento tipo piel de cocodrilo. La evolución es más rápida en la medida que se posibilite el ingreso de agua a las capas inferiores (climas lluviosos, bases susceptibles a la pérdida de capacidad soporte por efecto de agua).	

TABLA 19. ACTUACIONES PARA LAS SECCIONES CON FISURAS LONGITUDINALES.

Fisuras transversales		
Objetivo del mantenimiento	Conservar y/o adecuar la integridad de la estructura del pavimento; evitar la filtración de agua.	
Evaluación	Alternativa de reparación recomendada	Actuaciones
Nº	Descripción	
1	Sellado de juntas y fisuras en caliente con material bituminoso elástico incluso saneo previo mediante agua a presión o soplado enérgico y p.p. de árido de cobertura.	P041006
4	Sellado de juntas y fisuras en caliente con material bituminoso elástico incluso saneo previo mediante agua a presión o soplado enérgico y p.p. de árido de cobertura + emulsión tipo C60B ADH en riegos de adherencia, con índice de rotura entre 2 y 10 i/ el barrido y la preparación de la superficie, totalmente terminado.	P041006 + P040401
7	Fresado de pavimento bituminoso, o de hormigón, de espesor medio mayor de 3 cm. y menor o igual a 5 cm., en tajo mayor de 50 m ² , incluso carga y transporte del material fresado a lugar de acopio + barrido mecánico de superficie pavimentada, incluso carga y transporte de materiales a vertedero + emulsión tipo C60B ADH en riegos de adherencia, con índice de rotura entre 2 y 10 i/ el barrido y la preparación de la superficie, totalmente terminado + 2*(fabricación de mezcla bituminosa en caliente, semicaliente o templada tipo AC 16 surf S o AC 22 surf S con árido calizo, excepto ligante hidrocarbonado, incluso transporte a pie de obra).	P020210 + P041003 + P040401 + P04050107 *2
8	Demolición de firme o pavimento asfáltico incluso corte, desescombro, carga y transporte de material demolido a lugar de acopio + saneo de pavimento deteriorado, incluso corte de perímetro, arranque de pavimento, excavación, relleno con zahorra artificial y pavimentación con 10 cm de mezcla bituminosa en caliente de cualquier clase, para superficies menores a 50 m ² .	P020205 + P041106
Posible evolución	El número de fisuras puede aumentar notablemente con el tiempo. El desportillamiento de los bordes favorece el desarrollo de agrietamientos en forma de cocodrilo alrededor de ellas.	

TABLA 20. ACTUACIONES PARA LAS SECCIONES CON FISURAS TRANSVERSALES.

Fisuras en forma de piel de cocodrilo		
Objetivo del mantenimiento	Conservar y/o adecuar la integridad de la estructura del pavimento; evitar la filtración de agua.	
Evaluación	Alternativa de reparación recomendada	Actuaciones
Nº	Descripción	
1	Sellado de juntas y fisuras en caliente con material bituminoso elástico incluso saneo previo mediante agua a presión o soplado enérgico y p.p. de árido de cobertura.	P041006
4	Sellado de juntas y fisuras en caliente con material bituminoso elástico incluso saneo previo mediante agua a presión o soplado enérgico y p.p. de árido de cobertura + emulsión tipo C60B ADH en riegos de adherencia, con índice de rotura entre 2 y 10 i/ el barrido y la preparación de la superficie, totalmente terminado.	P041006 + P040401
7	Fresado de pavimento bituminoso, o de hormigón, de espesor medio mayor de 3 cm. y menor o igual a 5 cm., en tajo mayor de 50 m ² , incluso carga y transporte del material fresado a lugar de acopio + barrido mecánico de superficie pavimentada, incluso carga y transporte de materiales a vertedero + emulsión tipo C60B ADH en riegos de adherencia, con índice de rotura entre 2 y 10 i/ el barrido y la preparación de la superficie, totalmente terminado + 2*(fabricación de mezcla bituminosa en caliente, semicaliente o templada tipo AC 16 surf S o AC 22 surf S con árido calizo, excepto ligante hidrocarbonado, incluso transporte a pie de obra).	P020210 + P041003 + P040401 + P04050107 *2
8	Demolición de firme o pavimento asfáltico incluso corte, desescombro, carga y transporte de material demolido a lugar de acopio + saneo de pavimento deteriorado, incluso corte de perímetro, arranque de pavimento, excavación, relleno con zahorra artificial y pavimentación con 10 cm de mezcla bituminosa en caliente de cualquier clase, para superficies menores a 50 m ² .	P020205 + P041106
Possible evolución	Extensión progresiva del fenómeno en la superficie del pavimento. En su evolución suelen ir acompañados de ahuellamiento y/o hundimientos; progresan más o menos rápidamente según las condiciones de tráfico, precipitación y drenaje, a las que están expuestas, hasta originar baches.	

TABLA 21. ACTUACIONES PARA LAS SECCIONES CON FISURAS EN FORMA DE PIEL DE COCODRILO.

Parches		
Objetivo del mantenimiento	Conservar y/o adecuar la integridad de la estructura del pavimento; evitar la filtración de agua.	
Evaluación	Alternativa de reparación recomendada	Actuaciones
Nº	Descripción	
3	Fresado de pavimento bituminoso, o de hormigón, para cualquier espesor, en tajo discontinuo menor de 50 m ² , incluso carga y transporte del material fresado a lugar de acopio + barrido mecánico de superficie pavimentada, incluso carga y transporte de materiales a vertedero + emulsión tipo C60BP ADH modificada con polímeros en riegos de adherencia, con índice de rotura entre 2 y 10, i/ el barrido y la preparación de la superficie, totalmente terminado + pavimento continuo tipo Slurry constituido por imprimación asfáltica (0,50 kg/m ²), una capa de slurry negro con dotación mínima de 2,5 kg/m ² aplicado con rastras de goma, totalmente terminado y nivelado.	P020208 + P041003 + P040402 + P041009
6	Fresado de pavimento bituminoso, o de hormigón, de espesor medio mayor de 3 cm. y menor o igual a 5 cm., en tajo mayor de 50 m ² , incluso carga y transporte del material fresado a lugar de acopio + barrido mecánico de superficie pavimentada, incluso carga y transporte de materiales a vertedero + emulsión tipo C60B ADH en riegos de adherencia, con índice de rotura entre 2 y 10 i/ el barrido y la preparación de la superficie, totalmente terminado + fabricación de mezcla bituminosa en caliente, semicaliente o templada tipo AC 16 surf S o AC 22 surf S con árido calizo, excepto ligante hidrocarbonado, incluso transporte a pie de obra.	P020210 + P041003 + P040401 + P04050107
7	Fresado de pavimento bituminoso, o de hormigón, de espesor medio mayor de 3 cm. y menor o igual a 5 cm., en tajo mayor de 50 m ² , incluso carga y transporte del material fresado a lugar de acopio + barrido mecánico de superficie pavimentada, incluso carga y transporte de materiales a vertedero + emulsión tipo C60B ADH en riegos de adherencia, con índice de rotura entre 2 y 10 i/ el barrido y la preparación de la superficie, totalmente terminado + 2*(fabricación de mezcla bituminosa en caliente, semicaliente o templada tipo AC 16 surf S o AC 22 surf S con árido calizo, excepto ligante hidrocarbonado, incluso transporte a pie de obra).	P020210 + P041003 + P040401 + P04050107 *2
8	Demolición de firme o pavimento asfáltico incluso corte, desescombro, carga y transporte de material demolido a lugar de acopio + saneo de pavimento deteriorado, incluso corte de perímetro, arranque de pavimento, excavación, relleno con zahorra artificial y pavimentación con 10 cm de mezcla bituminosa en caliente de cualquier clase, para superficies menores a 50 m ² .	P020205 + P041106
Posible evolución	Los daños evolucionan dentro del área del bacheo o reparación, incrementando su nivel de severidad, de acuerdo con el tipo de manifestación de que se trate; en última instancia pueden culminar en la rotura de pavimento antiguo, principalmente al permitir el ingreso de agua.	

TABLA 22. ACTUACIONES PARA LAS SECCIONES CON PARCHES.

Baches/huecos		
Objetivo del mantenimiento	Conservar y/o adecuar la integridad de la estructura del pavimento; evitar la filtración de agua.	
Evaluación	Alternativa de reparación recomendada	Actuaciones
Nº	Descripción	
2	Barrido mecánico de superficie pavimentada, incluso carga y transporte de materiales a vertedero + mezcla bituminosa abierta en frío tipo AF-12 con árido calizo, extendida y compactada en tajo discontinuo, suministro en envases, incluso ligante, activantes u otros aditivos y tratamiento de protección.	P041003 + P040801
5	Corte en pavimento de hasta 15 cm de profundidad, con máquina cortadora + barrido mecánico de superficie pavimentada, incluso carga y transporte de materiales a vertedero + emulsión tipo C60B ADH en riegos de adherencia, con índice de rotura entre 2 y 10 i/ el barrido y la preparación de la superficie, totalmente terminado + fabricación de mezcla bituminosa en caliente, semicaliente o templada tipo AC 16 surf S o AC 22 surf S con árido calizo, excepto ligante hidrocarbonado, incluso transporte a pie de obra.	P020206 + P041003 + P040401 + P04050107
7	Fresado de pavimento bituminoso, o de hormigón, de espesor medio mayor de 3 cm. y menor o igual a 5 cm., en tajo mayor de 50 m ² , incluso carga y transporte del material fresado a lugar de acopio + barrido mecánico de superficie pavimentada, incluso carga y transporte de materiales a vertedero + emulsión tipo C60B ADH en riegos de adherencia, con índice de rotura entre 2 y 10 i/ el barrido y la preparación de la superficie, totalmente terminado + 2*(fabricación de mezcla bituminosa en caliente, semicaliente o templada tipo AC 16 surf S o AC 22 surf S con árido calizo, excepto ligante hidrocarbonado, incluso transporte a pie de obra).	P020210 + P041003 + P040401 + P04050107 *2
8	Demolición de firme o pavimento asfáltico incluso corte, desescombro, carga y transporte de material demolido a lugar de acopio + saneo de pavimento deteriorado, incluso corte de perímetro, arranque de pavimento, excavación, relleno con zahorra artificial y pavimentación con 10 cm de mezcla bituminosa en caliente de cualquier clase, para superficies menores a 50 m ² .	P020205 + P041106
Possible evolución	Constituyen la manifestación última a la que se llega por evolución de otros daños como consecuencia de la falta de un tratamiento oportuno. A medida que progresa el deterioro del pavimento, los baches aumentan en profundidad, número y extensión; este proceso se acelera debido a la retención de agua en las cavidades abiertas y su infiltración a las capas inferiores.	

TABLA 23. ACTUACIONES PARA LAS SECCIONES CON BACHES O HUECOS.

Meteorización y desprendimiento		
Objetivo del mantenimiento	Conservar y/o adecuar la integridad de la estructura del pavimento; evitar la filtración de agua.	
Evaluación	Alternativa de reparación recomendada	Actuaciones
Nº	Descripción	
3	Fresado de pavimento bituminoso, o de hormigón, para cualquier espesor, en tajo discontinuo menor de 50 m ² , incluso carga y transporte del material fresado a lugar de acopio + barrido mecánico de superficie pavimentada, incluso carga y transporte de materiales a vertedero + emulsión tipo C60BP ADH modificada con polímeros en riegos de adherencia, con índice de rotura entre 2 y 10, i/ el barrido y la preparación de la superficie, totalmente terminado + pavimento continuo tipo Slurry constituido por imprimación asfáltica (0,50 kg/m ²), una capa de slurry negro con dotación mínima de 2,5 kg/m ² aplicado con rastras de goma, totalmente terminado y nivelado.	P020208 + P041003 + P040402 + P041009
6	Fresado de pavimento bituminoso, o de hormigón, de espesor medio mayor de 3 cm. y menor o igual a 5 cm., en tajo mayor de 50 m ² , incluso carga y transporte del material fresado a lugar de acopio + barrido mecánico de superficie pavimentada, incluso carga y transporte de materiales a vertedero + emulsión tipo C60B ADH en riegos de adherencia, con índice de rotura entre 2 y 10 i/ el barrido y la preparación de la superficie, totalmente terminado + fabricación de mezcla bituminosa en caliente, semicaliente o templada tipo AC 16 surf S o AC 22 surf S con árido calizo, excepto ligante hidrocarbonado, incluso transporte a pie de obra.	P020210 + P041003 + P040401 + P04050107
7	Fresado de pavimento bituminoso, o de hormigón, de espesor medio mayor de 3 cm. y menor o igual a 5 cm., en tajo mayor de 50 m ² , incluso carga y transporte del material fresado a lugar de acopio + barrido mecánico de superficie pavimentada, incluso carga y transporte de materiales a vertedero + emulsión tipo C60B ADH en riegos de adherencia, con índice de rotura entre 2 y 10 i/ el barrido y la preparación de la superficie, totalmente terminado + 2*(fabricación de mezcla bituminosa en caliente, semicaliente o templada tipo AC 16 surf S o AC 22 surf S con árido calizo, excepto ligante hidrocarbonado, incluso transporte a pie de obra).	P020210 + P041003 + P040401 + P04050107 *2
8	Demolición de firme o pavimento asfáltico incluso corte, desescombro, carga y transporte de material demolido a lugar de acopio + saneo de pavimento deteriorado, incluso corte de perímetro, arranque de pavimento, excavación, relleno con zahorra artificial y pavimentación con 10 cm de mezcla bituminosa en caliente de cualquier clase, para superficies menores a 50 m ² .	P020205 + P041106
Posible evolución	El proceso continúa con el tiempo, acelerándose a medida que aumenta la permeabilidad del revestimiento y oxidación del medio ligante. Esta evolución suele ir acompañada de peladuras y baches superficiales hasta llegar a la completa desintegración del revestimiento.	

TABLA 24. ACTUACIONES PARA LAS SECCIONES CON METEORIZACIÓN Y DESPRENDIMIENTO.

4. APLICACIÓN DEL MODELO DE GESTIÓN AL BARRIO EN CORTS (VALÈNCIA)

València es un municipio y una ciudad de España, capital de la provincia homónima y de la Comunidad Valenciana. Tiene una población de 789.744 habitantes (2021), que sube a 1.408.030 habitantes (2021) si se incluye su espacio urbano, siendo la tercera ciudad y área metropolitana más poblada de España. Se divide administrativamente en 19 distritos, que a su vez se subdividen en 88 barrios y pedanías.

En la siguiente figura se puede observar la ubicación de los 19 distritos en el municipio.

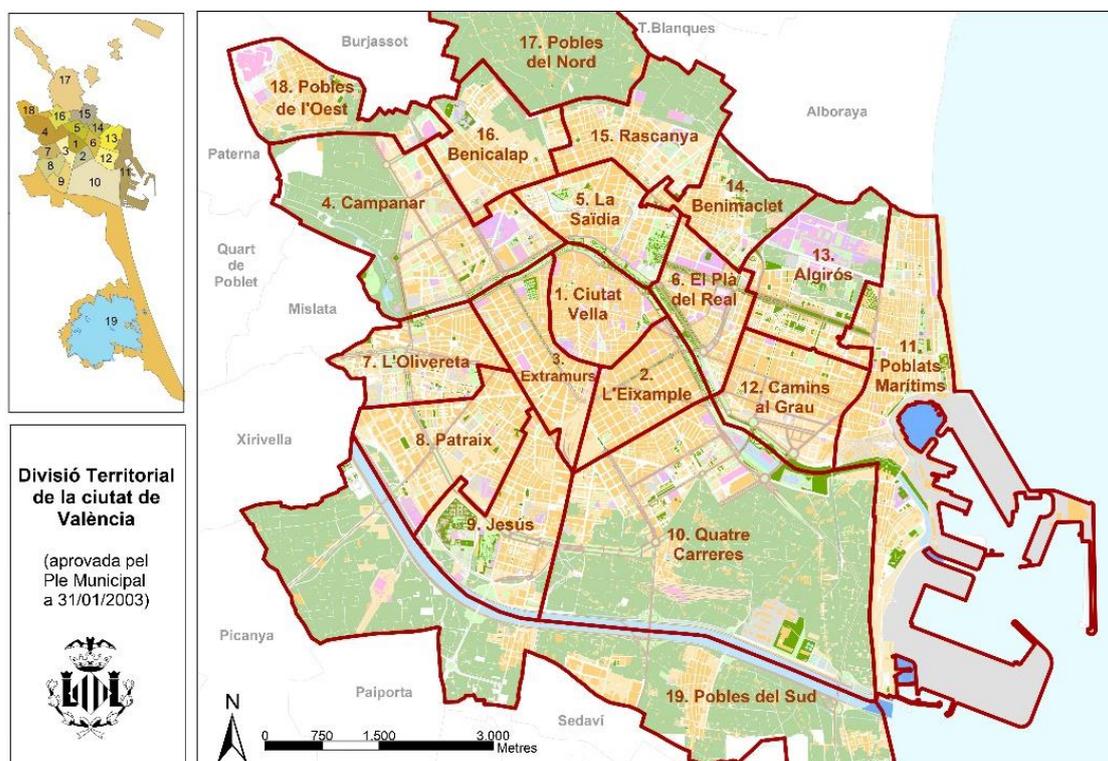


FIGURA 24. PLANO DE LOS DISTRITOS DE LA CIUDAD DE VALENCIA (AYUNTAMIENTO DE VALENCIA).

La gestión del mantenimiento de la red viaria urbana de la ciudad de Valencia desde el año 2009 y hasta la actualidad, viene definida de acuerdo con los términos y condiciones recogidos en el “Contrato de obras de reparación, renovación y mantenimiento de los pavimentos de las calles y caminos de la ciudad de València”. Actualmente, la empresa adjudicataria del contrato es PAVASAL S.A.

La aplicación práctica del modelo de gestión propuesto se centra en el barrio de *En Corts* del distrito *Quatre Carreres*.

Quatre Carreres es el distrito número 10 de la ciudad de València. Se ubica al sureste de la ciudad y tiene un superficie total de 1.132,6 hectáreas. Está compuesto por siete barrios que lo convierten como el distrito con mayor población de la ciudad, 74.308 habitantes (2021). Se caracteriza por estar dividido por la CV-500 de norte a sur y la V-30 de este a oeste, así como la vía del ferrocarril València-Barcelona.

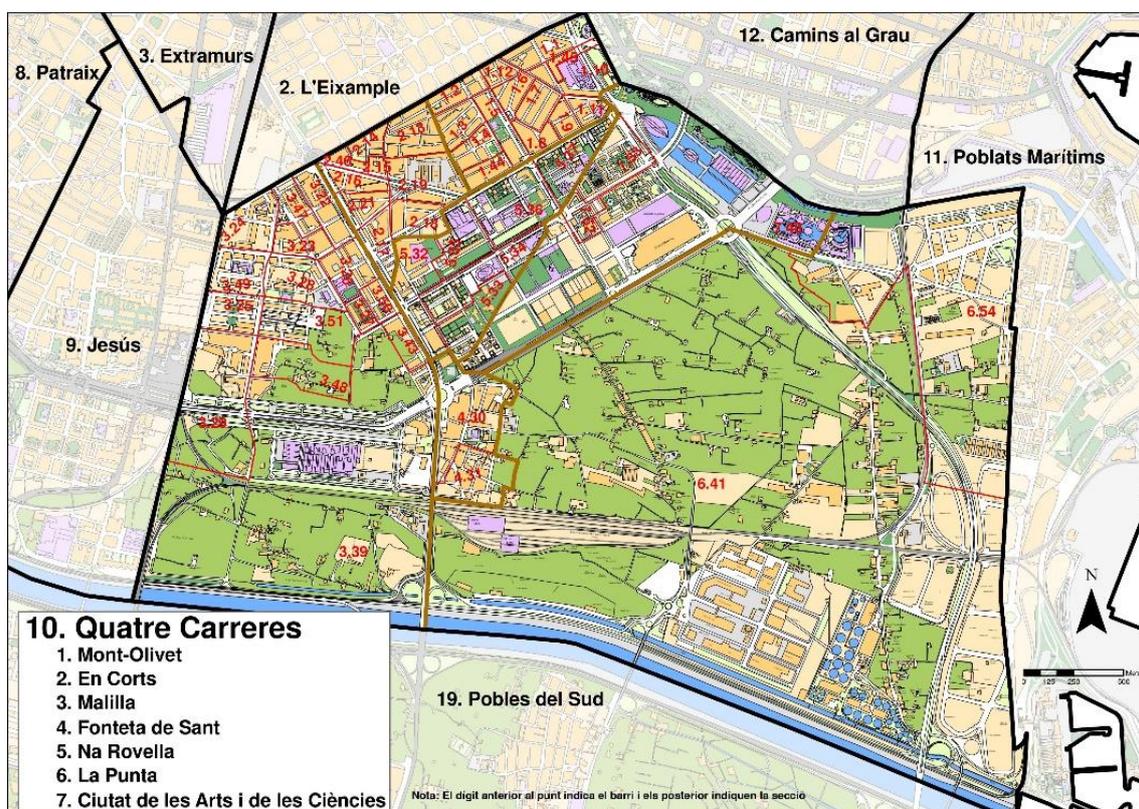


FIGURA 25. PLANO DEL DISTRITO QUATRE CARRERES (AYUNTAMIENTO DE VALENCIA).

El barrio de *En Corts* limita al norte con *Ruzafa*, al este con *Monteolivete*, al sur con *Na Rovella* y al oeste con *Malilla*. En concreto, linda al sudoeste con la *Avinguda Ausiàs March*, al norte con la *Avinguda Peris i Valero*, al noreste con la calle *Sapadors* y al sudeste con la *Avinguda de la Plata*. Asimismo, la *Avinguda Dr. Walskman* cruza el barrio diagonalmente dividiéndolo en dos áreas diferenciadas: una con un trazado viario más antiguo, caracterizado por vías unidireccionales de sección estrecha y, otra con secciones más anchas y vías residenciales de hasta dos direcciones.

Engloba en un área muy reducida vías arteriales como *Peris i Valero* y *Ausiàs March*, vías colectoras como *Dr. Walksman* y *Avinguda de la Plata*, vías residenciales como *Carrer dels Sapadors* o *Carrer de la Fonteta de Sant Lluís* y dos configuraciones de vías residenciales claramente diferenciadas.

Se trata de un barrio que finaliza su formación durante el desarrollo urbanístico iniciado en los años 60, amparado por el Plan General de Ordenación Urbana de 1966. Fue llevado a cabo de manera desordenada y marcada por una época que buscaba dar cabida al importante éxodo rural producido en los años 60. El tipo de edificación es generalmente de tipo cerrada, lo que se traduce en una densidad poblacional alta, donde cobra importancia el tráfico recurrente y no de paso. Por otra parte, se trata de un barrio con una actividad comercial a nivel de barrio y, en cuanto a los servicios, destaca notablemente la Comisaría Central de la Policía Nacional de València en el *Carrer de Sapadors*.

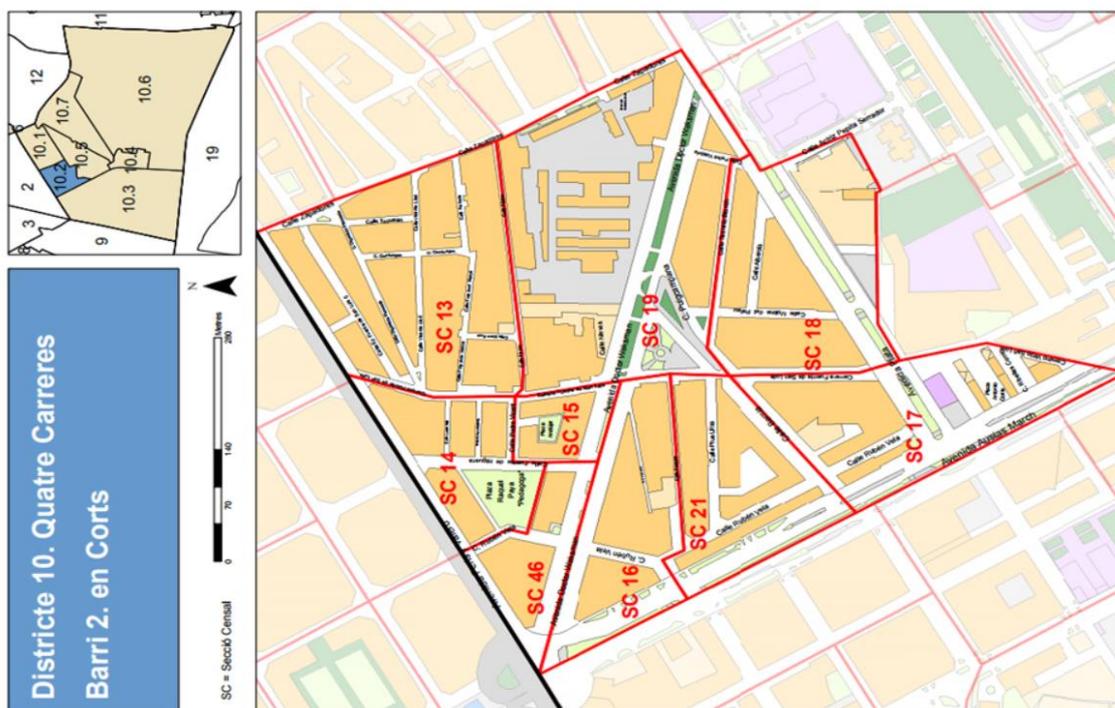


FIGURA 26. PLANO DEL BARRIO EN CORTS (AYUNTAMIENTO DE VALENCIA).

4.1. CASO DE ESTUDIO

En la muestra obtenida para la aplicación práctica se ha estudiado un total de 118 secciones de vía distribuidas dentro del barrio En Corts en 22 calles, 4 avenidas, una plaza y una intersección.

Por un lado, respecto a las características de la red, el ancho de estas secciones varía en 5 metros, 7 metros y 12 metros según el tipo de vía, y las longitudes oscilan entre los 12 y 252 metros. Así pues, el área de las secciones objeto de estudio fluctúa desde los 62 metros cuadrados la menor de ellas, y 3023 metros cuadrados la sección más grande.

En cuanto a la climatología, se ha considerado la misma precipitación acumulada en un año para todas las secciones presentes siendo de 468,8 (mm/año) en caso de la lluvia y 0 en forma de nieve.

Por otro lado, en referencia a la situación actual de la red, está marcada por los daños grietas longitudinales y transversales en sus tres severidades, grietas de cocodrilo y baches o huecos en severidades media y alta, y meteorización y desprendimiento y parches en severidad media. En el caso de las grietas longitudinales y transversales, ningún daño supera los 105 metros de longitud siendo la máxima de 104,4 metros en severidad baja. Acerca de los otros daños, destaca la meteorización y desprendimiento ocupando una superficie de hasta 303,6 metros cuadrados en una de las secciones. En cuanto a las grietas en forma de piel de cocodrilo y los parches, se pueden encontrar en menor magnitud aunque están presentes en muchas de las secciones, sobre todo en el caso de las grietas en forma de piel de cocodrilo. Los baches o huecos, en este caso, no son significativos.

En el Anexo II que se adjunta a continuación, se puede observar las características y situación actual de la red.

5. RESULTADOS

5.1. MODELO PREDICTIVO

En vista de lo que se ha explicado en el Apartado 3.2.2, se ha planteado un análisis de los resultados de los modelos predictivos desarrollados teniendo en cuenta todas las combinaciones posibles en base a las recomendaciones de la literatura con el fin de obtener un modelo predictivo sólido y competitivo (ver Anexo I).

Para ello, se han representado en la Figura 27 todos los modelos predictivos desarrollados según su coeficiente de determinación medio (avg_R2) y la desviación estándar del coeficiente de determinación (std_R2).

El avg_R2 compara el modelo desarrollado con un modelo básico que siempre devuelve como predicción la media de los valores objetivos de entrenamiento en base a la media de los errores al cuadrado de cada modelo. Cuanto más cercano a 1 sea el valor de esta métrica, mejor será nuestro modelo. Mientras que la std_R2 , se utiliza para cuantificar la variación o dispersión del conjunto de datos numéricos. Cuanto más baja sea indica que la mayor parte de los datos de la muestra tienden a estar agrupados cerca de su media, o lo contrario, una std_R2 alta indica que los datos se extienden sobre un rango de valores más amplio.

A partir de estos dos parámetros y la Figura 27, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Se descartan todos los modelos con resultados de la $R2$ negativos.
- Las variables de tráfico reducen desmesuradamente la muestra de modo que los resultados obtenidos carecen de fiabilidad.
- Aunque los modelos realizados para la zona climática que corresponde con la ciudad de València tiene generalmente buenos resultados, también reducen la muestra notablemente, por tanto, no son fiables. Por ejemplo, el modelo con mejor media de $R2$, señalado en color rojo, tiene un $R2$ mínimo de 0, lo cual significa que la muestra no es uniforme y puede haber algún tipo de error.
- La mejor combinación en cuanto a las funciones de activación consideradas en la capa intermedia y en la capa de salida de la red neuronal es: Linear – ReLU, respectivamente.

- El segundo modelo con mejor media de R2, señalado en verde, se ha seleccionado como la mejor combinación para la obtención del modelo. Posteriormente, se pretende desarrollar un modelo predictivo con las mismas características de modo que se obtenga una R2 mayor y, por tanto, aumente la fiabilidad del modelo.

Por estos motivos, como se expone en la Figura 27, únicamente dos de los modelos superan una avg_R2 mayor a 0,5 (ver tabla 25). Asimismo, solamente uno tiene una std_R2 menor a 0,1. En concreto, el avg_R2 del modelo con mejores prestaciones es 0,502, siendo el máximo 0,585 y el mínimo 0,433, y la std_R2 es 0,054. El modelo descartado tiene una std_R2 de 0,231 y una avg_R2 mínima de 0,00, lo que significa, que el modelo carece de fiabilidad.

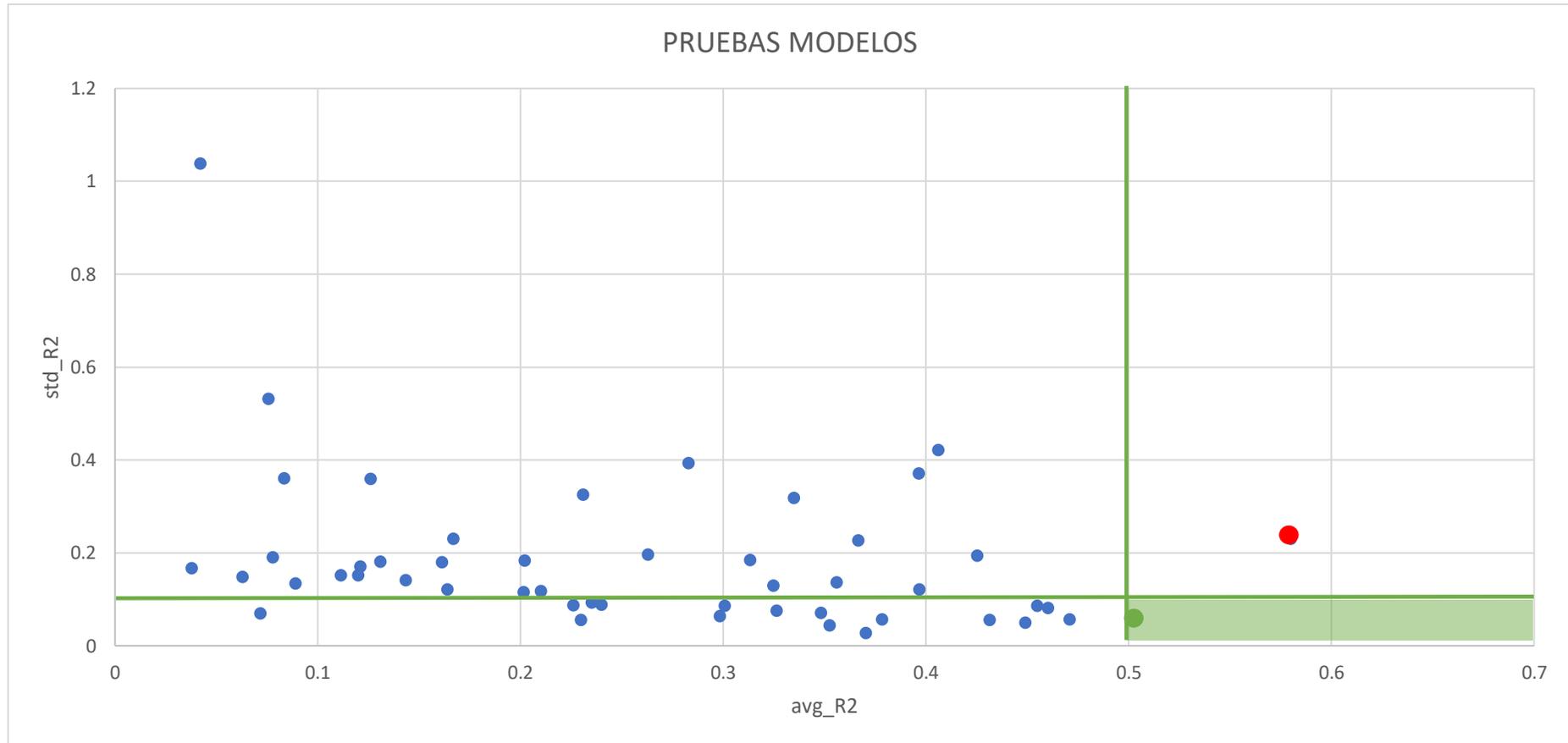


FIGURA 27. REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LOS MODELOS.

Input	Output	Model	act_IN	act_OUT	Zone	Rows	N_tests	avg_MAE	avg_MSE	avg_R2	std_R2	max_R2	min_R2
DIS_PCI_T	pci	ffnn	linear	relu	POCO LLUVIOSA - MEDIA	65	9	18,348	778,941	0,580	0,231	0,759	0,000
DIS_PCI_T_VWS	pci	ffnn	linear	relu	ALL	581	9	13,684	327,273	0,502	0,054	0,585	0,433

TABLA 25. RESULTADOS DE LOS DOS MEJORES MODELOS.

MODELO SELECCIONADO

De acuerdo con las conclusiones que se han podido obtener de las pruebas realizadas, se ha planteado el desarrollo de un modelo predictivo con las siguientes características:

- Input: daños (DISTRESS), índice de condición del pavimento (PCI), tiempo (T) y variables climáticas (VWS).
- Output: índice de condición del pavimento (PCI).
- Model: feedforward neural network (FFNN).
- Funciones de activación: una capa interna con una función de activación Linear y una capa de salida con una función de activación ReLU.
- Zonas climáticas: todas (ALL)
- Filas o entradas: 581.

El desarrollo del modelo se ha llevado a cabo mediante 9 pruebas en las que el modelo ha sido entrenado en cada una de ellas con un 70% aleatorio de los datos de entrada (581) y validado con el 30% restante. De este modo, se han podido obtener 9 modelos con los siguientes resultados:

- Error Absoluto Medio (avg_MAE): 13,706.
- Error Cuadrático Medio (avg_MSE): 333, 532.
- Coeficiente De Determinación Medio (avg_R2): 0,489.
- Desviación Estándar del Coeficiente de Determinación (std_R2): 0,066.
- Coeficiente De Determinación Máximo (max_R2): 0,591.
- Coeficiente De Determinación Mínimo (min_R2): 0,374.

Para realizar las predicciones de la aplicación práctica se ha seleccionado el modelo con mayor R2 de las 9 pruebas, es decir, $R2 = 0,591$. Los resultados de estas predicciones son:

En primer lugar, como muestra la Figura 28, el modelo seleccionado ha entrenado y validado un conjunto de datos equivalente a unas secciones en buen estado, ya que un 80% de las secciones tienen un PCI mayor a 70.

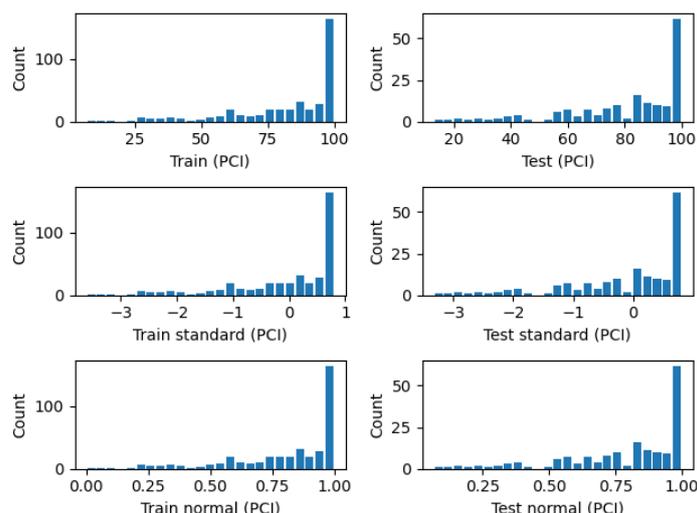


FIGURA 28. DATOS DE LAS PREDICCIONES (RED NEURONAL PROPIA).

En la Figura 29 se muestran las gráficas referentes al Error Absoluto Medio (MAE) y el Error Cuadrático Medio (MSE) de las predicciones realizadas por el modelo seleccionado.

Por un lado, el MAE se refiere a la magnitud de la diferencia entre la predicción de la observación y el valor real de esa observación, o lo que es lo mismo, mide lo cerca que están las predicciones de los resultados. Para ello, toma en consideración la media de los errores absolutos del grupo de predicciones y observaciones como medida de la magnitud de los errores de todo el grupo.

Por otro lado, el MSE mide la media de los cuadrados de los errores, es decir, la diferencia entre el estimador y el estimado. Esta diferencia se debe a la aleatoriedad de los datos. Siempre es positivo, y los valores más cercanos a cero siempre son mejores. En este caso, el modelo seleccionado se ha entrenado y validado con prácticamente el mismo valor de MAE y MSE.

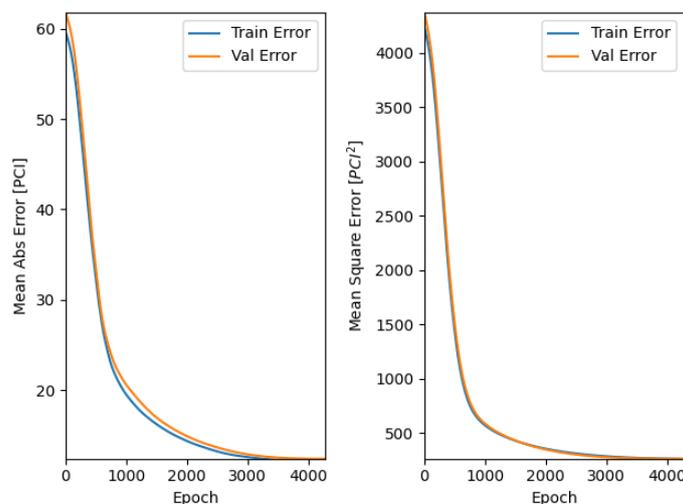


FIGURA 29. ERROR ABSOLUTO MEDIO Y ERROR CUADRÁTICO MEDIO (RED NEURONAL PROPIA).

Por último, la Figura 30 refleja la desviación de las predicciones realizadas por el modelo seleccionado respecto a los valores reales. La línea de color azul representa los valores reales de PCI futuros, mientras que los puntos rojos son los valores de PCI predichos. Como se puede observar en ambas gráficas, la desviación media es aproximadamente de 15 puntos de PCI.

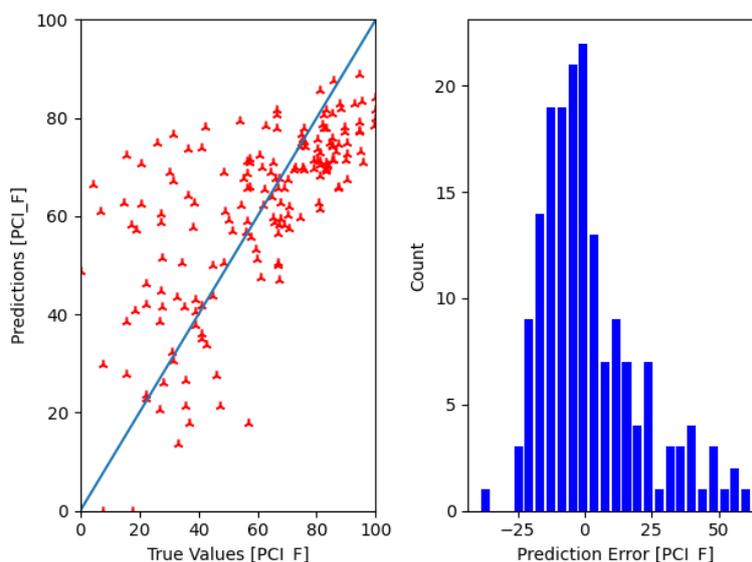


FIGURA 30. ERRORES DE LAS PREDICCIONES (RED NEURONAL PROPIA).

COMPORTAMIENTO DEL MODELO SELECCIONADO FRENTE A LOS DIFERENTES TIPOS DE DAÑOS

El modelo predictivo desarrollado destaca por su eficacia en el cálculo de las predicciones para secciones con diferentes tipos de daños. Es capaz de distinguir los diferentes tipos de daños presentes en la sección adaptando las predicciones según la influencia de cada tipo de daño en el cálculo del *PCI*. El área de las secciones es otra variable determinante en el cálculo del *PCI* y, por tanto, de las predicciones.

No obstante, teniendo en cuenta que el coeficiente de determinación (R^2) del modelo predictivo seleccionado es de 0,591, sería razonable encontrar alguna sección con indicios de imprecisión respecto a las predicciones obtenidas.

La Tabla 26 muestra a modo de ejemplo la variación del *PCI* según los diferentes tipos de daños en cinco secciones aleatorias del barrio En Corts:

- Sección **14356**. La predicción del *PCI* para el siguiente primer año es de 74,7 reduciéndose 15,6 puntos respecto al *PCI* actual de la sección. En este caso, los daños presentes en la sección son **grietas longitudinales y transversales y baches**. Considerando que el área de la sección es 423 m² y que se pueden encontrar en total hasta 18,7 m de grietas longitudinales y transversales, es coherente que el *PCI* disminuya alrededor de 15 puntos en un año. Además, la presencia de baches también influye significativamente en la reducción del *PCI*, aunque en este caso es mínima.
- Sección **14384**. Si se observan el resto de las secciones es evidente que, en este caso, puede haber una imprecisión en el cálculo de la predicción para el primer año. Puesto que solamente con 4,4 m lineales de grietas **longitudinales y transversales** en severidad baja, y un *PCI* actual de 99,81, es decir, una sección casi en perfecto estado, es desconcertante que el *PCI* sufra una reducción de 17,6 puntos. No obstante, el origen del problema puede estar en el área de la sección, ya que es bastante más grande que en los otros casos. Es probable que esta imprecisión se de a causa del entrenamiento del modelo predictivo seleccionado.
- Sección **14394**. En esta sección el *PCI* sufre una reducción de 12,8 puntos respecto a la situación actual. Teniendo en cuenta que solamente contiene daños de grietas **longitudinales, transversales** y en forma de **piel de cocodrilo** en cantidades pequeñas, y se trata de una sección con un área pequeña, la reducción del *PCI* encaja proporcionalmente con el resto de las secciones.
- Sección **14395**. Esta sección muestra la influencia de los daños de tipo **meteorización y desprendimiento y parches** en las predicciones del *PCI*. El *PCI* se reduce en 16,2 puntos respecto a la situación actual.
- Sección **14775**. De la misma manera que en la sección anterior, los daños de tipo **meteorización y desprendimiento y parches** reflejan ser más influyentes en las predicciones del *PCI*. No obstante, la elevada cantidad de daños en este caso, junto al *PCI* actual y el área de la sección provocan un descenso del *PCI* de 37,7 puntos marcando la diferencia respecto a la sección anterior.

ID sección	Área (m ²)	Agrietamiento		Deformaciones		Otros Parches (m ²)	PCI actual	PCI año 1
		Grietas longitudinales y transversales (m)	Grietas en forma de piel de cocodrilo (m ²)	Huecos (m ²)	Meteorización y desprendimiento (m ²)			
14356	423	18,7	-	0,1	-	-	90,3	74,7
14384	2370	4,4	-	-	-	-	99,81	82,2
14394	356	5,9	-	-	-	-	87,99	75,2
14395	855	10,9	0,9	-	7,2	4,1	86,4	70,2
14775	347	37,7	1,4	-	30,4	24,6	65,24	27,5

TABLA 26. EJEMPLO DE LA VARIACIÓN DEL *PCI* SEGÚN LOS DIFERENTES TIPOS DE DAÑOS.

5.2. APLICACIÓN PRÁCTICA

Una vez se ha seleccionado el modelo predictivo y se han preparado los datos para la aplicación práctica, se pueden calcular las predicciones correspondientes.

PREDICCIONES DEL PCI

Para mostrar la evolución del *PCI* a lo largo del tiempo, se ha generado la Figura 32 donde se representan todas las secciones del barrio En Corts estudiadas y se compara el *PCI* actual con la predicción a cuatro años vista.

Como se puede observar en esta gráfica y cabe esperar, la tendencia del *PCI* en el tiempo es totalmente descendente. En concreto, el *PCI* se reduce en una media de 18,5 puntos durante un periodo de tiempo de un año.

Puesto que aproximadamente el 80% de las secciones tiene un *PCI* mayor a 70 puntos, las predicciones para el año siguiente siguen mostrando cierta calidad en el pavimento de las secciones a lo largo de la red vial objeto de estudio.

En cambio, las predicciones para los tres años siguientes muestran cierta estabilización del *PCI* a lo largo de los años reduciéndose aproximadamente 11,5 puntos cada uno.

En el Anexo II, se exponen los resultados de las predicciones realizadas para los cuatro próximos años. Estos resultados muestran la eficacia del modelo desarrollado para ajustar el *PCI* en función de los diferentes tipos de daños presentes en el pavimento.

Evolución del PCI en el tiempo

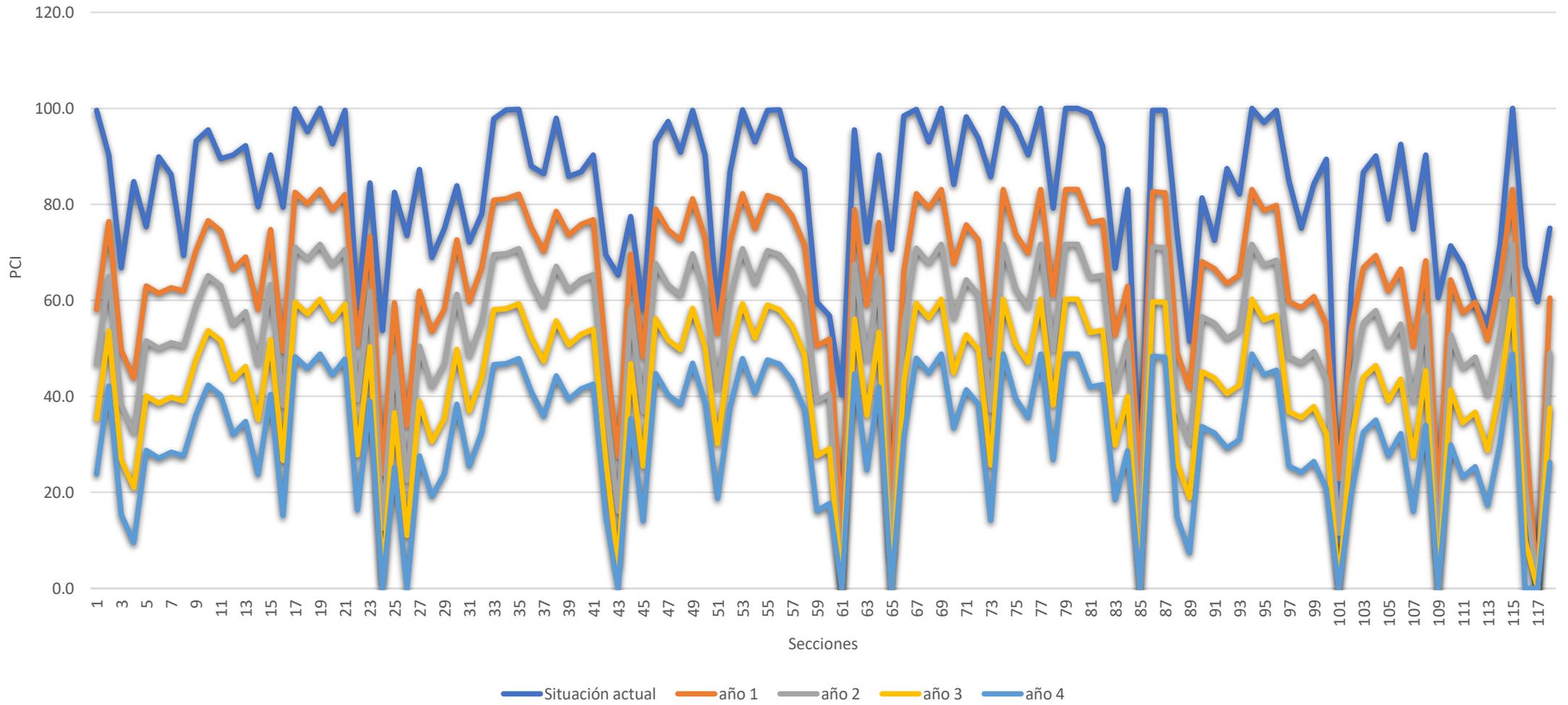


FIGURA 31. REPRESENTACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DEL PCI EN EL TIEMPO.

ACTUACIONES DE MANTENIMIENTO

Para la elección de las actuaciones de mantenimiento se ha seguido la metodología explicada en el Apartado 3.2.3, más concretamente, en la “Guía principal para la elección de las actuaciones” representada en la Figura 19. Además, las Tablas 19, 20, 21, 22, 23 y 24 permiten relacionar mediante una lista numérica las actuaciones de mantenimiento consideradas para llevar a cabo en el caso de estudio según los tipos de daños.

A su vez, es importante tener en cuenta que las actuaciones de mantenimiento propuestas se llevan a cabo con el objetivo de incrementar la vida útil de las secciones hasta en un periodo de 12 años dependiendo del tipo de actuación.

Las actuaciones de mantenimiento se pospondrán en el tiempo siempre y cuando esto no suponga llevar a cabo una actuación de mayor envergadura.

A continuación, se muestran a modo de ejemplo las diferentes posibilidades de actuaciones de mantenimiento evaluadas para cinco secciones aleatorias del barrio En Corts (ver Tabla 27):

- Sección **14356**. Debido a la presencia de dos tipos diferentes de daños (**agrietamiento** y **desprendimiento**), se ha determinado la posibilidad de tratar **puntualmente** ($70 < PCI < 100$) cada uno de los daños mediante un sellado de grietas con mástic bituminoso (**1**) y un microfresado, barrido y riego con emulsión más capa de lechada bituminosa (**3**). Sin embargo, para los siguientes dos, tres y cuatro años, la reducción del *PCI* podría favorecer económicamente la posibilidad de llevar a cabo una **reposición** ($40 < PCI < 70$) mediante un sellado de grietas con mástic bituminoso más riego con emulsión (**4**) y un corte, barrido, riego y relleno con mezcla bituminosa (**5**), ya que, una actuación de mayor envergadura sobre cada uno de los daños garantiza un incremento de la vida útil de la sección.
- Secciones **14384** y **14394**. En estas secciones solamente se ha detectado un tipo de daño (**agrietamiento**). Además, la reducción del *PCI* entre el primer y el cuarto año no es lo suficientemente grande como para actuar sobre la totalidad de la sección siendo económicamente las opciones más favorables para la sección **14384**, tratar el daño **puntualmente** ($70 < PCI < 100$) a partir de una actuación de tipo (**1**) el segundo año o realizar una **reposición** ($40 < PCI < 70$) de tipo (**4**) en el cuarto año de evaluación.

No obstante, la ligera reducción del *PCI* en la sección **14394** requiere actuar el primer año de evaluación.

- Sección **14395**. Las decisiones respecto a la elección de la actuación de mantenimiento en esta sección siguen la misma metodología empleada que en los casos anteriores. Sin embargo, los daños presentes en esta sección son diferentes. Por este motivo, se podría tratar **puntualmente** ($70 < PCI < 100$) cada uno de los daños mediante una actuación de tipo **(1)** y **(3)** el primer año o actuar sobre la totalidad de la sección en el tercer o cuarto año. Para el tercer año sería recomendable una **reposición** ($40 < PCI < 70$) de tipo **(6)** fresado, barrido, riego con emulsión y reposición con mezcla bituminosa, mientras que para el cuarto año un **recrecido** ($10 < PCI < 40$) de tipo **(7)** fresado, barrido, riego con emulsión y reposición con mezcla bituminosa más otro riego y capa de recrecido.
- Sección **14775**. Debido al mal estado actual de la sección, las únicas dos opciones de mantenimiento posibles son: un **recrecido** ($10 < PCI < 40$) de tipo **(7)** en el segundo año o una **demolición y reconstrucción completa** ($0 < PCI < 10$) **(8)** en el cuarto año.

	año 1	año 2	año 3	año 4
ID sección	PCI	PCI	PCI	PCI
14356	74,7	63,3	51,9	40,4
14384	82,2	70,7	59,3	47,9
14394	75,2	63,8	52,4	41,0
14395	70,2	58,7	47,3	35,9
14775	27,5	16,1	4,7	0,0
ID sección	Actuación	Actuación	Actuación	Actuación
14356	1 y 3	4 y 5	4 y 5	4 y 5
14384	1	1	4	4
14394	1	4	4	4
14395	1 y 3	6	6	7
14775	7	7	8	8
ID sección	Coste (€)	Coste (€)	Coste (€)	Coste (€)
14356	2054,82	2121,76	2121,76	2121,76
14384	2012,58	2012,58	2391,89	2391,89
14394	2016,87	2073,85	2073,85	2073,85
14395	2200,89	6439,54	6439,54	8608,90
14775	4385,13	4385,13	21083,64	21083,64

TABLA 27. EJEMPLO DE LA ELECCIÓN DEL TIPO DE ACTUACIÓN EN LAS SECCIONES.

Partiendo de las diferentes posibilidades de mantenimiento para cada una de las secciones se han realizado dos propuestas de mantenimiento considerando el coste de ejecución material de las actuaciones a lo largo del tiempo como criterio de elección principal.

PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 1

Con la propuesta de mantenimiento 1 se pretende crear un sistema de gestión preventivo orientado a implementar reparaciones de menor envergadura reduciendo al máximo los costes de ejecución material de las actuaciones.

Para ello, se recomienda considerar como la mejor opción de mantenimiento la actuación menos costosa y más temprana posible en cada caso.

Siguiendo el ejemplo anterior, en la Tabla 28 se muestran las actuaciones seleccionadas para cinco secciones aleatorias del barrio En Corts en base a la propuesta de mantenimiento 1:

- **Todas** las secciones. En este caso, se ha optado por llevar a cabo la actuación menos costosa y más temprana posible. No obstante, se debe tener en cuenta que las actuaciones de mantenimiento se pospondrán en el tiempo siempre y cuando esto no suponga llevar a cabo una actuación de mayor envergadura.

	año 1	año 2	año 3	año 4
ID sección	Actuación	Actuación	Actuación	Actuación
14356	1 y 3	-	-	-
14384	-	1	-	-
14394	1	-	-	-
14395	1 y 3	-	-	-
14775	-	7	-	-
ID sección	Coste (€)	Coste (€)	Coste (€)	Coste (€)
14356	2054,82	0,00	0,00	0,00
14384	0,00	2012,58	0,00	0,00
14394	2016,87	0,00	0,00	0,00
14395	2200,89	0,00	0,00	0,00
14775	0,00	4385,13	0,00	0,00

TABLA 28. EJEMPLO PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 1.

En el Anexo II, se detallan las actuaciones de mantenimiento que se deberán realizar en las secciones objeto de estudio según la propuesta de mantenimiento 1.

PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 2

Con la propuesta de mantenimiento 2 se pretende crear un sistema de gestión proactivo que, con la ayuda de las predicciones, permita mejorar la calidad de la red incrementando la vida útil de las secciones respecto de la propuesta de mantenimiento 1.

Para ello, se recomienda considerar como la mejor opción de mantenimiento la actuación más temprana posible en cada caso. No obstante, en los casos en los que es posible llevar a cabo una actuación de mayor envergadura sin que requiera un sobrecoste mayor al 20% se optará por la actuación más tardía, con ello se consigue que la vida útil al final del periodo de análisis sea mayor.

Siguiendo el ejemplo anterior, en la Tabla 29 se muestran las actuaciones seleccionadas para cinco secciones aleatorias del barrio En Corts en base a la propuesta de mantenimiento 2:

- Secciones **14356**, **14384** y **1439**. En este caso, se ha optado por llevar a cabo las actuaciones de tipo **(4 y 5)**, **(4)** y **(4)** respectivamente, durante el cuarto año evaluado, dado que no suponen un coste mayor al 20% respecto a la propuesta de mantenimiento 1.
- Sección **14395** y **14775**. En cambio, en este caso, se propone el mismo mantenimiento que en el caso anterior, ya que realizar una actuación de mayor envergadura supondría un sobrecoste mayor al 20%.

	año 1	año 2	año 3	año 4
ID sección	Actuación	Actuación	Actuación	Actuación
14356	-	-	-	4 y 5
14384	-	-	-	4
14394	-	-	-	4
14395	1 y 3	-	-	-
14775	-	7	-	-
ID sección	Coste (€)	Coste (€)	Coste (€)	Coste (€)
14356	0,00	0,00	0,00	2121,76
14384	0,00	0,00	0,00	2391,89
14394	0,00	0,00	0,00	2073,85
14395	2200,89	0,00	0,00	0,00
14775	0,00	4385,13	0,00	0,00

TABLA 29. EJEMPLO PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 2.

En el Anexo II, se detallan las actuaciones de mantenimiento que se deberán realizar en las secciones objeto de estudio según la propuesta de mantenimiento 2.

PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 3

Por último, con la propuesta de mantenimiento 3 se pretende llevar a cabo un mantenimiento de los pavimentos urbanos de carácter reactivo tradicional con el fin de obtener una red vial en perfecto estado. Sin embargo, este tipo de mantenimiento conduce a una rehabilitación más severa y costosa.

Para ello, se recomienda considerar como la mejor opción de mantenimiento la actuación más costosa y tardía posible en cada caso.

Siguiendo el ejemplo anterior, en la Tabla 30 se muestran las actuaciones seleccionadas para cinco secciones aleatorias del barrio En Corts en base a la propuesta de mantenimiento 3:

- **Todas** las secciones. En este caso, se ha optado por llevar a cabo la actuación más costosa y tardía posible, lo que favorece la construcción de una red urbana mucho más sólida y duradera respecto a las anteriores propuestas. No obstante, teniendo en cuenta que no todas las secciones se deterioran uniformemente, este tipo de mantenimiento supone un sobrecoste importante a largo plazo.

	año 1	año 2	año 3	año 4
ID sección	Actuación	Actuación	Actuación	Actuación
14356	-	-	-	4 y 5
14384	-	-	-	4
14394	-	-	-	4
14395	-	-	-	7
14775	-	-	-	8
ID sección	Coste (€)	Coste (€)	Coste (€)	Coste (€)
14356	0,00	0,00	0,00	2121,76
14384	0,00	0,00	0,00	2391,89
14394	0,00	0,00	0,00	2073,85
14395	0,00	0,00	0,00	8608,89
14775	0,00	0,00	0,00	21083,64

TABLA 30. EJEMPLO PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 3.

COSTE DE LAS ACTUACIONES DE MANTENIMIENTO

El coste de ejecución material de las actuaciones depende directamente del tipo de actuación y de los recursos empleados en cada caso. Asimismo, las actuaciones se realizan con el fin de incrementar la vida útil de las secciones en un periodo largo de tiempo.

Por estos motivos y teniendo en cuenta que en este caso se ha considerado un período de análisis de cuatro años, se han determinado unos costes totales para cada tipo de actuación proporcionales al periodo de evaluación.

COSTE DE LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 1

Bajo la propuesta de mantenimiento 1 y durante un periodo de análisis de cuatro años, de las 118 secciones del barrio En Corts de la ciudad de Valencia, el 45% necesitarán una actuación puntual, el 46% una reposición, el 7% un recocado y el 2% una demolición y reconstrucción completa.

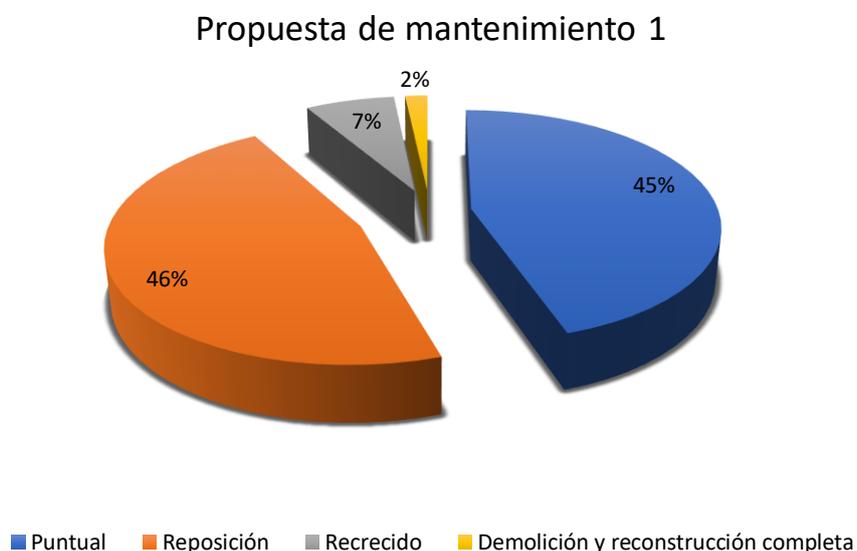


FIGURA 32. TIPOS DE ACTUACIONES EN LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 1.

En la Figura 33 se exponen los costes de ejecución material asociados a la propuesta de mantenimiento 1 para los cuatro años de evaluación.

Coste propuesta de mantenimiento 1

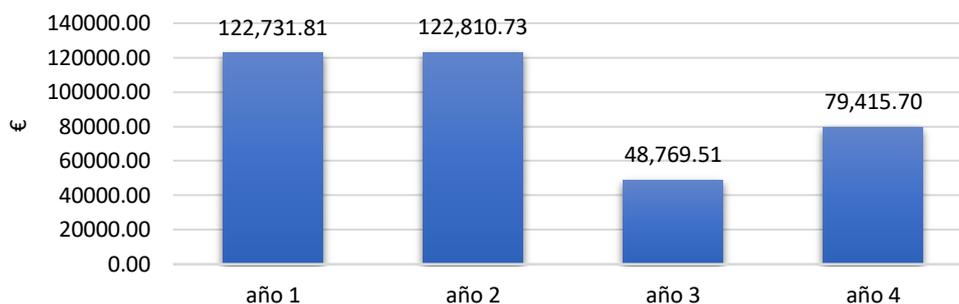


FIGURA 33. COSTE PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 1.

Como se puede observar en la Figura 33, el 65% de los costes totales de mantenimiento requeridos para el caso de estudio durante los cuatro años de evaluación se reparten a partes iguales en el primer y segundo año. Esto refleja la intención de llevar a cabo un mantenimiento preventivo de bajo coste. El 35% de los costes totales de mantenimiento restante se reparte de manera que un 13% corresponde al tercer año y un 22% al cuarto año.

El coste total de la propuesta de mantenimiento 1 para los cuatro años evaluados en el barrio En Corts de la ciudad de Valencia es de 373.727,74€.

COSTE DE LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 2

Bajo la propuesta de mantenimiento 2 y durante un periodo de análisis de cuatro años, de las 118 secciones del barrio En Corts de la ciudad de Valencia, el 3% necesitarán una actuación puntual, el 79% una reposición, el 16% un recrecido y el 2% una demolición y reconstrucción completa.

Propuesta de mantenimiento 2

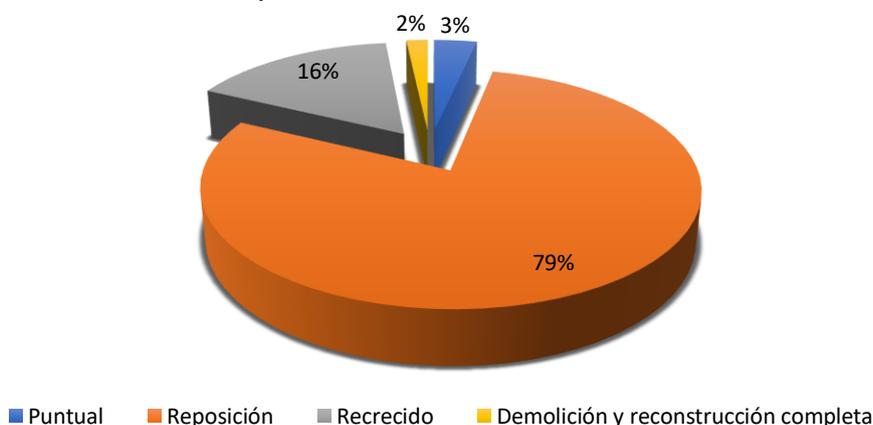


FIGURA 34. TIPOS DE ACTUACIONES EN LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 2.

En la Figura 35 se exponen los costes de ejecución material asociados a la propuesta de mantenimiento 2 para los cuatro años de evaluación.

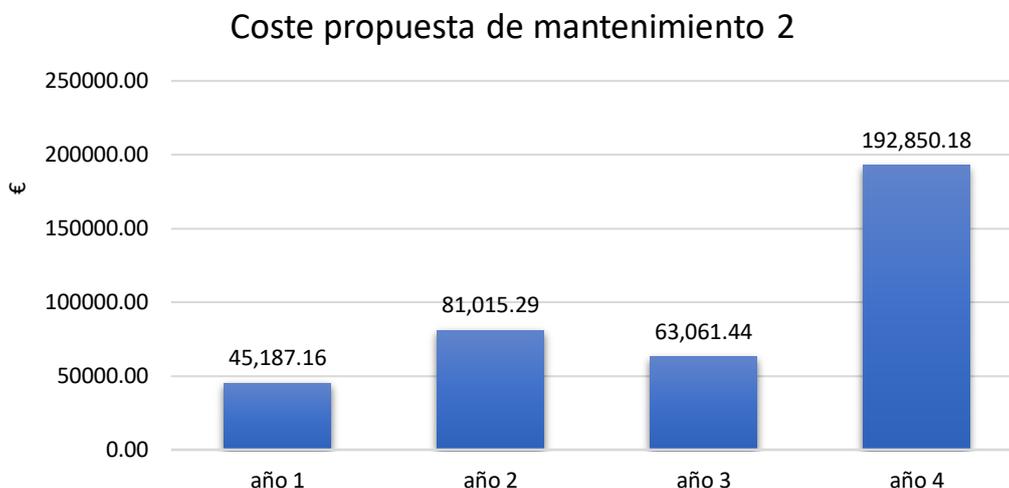


FIGURA 35. COSTES PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 2.

Como se puede observar en la Figura 35, el 50% de los costes totales de mantenimiento requeridos para el caso de estudio durante los cuatro años de evaluación se corresponden con el cuarto año. El 50% de los costes totales de mantenimiento restantes se reparten de manera que un 12% corresponde al primer año, un 21% al segundo año y un 17% al tercer año. La evolución del coste de mantenimiento de esta propuesta explica el balance entre la intención de llevar a cabo un mantenimiento predictivo y la necesidad de actuación debido al proceso natural de deterioro de las secciones.

El coste total de la propuesta de mantenimiento 2 para los cuatro años evaluados en el barrio En Corts de la ciudad de Valencia es de 382.114,08€.

COSTE DE LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 3

Bajo la propuesta de mantenimiento 3 y durante un periodo de análisis de cuatro años, de las 118 secciones del barrio En Corts de la ciudad de Valencia, el 36% necesitarán una actuación de reposición, el 54% un recocado y el 10% una demolición y reconstrucción completa.

Propuesta de mantenimiento 3

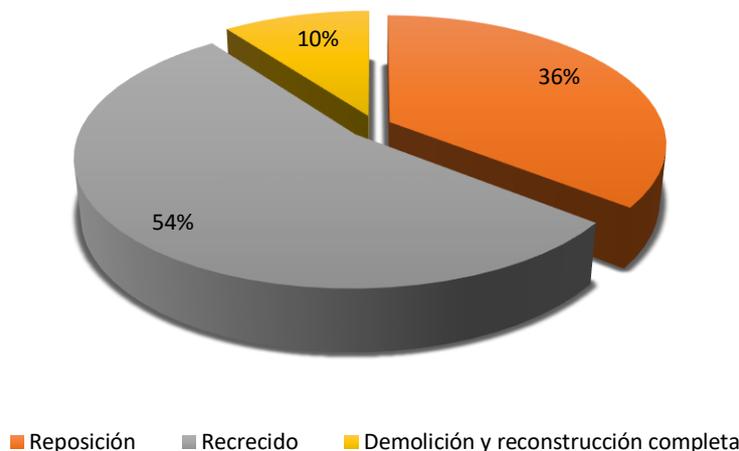


FIGURA 36. TIPOS DE ACTUACIONES EN LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 3.

En la Figura 37 se exponen los costes de ejecución material asociados a la propuesta de mantenimiento 3 para los cuatro años de evaluación.

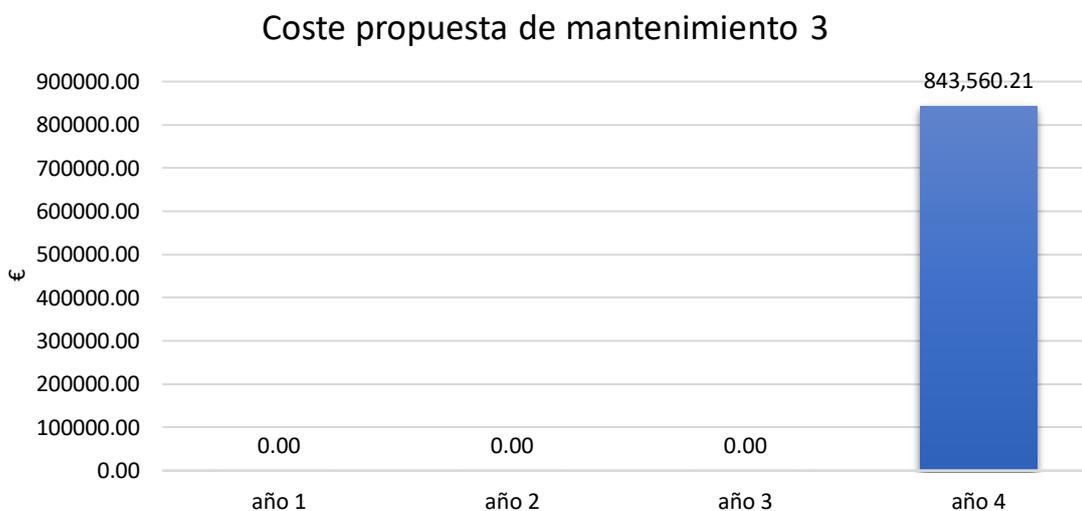


FIGURA 37. COSTES PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 3.

Como se puede observar en la Figura 37, el 100% de los costes totales de mantenimiento requeridos para el caso de estudio durante los cuatro años de evaluación se corresponden con el cuarto año. Esto refleja la intención de llevar a cabo un mantenimiento de carácter reactivo con el fin de obtener una red vial en perfecto estado asumiendo un riesgo elevado de inversión en el cuarto año de evaluación.

El coste total de la propuesta de mantenimiento 3 para los cuatro años evaluados en el barrio En Corts de la ciudad de Valencia es de 843.560,21€.

Si se comparan los costes de mantenimiento totales referentes a cada una de las propuestas, se obtiene que:

- Siguiendo los criterios de la propuesta de mantenimiento 2 y, teniendo en cuenta que la diferencia de los costes de mantenimiento totales entre la propuesta de mantenimiento 1 y 2 es de 8.386,34€, es posible sustituir más del 50% de las actuaciones puntuales consideradas en la propuesta de mantenimiento 1 por reposiciones. En concreto, en 62 de las 118 secciones que conforman la red objeto de estudio. Esto se debe a que las actuaciones puntuales se realizan con el fin de incrementar la vida útil de las secciones en un periodo de cuatro años aproximadamente, mientras que, las reposiciones logran incrementar la vida útil de las secciones hasta en un periodo de ocho años. Por lo que, con un ligero aumento del coste de mantenimiento total estimado en un 5%, la propuesta de mantenimiento 2 es capaz de mejorar la calidad de las secciones, reduciendo los costes de mantenimiento a largo plazo y obteniendo una red urbana con mejores prestaciones. Por tanto, se descarta la propuesta de mantenimiento 1.
- Llevar a cabo un mantenimiento de los pavimentos urbanos en base a la propuesta de mantenimiento 3 supondría una reconstrucción casi completa de la red objeto de estudio asumiendo un riesgo muy elevado de inversión. Por tanto, también se descarta la propuesta de mantenimiento 3.

Por estos motivos, se puede asegurar que un sistema de gestión del mantenimiento de pavimentos urbanos con un enfoque predictivo permite reducir los costes de mantenimiento significativamente a largo plazo frente a otros tipos de mantenimiento, como el preventivo o el reactivo.

En resumen, se ha optado por la propuesta de mantenimiento 2 como plan de mantenimiento óptimo para el barrio En Corts de la ciudad de Valencia.

6. CONCLUSIONES

El presente documento muestra la metodología empleada en el desarrollo de un sistema de gestión eficiente del mantenimiento de pavimentos urbanos a partir de un modelo predictivo con el fin de establecer la planificación de mantenimiento óptima de una red viaria urbana para la ciudad de Valencia. Esta herramienta se ha centrado en pavimentos urbanos flexibles.

Por un lado, en cuanto a las conclusiones obtenidas a lo largo del proceso, se tiene:

- La importancia del mantenimiento de los pavimentos urbanos ha provocado que muchas agencias de carreteras se planteen establecer procedimientos y prácticas con el fin de preservar su red de pavimentos tomando la decisión de mantenimiento adecuada en el momento oportuno a partir de un **Sistema de Gestión de Pavimentos (SGP)**.
- El desarrollo de los SGP se ve normalmente limitado por muchos factores como la falta de datos históricos, la ausencia de un guía estándar en el proceso de evaluación de la condición del pavimento o la variabilidad de los agentes implicados en el proceso de deterioro de los pavimentos. Estas **limitaciones** se pueden minimizar gracias a manuales de amplia experiencia como el incluido en el programa **Long-Term Pavement Performance (LTPP)**, que estandariza la recolección de datos sobre el estado del pavimento y las actividades de (M&R) en EE.UU. y Canadá.
- El **Índice de Condición del Pavimento (PCI)** se encuentra entre las metodologías más utilizadas y recomendadas por los autores de la bibliografía para la evaluación de la condición del pavimento. Además, permite establecer relaciones con otros indicadores.
- El uso de las **Redes Neuronales Artificiales (RNA)** en la modelización de problemas de ingeniería de pavimentos se ha hecho cada vez más popular debido a su eficiencia en la predicción y resolución de relaciones y problemas no lineales y en el tratamiento de grandes cantidades de datos inciertos reemplazando con éxito los modelos de regresión típicos que exigen una relación predefinida. Siendo Linear – ReLU la combinación de funciones de activación con mejores resultados.
- Las **variables de la vía y del entorno más influyentes en el proceso de deterioro del pavimento urbano** son: **AADT, AADTT, KESAL y AAP** (lluvia y nieve). En este caso, no se han incluido las variables de tráfico en el modelo seleccionado debido a que suponían una reducción importante de la muestra y, por tanto, los resultados obtenidos eran de peor calidad.

- Es importante establecer una **guía para la elección de la actuación de mantenimiento** óptima en cada caso para evitar otros problemas como sobrecostes innecesarios, así como para aportar eficiencia al sistema de gestión.
- El modelo predictivo desarrollado para el caso particular del barrio En Corts de la ciudad de Valencia es novedoso por ajustar el *PCI* según los diferentes tipos de daños presentes en los pavimentos.
- Un **sistema de gestión del mantenimiento de pavimentos urbanos** con un enfoque **predictivo** permite reducir los costes de mantenimiento a largo plazo.

En síntesis, se trata de un trabajo con una apuesta innovadora, enmarcada en un proyecto emprendedor que, gracias a los avances en la investigación supone una gran ventaja para todos los agentes que intervienen en este tipo de procesos, así como, para la sociedad en su totalidad debido a su enfoque sostenible.

Por otro lado, se proponen una serie de ideas para mejorar el rendimiento de la herramienta en el desarrollo de investigaciones futuras:

- **Modelos de predicción de los daños.** Las causas y evolución de cada tipo de daño son diferentes. Por lo que, aunque el uso del *PCI* presenta buenos resultados, la predicción de los daños de manera aislada permitirán una mayor precisión en la predicción. Además, las actuaciones de mantenimiento están directamente relacionadas con los daños, por tanto, también supondrá una reducción en los costes asociados a las actuaciones de mantenimiento.
- **Adaptación del modelo a vías interurbanas.** Las redes de carreteras interurbanas suponen un importante activo económico en el desarrollo socioeconómico de nuestro país, no obstante, los criterios de aplicación difieren de los aplicados en vías urbanas.
- **Introducción de evaluación multi-criterio.** La introducción de criterios objetivos como la afección a usuarios o la importancia de la vía supondrán una innovación en el campo de la gestión de pavimentos urbanos. Además, el hecho de incluir criterios de tipo ambiental o social favorece que el sistema de gestión desarrollado sea mucho más sostenible.
- **Mayor precisión de la herramienta.** Con el fin aumentar la precisión de la herramienta, se recomienda realizar un estudio detallado del registro histórico de las actuaciones de mantenimiento en la ciudad de Valencia, así como, realizar una base de datos donde

queden registradas todas ellas hasta el día de hoy. De esta manera, sería posible ampliar la muestra de datos con la que entrenar el modelo predictivo, y así, poder obtener un mejor ajuste.

- **Aplicación de la herramienta.** La aplicación de la herramienta a una red vial urbana que difiera en condiciones a la muestra analizada deberá estar precedida por una calibración de las variables utilizadas en los modelos predictivos.
- **Modelos predictivos.** La falta de datos es un problema en el desarrollo de los modelos predictivos mediante redes neuronales, por lo que sería recomendable seguir investigando las combinaciones con las que se puede obtener un mejor ajuste, así como realizar las modificaciones correspondientes.

La implementación de estas mejoras supondría un gran avance en la investigación obteniendo como resultado una herramienta sólida y competitiva para liderar el mercado. Además, con la evolución de la técnica y de metodologías asociadas al *big data*, se podría desarrollar una herramienta capaz de realizar una planificación detallada del mantenimiento que únicamente necesitase la revisión de un técnico experto a modo de verificación.

7. REFERENCIAS

- Adeli, S., Najafi Moghaddam Gilani, V., Kashani Novin, M., Motesharei, E., & Salehfard, R. (2021). Development of a Relationship between Pavement Condition Index and International Roughness Index in Rural Road Network. *Advances in Civil Engineering*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6635820>
- AEC. (2019). *Guía para la rehabilitación y la gestión de los firmes de las carreteras dependientes de las administraciones locales*. 58.
- Arambula, E., George, R., Xiong, W., & Hall, G. (2011). Development and validation of pavement performance models for the state of Maryland. *Transportation Research Record*, 2225, 25–31. <https://doi.org/10.3141/2225-04>
- Arhin, S. A., Williams, L. N., Ribbiso, A., & Anderson, M. F. (2015). Predicting Pavement Condition Index Using International Roughness Index in a Dense Urban Area. *Journal of Civil Engineering Research*, 5(1), 10–17. <https://doi.org/10.5923/j.jce.20150501.02>
- ASTM. (2018). *Standard practice for roads and parking lots pavement condition index surveys (No. ASTM D6433-18)*. American Society for Testing and Materials.
- Dong, Q., Huang, B., & Richards, S. H. (2015). Calibration and Application of Treatment Performance Models in a Pavement Management System in Tennessee. *Journal of Transportation Engineering*, 141(2), 4014076. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000738](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000738)
- Elhadidy, A. A., El-Badawy, S. M., & Elbeltagi, E. E. (2021). A simplified pavement condition index regression model for pavement evaluation. *International Journal of Pavement Engineering*, 22(5), 643–652. <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1633579>
- Gao, L., Hong, F., & Ren, Y. H. (2019). Impacts of seasonal and annual weather variations on network-level pavement performance. *Infrastructures*, 4(2), 1–13. <https://doi.org/10.3390/infrastructures4020027>
- Hassan, R., Lin, O., & Thananjeyan, A. (2017). A comparison between three approaches for modelling deterioration of five pavement surfaces. *International Journal of Pavement Engineering*, 18(1), 26–35. <https://doi.org/10.1080/10298436.2015.1030744>
- Norma 6.3 IC: Rehabilitación de firmes, (2003).
- Issa, A., Samaneh, H., & Ghanim, M. (2022). Predicting pavement condition index using artificial neural networks approach. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(1), 101490. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.04.033>

- Kargah-Ostadi, N., Zhou, Y. (Mina), & Rahman, T. (2019). Developing Performance Prediction Models for Pavement Management Systems in Local Governments in Absence of Age Data. *Transportation Research Record*, 2673(3), 334–341.
<https://doi.org/10.1177/0361198119833680>
- Llopis-Castelló, D., García-Segura, T., Montalbán-Domingo, L., Sanz-Benlloch, A., & Pellicer, E. (2020). Influence of pavement structure, traffic, and weather on urban flexible pavement deterioration. *Sustainability (Switzerland)*, 12(22), 1–20.
<https://doi.org/10.3390/su12229717>
- Loprencipe, G., Pantuso, A., & Di Mascio, P. (2017). Sustainable Pavement Management System in Urban Areas Considering the Vehicle Operating Costs. *Sustainability (Switzerland)*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/su9030453>
- Macea-Mercado, L. F., Morales, L., & Márquez-Díaz, L. G. (2016). Un sistema de gestión de pavimentos basado en nuevas tecnologías para países en vía de desarrollo. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 17(2), 223–236. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.06.007>
- Mohamed, A. S., Xiao, F., & Hettiarachchi, C. (2022). Project Level Management Decisions in Construction and Rehabilitation of Flexible Pavements. *Automation in Construction*, 133(November 2021). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104035>
- Osorio-Lird, A., Chamorro, A., Videla, C., Tighe, S., & Torres-Machi, C. (2018). Application of Markov chains and Monte Carlo simulations for developing pavement performance models for urban network management. *Structure and Infrastructure Engineering*, 14(9), 1169–1181. <https://doi.org/10.1080/15732479.2017.1402064>
- Park, K., Thomas, N. E., & Lee, K. W. (2007). Applicability of the international roughness index as a predictor of asphalt pavement condition. *Journal of Transportation Engineering*, 133(12), 706–709. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2007\)133:12\(706\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2007)133:12(706))
- Peraka, N. S. P., & Biligiri, K. P. (2020). Pavement asset management systems and technologies: A review. *Automation in Construction*, 119(June).
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103336>
- Pérez-Acebo, H., Linares-Unamunzaga, A., Rojí, E., & Gonzalo-Orden, H. (2020). IRI performance models for flexible pavements in two-lane roads until first maintenance and/or rehabilitation work. *Coatings*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/coatings10020097>
- Ragnoli, A., De Blasiis, M. R., & Di Benedetto, A. (2018). Pavement distress detection methods: A review. *Infrastructures*, 3(4), 1–19. <https://doi.org/10.3390/infrastructures3040058>
- Sirhan, M., Bekhor, S., & Sidess, A. (2022). Implementation of Deep Neural Networks for Pavement Condition Index Prediction. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 148(1), 1–11. <https://doi.org/10.1061/jpeodx.0000333>

Younos, M. A., Abd El-Hakim, R. T., El-Badawy, S. M., & Afify, H. A. (2020). Multi-input performance prediction models for flexible pavements using LTPP database. *Innovative Infrastructure Solutions*, 5(1), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s41062-020-0275-3>

ANEXOS

ANEXO I. RESULTADOS DE LOS MODELOS PREDICTIVOS

MODELOS DAÑOS_PCI_T Y TODAS LAS ZONAS CLIMÁTICAS

TABLA 31. RESULTADOS DEL MODELO "DAÑOS_PCI_T".

Input	Output	Model	act_IN	act_OUT	Zone	Rows	N_tests	avg_MAE	avg_MSE	avg_R2	std_R2	max_R2	min_R2
DIS_PCI_T	pci	ffnn	relu	relu	ALL	581	9	14,158	342,524	0,471	0,057	0,563	0,395
DIS_PCI_T	pci	ffnn	tanh	relu	ALL	581	9	14,777	360,187	0,431	0,056	0,506	0,328
DIS_PCI_T	pci	ffnn	tanh	linear	ALL	581	9	15,468	403,374	0,378	0,057	0,485	0,324
DIS_PCI_T	pci	ffnn	sigmoid	linear	ALL	581	9	16,324	427,505	0,352	0,044	0,414	0,282
DIS_PCI_T	pci	ffnn	linear	relu	ALL	581	9	14,404	421,787	0,335	0,318	0,515	-0,558
DIS_PCI_T	pci	ffnn	sigmoid	relu	ALL	581	9	40,366	2533,125	0,161	0,180	0,379	0,000
DIS_PCI_T	pci	ffnn	relu	linear	ALL	581	9	16,608	6096,179	-6,374	12,848	0,550	-31,255
DIS_PCI_T	pci	ffnn	linear	linear	ALL	581	9	25,509	24047,166	-13,426	17,068	0,507	-41,785

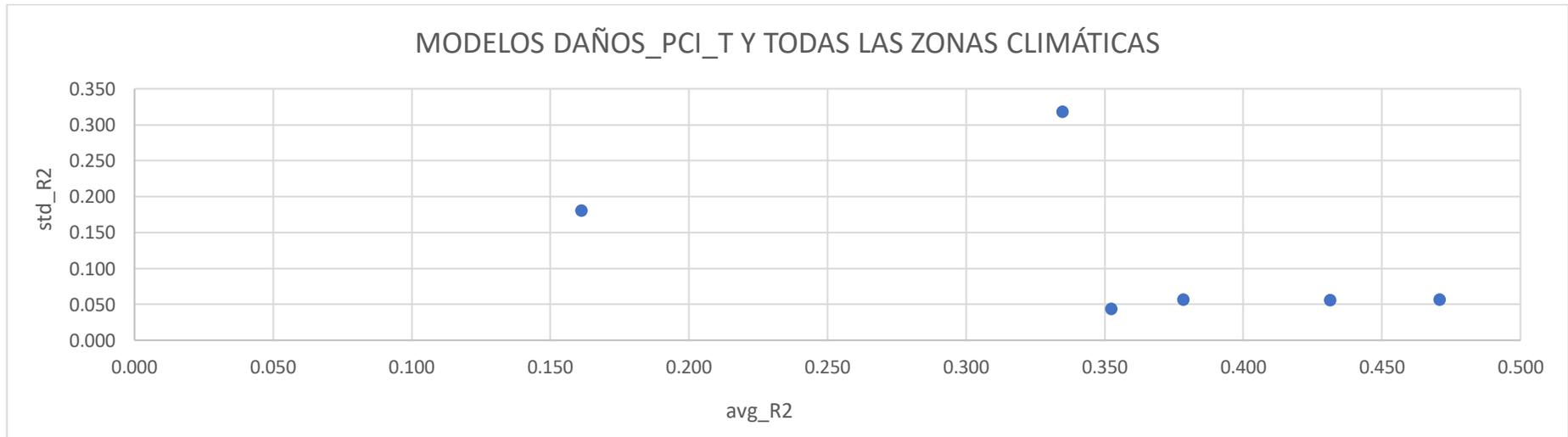


FIGURA 38. REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MODELO "DAÑOS_PCI_T".

MODELOS DAÑOS_PCI_T Y ZONA CLIMÁTICA POCO LLUVIOSA-MEDIA

TABLA 32. RESULTADOS DEL MODELO "DAÑOS_PCI_T_PLL-M".

Input	Output	Model	act_IN	act_OUT	Zone	Rows	N_tests	avg_MAE	avg_MSE	avg_R2	std_R2	max_R2	min_R2
DIS_PCI_T	pci	ffnn	linear	relu	POCO LLUVIOSA - MEDIA	65	9	18,348	778,941	0,580	0,231	0,759	0,000
DIS_PCI_T	pci	ffnn	tanh	linear	POCO LLUVIOSA - MEDIA	65	9	21,336	681,906	0,366	0,227	0,630	-0,041
DIS_PCI_T	pci	ffnn	sigmoid	linear	POCO LLUVIOSA - MEDIA	65	9	22,945	745,008	0,325	0,130	0,478	0,046
DIS_PCI_T	pci	ffnn	tanh	relu	POCO LLUVIOSA - MEDIA	65	9	26,516	960,927	0,202	0,183	0,552	-0,099
DIS_PCI_T	pci	ffnn	sigmoid	relu	POCO LLUVIOSA - MEDIA	65	9	43,371	2935,301	0,131	0,182	0,489	0,000
DIS_PCI_T	pci	ffnn	relu	relu	POCO LLUVIOSA - MEDIA	65	9	34,112	37802,689	-2,020	7,064	0,764	-21,983
DIS_PCI_T	pci	ffnn	linear	linear	POCO LLUVIOSA - MEDIA	65	9	30,837	21910,476	-2,151	5,618	0,821	-17,276
DIS_PCI_T	pci	ffnn	relu	linear	POCO LLUVIOSA - MEDIA	65	9	48,752	64923,528	-4,600	7,780	0,841	-21,185

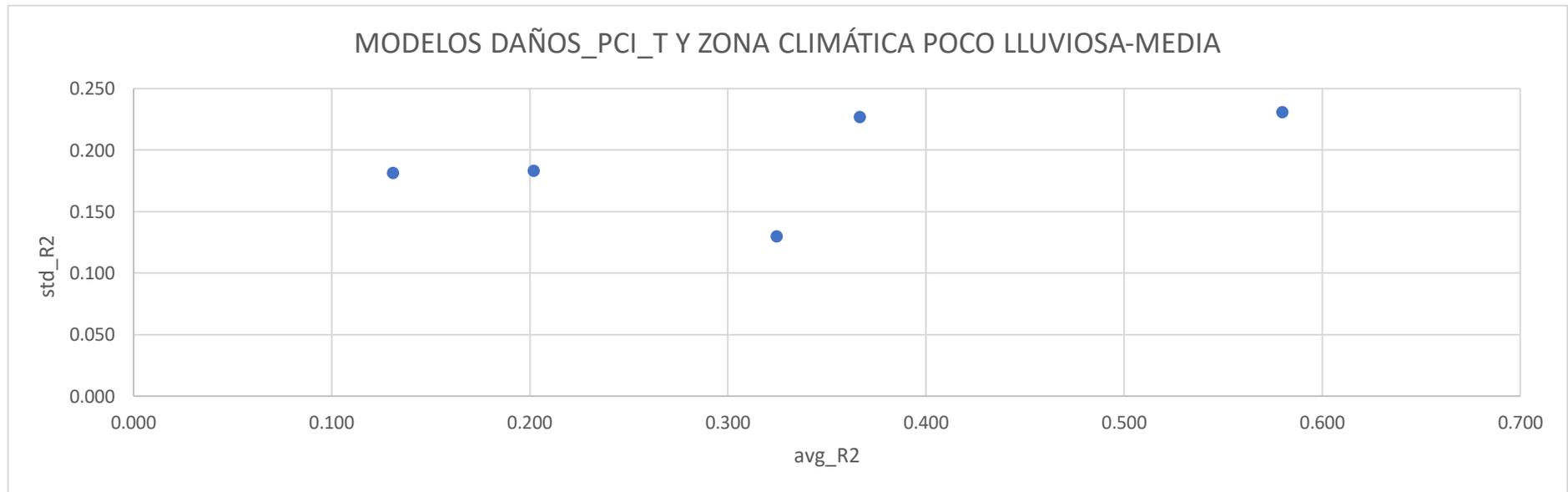


FIGURA 39. REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MODELO "DAÑOS_PCI_T_PLL-M".

MODELOS DAÑOS_PCI_T_VWS Y TODAS LAS ZONAS CLIMÁTICAS

TABLA 33. RESULTADOS DEL MODELO “DAÑOS_PCI_T_VWS” .

Input	Output	Model	act_IN	act_OUT	Zone	Rows	N_tests	avg_MAE	avg_MSE	avg_R2	std_R2	max_R2	min_R2
DIS_PCI_T_VWS	pci	ffnn	linear	relu	ALL	581	9	13,684	327,273	0,502	0,054	0,585	0,433
DIS_PCI_T_VWS	pci	ffnn	relu	relu	ALL	581	9	13,707	346,473	0,460	0,082	0,566	0,321
DIS_PCI_T_VWS	pci	ffnn	tanh	linear	ALL	581	9	14,090	345,259	0,455	0,086	0,595	0,283
DIS_PCI_T_VWS	pci	ffnn	tanh	relu	ALL	581	9	15,036	373,206	0,449	0,051	0,501	0,323
DIS_PCI_T_VWS	pci	ffnn	sigmoid	linear	ALL	581	9	15,388	386,348	0,370	0,028	0,409	0,328
DIS_PCI_T_VWS	pci	ffnn	sigmoid	relu	ALL	581	9	44,938	2915,498	0,121	0,171	0,379	0,000
DIS_PCI_T_VWS	pci	ffnn	linear	linear	ALL	581	9	21,958	19886,814	-19,592	25,789	0,471	-82,608
DIS_PCI_T_VWS	pci	ffnn	relu	linear	ALL	581	9	21,358	32648,898	-22,105	34,505	0,566	-98,094

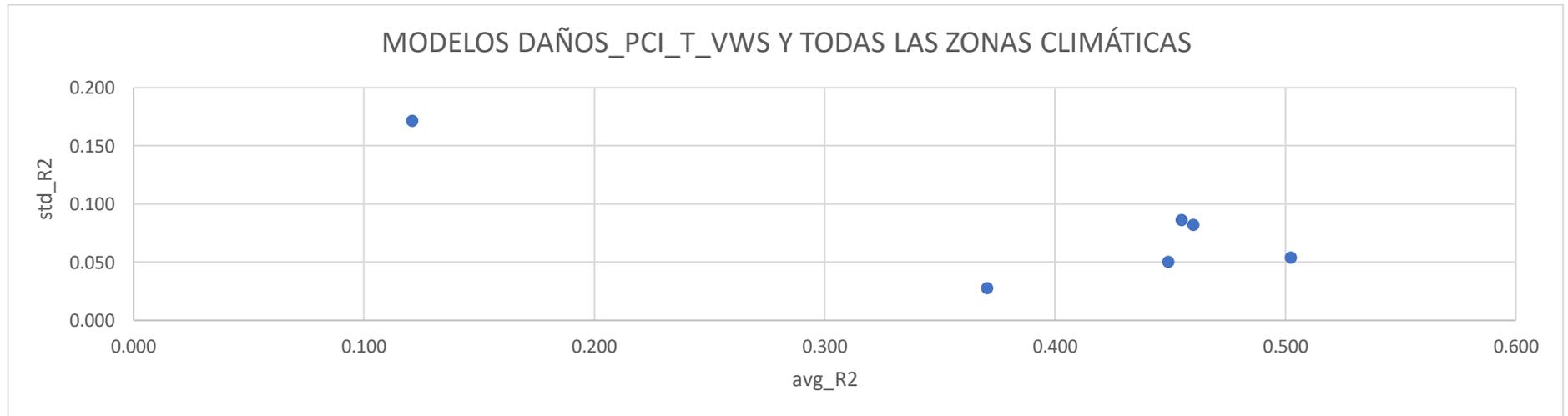


FIGURA 40. REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MODELO “DAÑOS_PCI_T_VWS” .

MODELOS DAÑOS_PCI_T_VWS Y ZONA CLIMÁTICA POCO LLUVIOSA-MEDIA

TABLA 34. RESULTADOS DEL MODELO “DAÑOS_PCI_T_VWS_PLL-M” .

Input	Output	Model	act_IN	act_OUT	Zone	Rows	N_tests	avg_MAE	avg_MSE	avg_R2	std_R2	max_R2	min_R2
DIS_PCI_T_VWS	pci	ffnn	tanh	linear	POCO LLUVIOSA - MEDIA	65	9	18,990	613,356	0,425	0,194	0,728	0,165
DIS_PCI_T_VWS	pci	ffnn	relu	linear	POCO LLUVIOSA - MEDIA	65	9	16,587	578,315	0,406	0,422	0,815	-0,643
DIS_PCI_T_VWS	pci	ffnn	sigmoid	linear	POCO LLUVIOSA - MEDIA	65	9	20,016	634,649	0,397	0,122	0,557	0,164
DIS_PCI_T_VWS	pci	ffnn	tanh	relu	POCO LLUVIOSA - MEDIA	65	9	22,408	758,727	0,313	0,185	0,645	0,037
DIS_PCI_T_VWS	pci	ffnn	sigmoid	relu	POCO LLUVIOSA - MEDIA	65	9	39,900	2604,639	0,167	0,231	0,560	0,000
DIS_PCI_T_VWS	pci	ffnn	relu	relu	POCO LLUVIOSA - MEDIA	65	9	26,953	2214,905	-0,248	1,436	0,807	-3,501
DIS_PCI_T_VWS	pci	ffnn	linear	linear	POCO LLUVIOSA - MEDIA	65	9	32,323	26817,866	-1,981	4,233	0,678	-13,072
DIS_PCI_T_VWS	pci	ffnn	linear	relu	POCO LLUVIOSA - MEDIA	65	9	31,426	16085,442	-2,799	9,399	0,781	-29,378

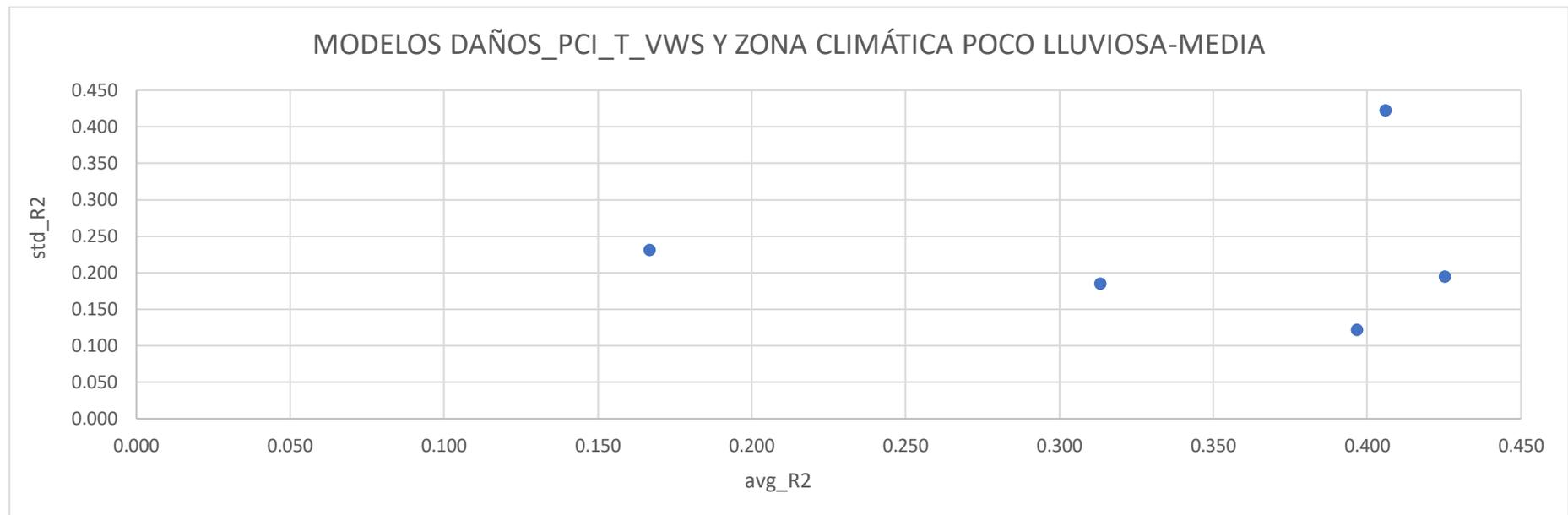


FIGURA 41. REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MODELO “DAÑOS_PCI_T_VWS_PLL-M” .

MODELOS DAÑOS_PCI_T_TRF Y TODAS LAS ZONAS CLIMÁTICAS

TABLA 35. RESULTADOS DEL MODELO “DAÑOS_PCI_T_VWS_TRF” .

Input	Output	Model	act_IN	act_OUT	Zone	Rows	N_tests	avg_MAE	avg_MSE	avg_R2	std_R2	max_R2	min_R2
DIS_PCI_T_TRF	pci	ffnn	relu	relu	ALL	336	9	16,572	446,322	0,301	0,086	0,470	0,180
DIS_PCI_T_TRF	pci	ffnn	tanh	relu	ALL	336	9	16,599	451,361	0,298	0,064	0,376	0,172
DIS_PCI_T_TRF	pci	ffnn	sigmoid	linear	ALL	336	9	17,157	482,323	0,240	0,089	0,331	0,060
DIS_PCI_T_TRF	pci	ffnn	tanh	linear	ALL	336	9	17,327	506,468	0,226	0,087	0,371	0,098
DIS_PCI_T_TRF	pci	ffnn	linear	relu	ALL	336	9	17,470	510,668	0,210	0,118	0,419	0,009
DIS_PCI_T_TRF	pci	ffnn	linear	linear	ALL	336	9	17,684	540,921	0,164	0,121	0,353	-0,076
DIS_PCI_T_TRF	pci	ffnn	sigmoid	relu	ALL	336	9	36,196	2164,199	0,143	0,141	0,401	0,000
DIS_PCI_T_TRF	pci	ffnn	relu	linear	ALL	336	9	17,895	602,319	0,083	0,361	0,413	-0,888



FIGURA 42. REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MODELO “DAÑOS_PCI_T_VWS_TRF” .

MODELOS DAÑOS_PCI_T_TRF Y ZONA CLIMÁTICA POCO LLUVIOSA-MEDIA

TABLA 36. RESULTADOS DEL MODELO “DAÑOS_PCI_T_TRF_PLL-M” .

Input	Output	Model	act_IN	act_OUT	Zone	Rows	N_tests	avg_MAE	avg_MSE	avg_R2	std_R2	max_R2	min_R2
DIS_PCI_T_TRF	pci	ffnn	linear	linear	POCO LLUVIOSA - MEDIA	22	9	18,794	693,767	0,396	0,372	0,715	-0,329
DIS_PCI_T_TRF	pci	ffnn	linear	relu	POCO LLUVIOSA - MEDIA	22	9	26,806	1296,850	0,126	0,359	0,785	-0,482
DIS_PCI_T_TRF	pci	ffnn	sigmoid	linear	POCO LLUVIOSA - MEDIA	22	9	28,028	1210,766	0,120	0,153	0,396	-0,102
DIS_PCI_T_TRF	pci	ffnn	tanh	linear	POCO LLUVIOSA - MEDIA	22	9	27,350	1123,034	0,078	0,191	0,448	-0,315
DIS_PCI_T_TRF	pci	ffnn	relu	relu	POCO LLUVIOSA - MEDIA	22	9	26,201	1106,035	0,076	0,532	0,758	-1,027
DIS_PCI_T_TRF	pci	ffnn	tanh	relu	POCO LLUVIOSA - MEDIA	22	9	24,140	913,973	0,063	0,148	0,277	-0,233
DIS_PCI_T_TRF	pci	ffnn	sigmoid	relu	POCO LLUVIOSA - MEDIA	22	9	34,640	1794,294	-0,005	0,117	0,193	-0,288
DIS_PCI_T_TRF	pci	ffnn	relu	linear	POCO LLUVIOSA - MEDIA	22	9	23,867	1312,212	-0,401	1,388	0,629	-3,676

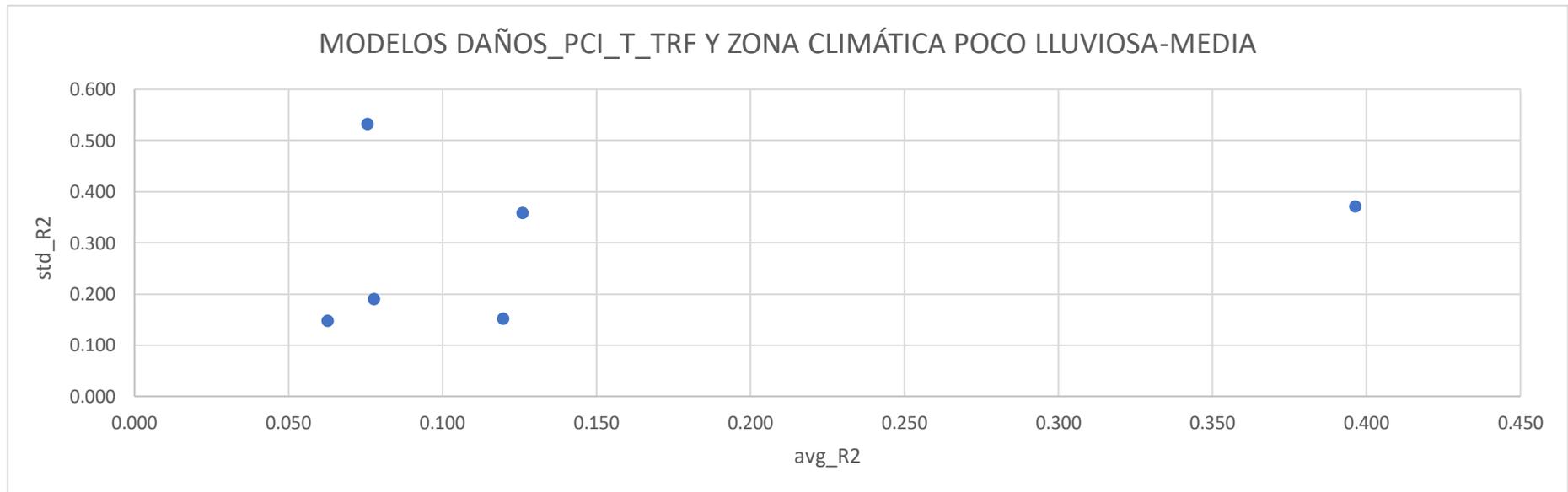


FIGURA 43. REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MODELO “DAÑOS_PCI_T_TRF_PLL-M” .

MODELOS DAÑOS_PCI_T_VWS_TRF Y TODAS LAS ZONAS CLIMÁTICAS

TABLA 37. RESULTADOS DEL MODELO “DAÑOS_PCI_T_VWS_TRF” .

Input	Output	Model	act_IN	act_OUT	Zone	Rows	N_tests	avg_MAE	avg_MSE	avg_R2	std_R2	max_R2	min_R2
DIS_PCI_T_TRF_VWS	pci	ffnn	relu	linear	ALL	336	9	15,390	400,416	0,356	0,136	0,526	0,059
DIS_PCI_T_TRF_VWS	pci	ffnn	relu	relu	ALL	336	9	15,411	419,193	0,348	0,071	0,445	0,227
DIS_PCI_T_TRF_VWS	pci	ffnn	tanh	relu	ALL	336	9	15,862	420,818	0,326	0,076	0,413	0,167
DIS_PCI_T_TRF_VWS	pci	ffnn	linear	relu	ALL	336	9	15,612	453,353	0,263	0,196	0,433	-0,231
DIS_PCI_T_TRF_VWS	pci	ffnn	tanh	linear	ALL	336	9	17,819	524,687	0,235	0,094	0,336	0,048
DIS_PCI_T_TRF_VWS	pci	ffnn	sigmoid	linear	ALL	336	9	17,064	480,402	0,230	0,056	0,339	0,155
DIS_PCI_T_TRF_VWS	pci	ffnn	sigmoid	relu	ALL	336	9	27,218	1361,158	0,201	0,116	0,333	0,000
DIS_PCI_T_TRF_VWS	pci	ffnn	linear	linear	ALL	336	9	17,451	671,607	-0,017	0,413	0,342	-0,983

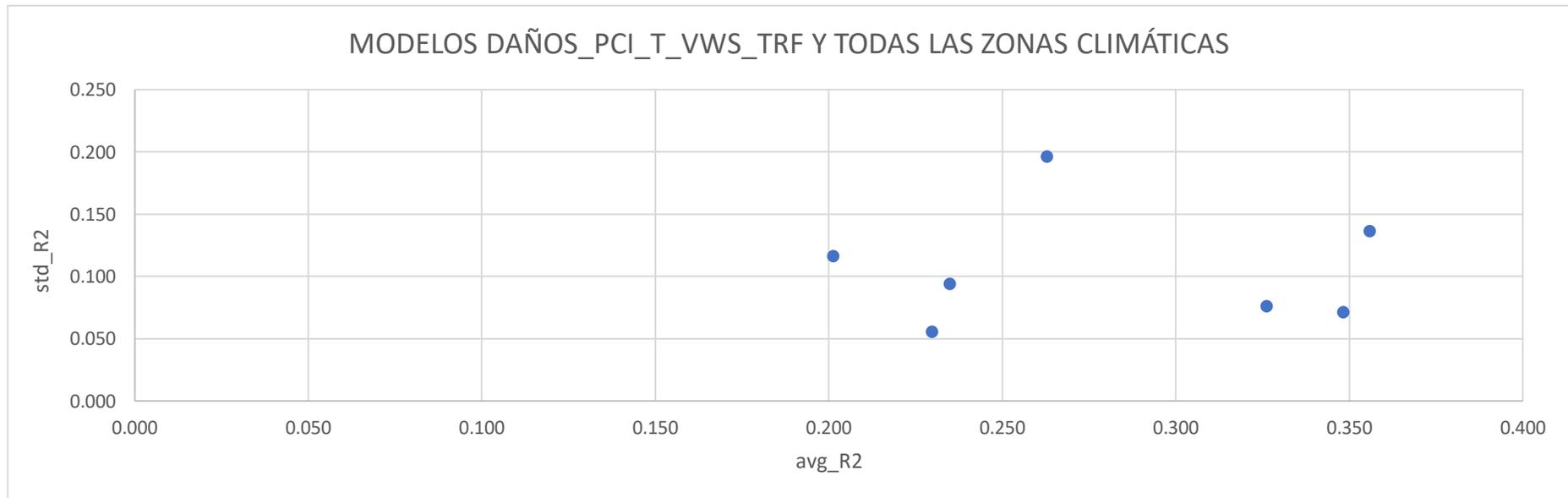


FIGURA 44. REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MODELO “DAÑOS_PCI_T_VWS_TRF” .

MODELOS DAÑOS_PCI_T_VWS_TRF Y ZONA CLIMÁTICA POCO LLUVIOSA-MEDIA

TABLA 38. RESULTADOS DEL MODELO “DAÑOS_PCI_T_VWS_TRF_PLL-M”.

Input	Output	Model	act_IN	act_OUT	Zone	Rows	N_tests	avg_MAE	avg_MSE	avg_R2	std_R2	max_R2	min_R2
DIS_PCI_T_TRF_VWS	pci	ffnn	linear	relu	POCO LLUVIOSA - MEDIA	22	9	20,350	658,312	0,283	0,394	0,775	-0,302
DIS_PCI_T_TRF_VWS	pci	ffnn	relu	relu	POCO LLUVIOSA - MEDIA	22	9	30,442	1605,858	0,231	0,326	0,741	-0,226
DIS_PCI_T_TRF_VWS	pci	ffnn	sigmoid	linear	POCO LLUVIOSA - MEDIA	22	9	25,217	909,235	0,111	0,153	0,426	-0,071
DIS_PCI_T_TRF_VWS	pci	ffnn	tanh	relu	POCO LLUVIOSA - MEDIA	22	9	25,799	1075,749	0,089	0,135	0,279	-0,210
DIS_PCI_T_TRF_VWS	pci	ffnn	sigmoid	relu	POCO LLUVIOSA - MEDIA	22	9	36,476	2016,709	0,072	0,070	0,175	0,000
DIS_PCI_T_TRF_VWS	pci	ffnn	relu	linear	POCO LLUVIOSA - MEDIA	22	9	25,673	1436,304	0,042	1,038	0,659	-2,828
DIS_PCI_T_TRF_VWS	pci	ffnn	tanh	linear	POCO LLUVIOSA - MEDIA	22	9	24,286	873,995	0,038	0,168	0,249	-0,393
DIS_PCI_T_TRF_VWS	pci	ffnn	linear	linear	POCO LLUVIOSA - MEDIA	22	9	27,650	1359,926	-0,141	0,583	0,583	-1,375

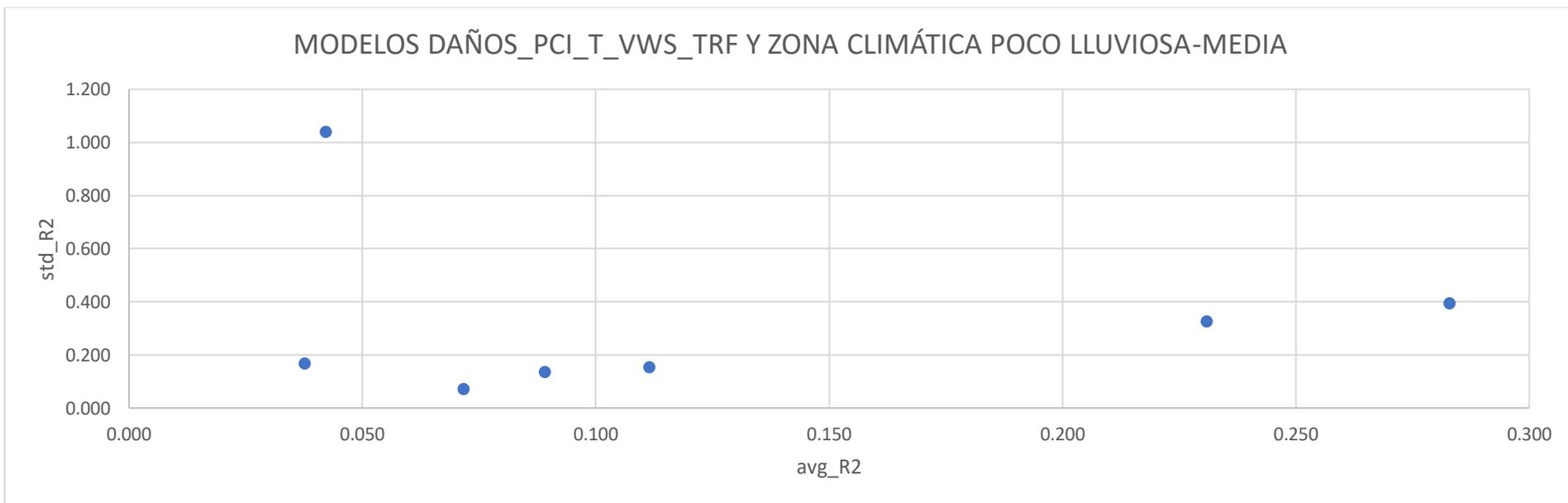


FIGURA 45. REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MODELO “DAÑOS_PCI_T_VWS_TRF_PLL-M”.

ANEXO II. APLICACIÓN PRÁCTICA

DESCRIPCIÓN DE LA RED

Características de la vía					Clima (mm/añual)	
ID sección	Nombre de la vía	Ancho (m)	Long (m)	Área (m2)	MON_PREC_CUM	MON_SNOW_CUM
13977	Avinguda d'Ausiàs March	12	252	3023	468,6	0
14340	Avinguda d'Ausiàs March	5	23	115	468,6	0
14341	Carrer de Bèrnia	5	28	141	468,6	0
14342	Carrer de Bèrnia	5	122	611	468,6	0
14345	Carrer del Puigcampana	5	37	186	468,6	0
14347	Carrer de Bèrnia	5	147	733	468,6	0
14348	Carrer de Rubén Vela	5	79	396	468,6	0
14349	Carrer de Bèrnia	5	29	146	468,6	0
14350	Avinguda d'Ausiàs March	5	81	404	468,6	0
14351	Avinguda del Doctor Waksman	7	163	1144	468,6	0
14352	Avinguda del Doctor Waksman	7	15	108	468,6	0
14353	Avinguda de la Plata	7	77	539	468,6	0
14354	Carrer de la Fonteta de Sant Lluís	5	70	351	468,6	0
14355	Avinguda de la Plata	7	34	237	468,6	0
14356	Carrer de Rubén Vela	5	85	423	468,6	0
14357	Avinguda de la Plata	7	45	316	468,6	0
14358	Avinguda del Doctor Waksman	7	117	820	468,6	0
14359	Avinguda de la Plata	7	28	198	468,6	0
14361	Avinguda de la Plata	7	40	283	468,6	0
14363	Avinguda de la Plata	7	49	342	468,6	0
14365	Avinguda de la Plata	7	31	215	468,6	0
14366	Carrer de Pedro de Valdivia	5	20	99	468,6	0
14367	Avinguda de la Plata	7	43	304	468,6	0

14368	Avinguda de la Plata	7	42	294	468,6	0
14369	Avinguda de la Plata	7	226	1581	468,6	0
14370	Carrer d'Alberola	5	117	583	468,6	0
14371	Avinguda de la Plata	7	109	766	468,6	0
14372	Intersecció o Vía sin nombre	5	48	241	468,6	0
14377	Avinguda d'Ausiàs March	12	70	838	468,6	0
14378	Avinguda d'Ausiàs March	7	47	328	468,6	0
14379	Avinguda d'Ausiàs March	7	26	179	468,6	0
14380	Avinguda de la Plata	7	124	869	468,6	0
14381	Avinguda d'Ausiàs March	7	22	152	468,6	0
14382	Avinguda d'Ausiàs March	5	97	487	468,6	0
14384	Avinguda d'Ausiàs March	12	198	2370	468,6	0
14394	Avinguda d'Ausiàs March	7	51	356	468,6	0
14395	Avinguda de la Plata	7	122	855	468,6	0
14397	Avinguda de la Plata	7	51	356	468,6	0
14399	Avinguda de la Plata	7	88	618	468,6	0
14615	Carrer de Bèrnia	5	19	96	468,6	0
14617	Carrer de la Fonteta de Sant Lluís	5	205	1025	468,6	0
14774	Avinguda del Doctor Waksman	7	50	348	468,6	0
14775	Carrer del Puigcampana	5	69	347	468,6	0
14776	Carrer de Molina del Palau	5	25	123	468,6	0
14777	Carrer del Puigcampana	5	43	214	468,6	0
14778	Avinguda del Doctor Waksman	5	33	165	468,6	0
14779	Avinguda del Doctor Waksman	7	74	518	468,6	0
14780	Carrer de Pedro de Valdivia	5	33	165	468,6	0
14781	Carrer de Tirant lo Blanch	5	153	763	468,6	0
14782	Carrer de Molina del Palau	5	33	166	468,6	0
14783	Carrer de Tirant lo Blanch	5	38	189	468,6	0
14784	Carrer del Puigcampana	5	40	200	468,6	0

14785	Carrer de Molina del Palau	5	81	405	468,6	0
14786	Avinguda d'Ausiàs March	12	137	1640	468,6	0
14787	Carrer de la Fonteta de Sant Lluís	5	47	236	468,6	0
14788	Avinguda del Doctor Waksman	7	109	760	468,6	0
14789	Carrer de la Fonteta de Sant Lluís	5	56	279	468,6	0
14790	Carrer del Pervindre	5	112	561	468,6	0
14791	Carrer de Rubén Vela	5	17	86	468,6	0
14792	Carrer de Rubén Vela	5	29	143	468,6	0
14793	Carrer de Rubén Vela	5	35	175	468,6	0
14794	Carrer del Plus Ultra	5	150	748	468,6	0
14796	Avinguda del Doctor Waksman	7	114	795	468,6	0
14797	Carrer de Rubén Vela	5	58	290	468,6	0
14819	Avinguda de Peris i Valero	12	90	1082	468,6	0
14851	Avinguda de Peris i Valero	12	81	966	468,6	0
14852	Carrer de Rubén Vela	5	85	427	468,6	0
14854	Avinguda del Doctor Waksman	7	128	894	468,6	0
14855	Carrer de Planas	5	39	194	468,6	0
14856	Carrer de la Fonteta de Sant Lluís	5	98	492	468,6	0
14858	Carrer de la Fonteta de Sant Lluís	5	77	383	468,6	0
14860	Carrer de la Fonteta de Sant Lluís	5	49	247	468,6	0
14861	Avinguda de Peris i Valero	12	141	1690	468,6	0
14862	Carrer de la Fonteta de Sant Lluís	5	68	338	468,6	0
14863	Carrer de la Font de la Figuera	5	90	450	468,6	0
14864	Carrer del Pare Vicent	5	53	263	468,6	0
14865	Carrer de la Fonteta de Sant Lluís	5	45	226	468,6	0
14866	Avinguda del Doctor Waksman	7	121	849	468,6	0
14867	Avinguda del Doctor Waksman	7	114	799	468,6	0
14868	Carrer de la Font de la Figuera	5	65	323	468,6	0
14870	Avinguda del Doctor Waksman	7	150	1047	468,6	0

15180	Avinguda del Doctor Waksman	7	112	784	468,6	0
15181	Carrer de les Neus	5	72	359	468,6	0
15182	Carrer de Planas	5	120	601	468,6	0
15183	Carrer dels Sapadors	5	23	114	468,6	0
15184	Carrer de Fra Joan de Montsó	5	62	309	468,6	0
15185	Carrer de Cienfuegos	5	39	196	468,6	0
15186	Carrer de Perfecte	5	70	349	468,6	0
15187	Carrer dels Sapadors	5	38	191	468,6	0
15188	Carrer de Cienfuegos	5	48	240	468,6	0
15189	Carrer de Vicent Lleó	5	32	159	468,6	0
15190	Carrer del Organista Plasencia	5	110	551	468,6	0
15191	Carrer de Tucumán	5	55	276	468,6	0
15192	Carrer del Organista Plasencia	5	34	170	468,6	0
15193	Carrer de Vicent Lleó	5	45	225	468,6	0
15195	Carrer dels Sapadors	5	116	578	468,6	0
15196	Carrer del Organista Plasencia	5	25	125	468,6	0
15197	Carrer dels Sapadors	5	131	654	468,6	0
15198	Carrer dels Sapadors	5	132	659	468,6	0
15200	Carrer dels Sapadors	5	62	308	468,6	0
15215	Carrer dels Sapadors	5	12	62	468,6	0
15222	Carrer dels Sapadors	5	51	255	468,6	0
15226	Carrer dels Sapadors	5	103	517	468,6	0
15414	Plaça de Manuel Sanchis Guarner	12	87	1039	468,6	0
22167	Avinguda de Peris i Valero	12	90	1084	468,6	0
22543	Carrer de Vicent Lleó	5	101	507	468,6	0
22553	Carrer del Organista Plasencia	5	30	150	468,6	0
22731	Avinguda de la Plata	7	90	631	468,6	0
22732	Intersecció o Vía sin nombre	7	31	215	468,6	0
22934	Avinguda del Doctor Waksman	7	30	207	468,6	0

22935	Avinguda del Doctor Waksman	5	25	127	468,6	0
23557	Carrer de Planas	5	22	111	468,6	0
23558	Carrer d'Aben Amir	5	38	188	468,6	0
23559	Carrer de Fra Joan de Montsó	5	36	182	468,6	0
23599	Plaça de Manuel Sanchis Guarner	12	79	953	468,6	0
23859	Avinguda de la Plata	7	242	1696	468,6	0
24630	Avinguda del Doctor Waksman	7	185	1292	468,6	0
24708	Avinguda del Doctor Waksman	7	110	769	468,6	0

TABLA 39. DESCRIPCIÓN DE LA RED OBJETO DE ESTUDIO.

SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED

ID sección	Grietas longitudinales (m)			Grietas transversales (m)			Grietas de Cocodrilo (m2)		Baches (m2)		Meteorización y desprendimiento (m2)	Parches (m2)	PCI
	baja	media	alta	baja	media	alta	media	alta	media	alta	media	media	
13977	22,8	0	0	4,4	10,9	0	0	0	0	0	0	0	99,6
14340	6,1	2,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90,3
14341	28,7	21,6	1,2	5,3	3,9	2,3	0	0	0	0	0	0	66,8
14342	41,3	21,9	3,6	8,9	5,5	0	0	0	0	0	0	0	84,7
14345	28,6	13,2	0	0	5,4	3,3	0	0	0	0	0	0	75,4
14347	76,6	4,5	0	1,8	2,6	0	0	0	0	0	0	0	89,9
14348	47	7,2	0	10,1	1,2	1,6	0	0	0	0	0	0	86,2
14349	5,5	0	0	0,6	0,5	0	2,3	0	0	0	0	2,4	69,3
14350	30,8	0	0	3,3	1,7	0	0	0	0	0	0	0	93,2
14351	13,6	0,6	0,9	3,6	2,5	1,5	0	0	0	0	0	0	95,5
14352	0	1,8	0	5,3	0	0,6	0	0	0	0	0	0	89,5
14353	14,9	4,8	0,6	3,9	2,7	0	0	0	0,1	0	0	0	90,3
14354	9,5	3,1	0	0	4,4	0	0	0	0	0	0	0	92,2
14355	23,3	16,6	0	6,4	4,3	2,4	0	0	0	0	0	0	79,5
14356	7,8	4,6	0	3,1	1,7	1,5	0	0	0,1	0	0	0	90,3
14357	73,4	12,8	3,9	10,5	0	0	0	0	0	0	0	0	79,4
14358	4,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,9
14359	3,7	0	0	0	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0	95,1
14361	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,0
14363	1,2	0	0	0,1	0	0	0,4	0	0	0	0	0	92,6
14365	2	0,3	0	0,4	0,1	0	0	0	0	0	0	0	99,6

14366	18,8	4,2	0	5,7	0	0	4,5	0	0	0	0	0	58,9
14367	2,1	0	0	0,5	0,2	0	1,3	0	0	0	0	0	84,5
14368	94	13,7	0	24,7	0	3,2	17,7	0	0	0	0	0	53,7
14369	22,4	3,9	0	5	1	0	8,6	0	0	0	0	0	82,5
14370	43,3	7,9	0	7,9	0	0	0	0	0	0	15	25,7	73,5
14371	25,1	18,5	0	6,1	5,7	3,3	0	0	0	0	0	0	87,2
14372	44,7	4,1	0	3,8	2,1	0	0	1,7	0	0	0	0	69,0
14377	8	6,7	0	1,9	1	0	9,1	0	0	0	0	0	75,0
14378	2,9	0,8	0	0	0,3	0	1,5	0	0	0	0	0	83,9
14379	10,6	4,5	0	5,5	0	0	2,2	0	0	0	0	0	72,2
14380	7,9	0	0	3,3	0	0,7	6,7	0	0	0	0	0	78,1
14381	3,9	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	97,9
14382	2,2	0,2	0	1,2	0,3	0	0	0	0	0	0	0	99,7
14384	3,9	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	99,8
14394	5,3	0	0	0,6	0	0	0,9	0	0	0	0	0	88,0
14395	9,6	1,3	0	0	0	0	1,4	0	0	0	7,2	4,1	86,4
14397	9,6	0	0	0	1,4	0	0	0	0	0	0	0	98,0
14399	1,3	0	0	0,3	0,3	0	2,2	0	0	0	0	0	85,8
14615	0	0	0	0,2	0	0	0,3	0	0	0	0	0	86,8
14617	0,8	0	0	0,2	0	0	0,4	0	0	0	0	0,9	90,3
14774	40,4	1,4	0	9	1,2	0	5,9	0	0	0	0	0	69,5
14775	19,7	6,5	0	8,4	3,1	0	0	0	0	0	30,4	24,6	65,2
14776	3,7	0	0	0,4	0,2	0	1	0	0	0	0	0	77,5
14777	15,8	2,2	0	1,1	2,1	0	10,7	0	0	0	0	0	58,1
14778	0,2	0,1	0	0,1	0,1	0	0,1	0	0	0	0	0	93,0
14779	11,8	0	0	7,1	0	0	0	0	0	0	0	0	97,3
14780	16	0	0	2,6	1,1	0	0	0	0	0	0	0	90,9
14781	10,7	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	99,6

14782	6,9	1,9	0	4,2	0	0	0	0	0	0	0	0	90,3
14783	2,6	1,9	1,9	1,1	0	0	9,8	0	0	0	0	0	56,9
14784	21	3,8	0	4,5	0	1	0	0	0	0	0	0	86,9
14785	1,5	0,3	0	0,3	0,1	0	0	0	0	0	0	0	99,6
14786	3,4	1,4	0	1,2	1,2	0	0,9	0	0	0	0	0	93,0
14787	2,7	0,4	0	0,5	0,1	0	0	0	0	0	0	0	99,6
14788	5,7	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	99,7
14789	0,9	0	0	0,2	0	0,1	0	0	0	0	2,1	0	89,6
14790	22,9	0	0	2,5	0	0	0	0	0	0	13,2	0	87,3
14791	13,6	0,4	0	3	1,1	0	0	0,4	0	0	0	6,8	59,6
14792	11,4	0	0	1,2	0,9	0	8,9	0	0	0	0	0	56,8
14793	104,4	0	0	19,6	3,7	3	30,4	0	0	0	0	0	40,3
14794	2,8	2,3	0,2	0,5	0,4	0,2	0	0	0	0	0	0	95,5
14796	2,1	2,1	1,8	1,2	0,7	0	11,4	0	0	0	0	0	72,2
14797	12,3	0,7	0	3	0	0,7	0	0	0	0	0	0	90,3
14819	104,4	0	0	28,5	3,1	0	18,6	0	0	0	0	0	70,5
14851	11,9	0	0	8,1	4,9	0	0	0	0	0	0	0	98,5
14852	0,8	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	99,8
14854	0,5	0,1	0	0,1	0	0	0,1	0	0	0	0	0	93,0
14855	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,0
14856	12	0	0	6	0	0	1,7	0	0	0	0	0	84,1
14858	5,5	0	0	2,4	2,3	0	0	0	0	0	0	0	98,3
14860	13	0	0	7,1	0	0	0	0	0	0	0	0	93,8
14861	20,7	0	0	12,8	6,8	0	5,3	0	0	0	0	0	85,7
14862	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,0
14863	7,5	3,6	0	6,1	0	0	0	0	0	0	0	0	96,3
14864	10,5	1,8	0	4,7	1,4	0	0	0	0	0	0	0	90,3
14865	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,0
14866	23,2	0	0	6,9	0	0	5,7	0	0	0	0	0	79,2

14867	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,0
14868	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,0
14870	11,2	5	0	0	1,7	0	0	0	0	0	0	0	98,9
15180	6,5	0	0	0	0,6	0	1	0	0	0	0	0	92,1
15181	38,1	1,3	0	4,2	0	0	9	0	0	0	0	0	66,7
15182	32,6	0	0	0	4	0	0	0	0	0	32,2	0	83,1
15183	33,7	9,6	2,7	7,4	5,1	3,3	0	5,6	0	0	303,6	0	20,3
15184	0,3	0	0	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0	0	99,6
15185	0,3	0,2	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	99,6
15186	17,4	6,7	0	6,1	5,1	0	3,4	0	0	0	0	0	74,0
15187	10	2,4	0,8	3	2,1	0	14,6	0	0	0,1	0	0	51,5
15188	3,9	0	0	2,2	1,4	0	1,2	0	0	0	0	0	81,3
15189	7	0	0	0	0	0	2,3	0	0	0	0	0	72,5
15190	86	8,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87,5
15191	7,8	2,1	0	0	3,6	0	1	0	0	0	0	0	82,2
15192	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,0
15193	2,6	1,5	0	0,6	0,8	0	0	0	0	0	0	0	97,1
15195	6,6	0,8	0	2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	99,6
15196	18,4	0	0	8,1	4	0	0	0	0	0	0	0	84,9
15197	25,2	4,7	0	4,4	0	0	6,1	0	0	0	0	0	75,1
15198	12,1	4,1	0	1,3	5,2	0	1,9	0	0	0	0	0	84,3
15200	22,2	0	0	4,7	9,4	0	0	0	0	0	0	0	89,4
15215	3,6	2,2	5,4	0	1,1	0,8	22,2	3,5	0	0	0	0	9,9
15222	9,8	0	0	1,8	0	0,8	3,3	0	0	0	8,7	9,7	63,0
15226	6,9	7,7	0,7	2,1	1,3	0,8	0	0	0	0	0	4,8	86,7
15414	21,2	0	0	4	1,6	0	0	0	0	0	9,7	0	90,1
22167	14	1,6	0	0	1	0	9,2	0	0	0	12,7	0	76,9
22543	41,3	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	92,5
22553	52,4	10,8	0	4,9	3	0	0	0	0	0	0	0	74,8

22731	35,7	1	0	6,1	1,8	0,8	0	0	0	0	0	0	90,3
22732	53	55,8	0	15,7	11,5	5,5	0	0	0	0	0	0	60,6
22934	3,1	0	0	1,8	0	0	3,8	0	0	0	0	0	71,3
22935	14	3	0	3,4	0,9	0	2,6	0	0	0	0	0	67,3
23557	2,3	0,9	0	0	0,6	0,3	0	0	0	0	62,2	0	59,5
23558	2,1	1,9	0	0	1	0,4	12,3	0	0	0	0	0	55,0
23559	3,9	0,9	0	0,8	0,8	0	0	0	0	0	37,1	0	71,9
23599	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,0
23859	65,7	8,9	0	12,3	0	0	22	3,1	0	0	30,5	0	67,1
24630	34,3	0	0	8,1	4,8	0	53	0	0	0	0	21,6	59,7
24708	9,4	0	0	3,7	0	0	10,5	0	0	0	0	0	75,0

TABLA 40. SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED.

PREDICCIONES DEL PCI

ID sección	año 1	año 2	año 3	año 4
13977	58,1	46,7	35,2	23,8
14340	76,4	65,0	53,6	42,1
14341	49,7	38,2	26,8	15,4
14342	43,8	32,4	21,0	9,6
14345	63,0	51,6	40,1	28,7
14347	61,4	50,0	38,6	27,2
14348	62,6	51,2	39,8	28,4
14349	61,9	50,5	39,1	27,6
14350	70,5	59,1	47,6	36,2
14351	76,6	65,2	53,7	42,3
14352	74,5	63,1	51,7	40,2
14353	66,4	55,0	43,5	32,1
14354	69,1	57,6	46,2	34,8
14355	58,0	46,6	35,2	23,8
14356	74,7	63,3	51,9	40,4
14357	49,5	38,1	26,6	15,2
14358	82,5	71,1	59,7	48,2
14359	80,1	68,7	57,2	45,8
14361	83,1	71,7	60,2	48,8
14363	78,8	67,4	55,9	44,5
14365	82,0	70,6	59,2	47,8
14366	50,6	39,2	27,8	16,4
14367	73,3	61,8	50,4	39,0
14368	23,9	12,5	1,1	0,0
14369	59,5	48,1	36,7	25,2

14370	33,9	22,5	11,0	0,0
14371	61,9	50,5	39,1	27,6
14372	53,5	42,0	30,6	19,2
14377	58,2	46,8	35,4	23,9
14378	72,7	61,2	49,8	38,4
14379	59,7	48,3	36,9	25,5
14380	66,9	55,4	44,0	32,6
14381	80,9	69,5	58,1	46,6
14382	81,1	69,7	58,3	46,9
14384	82,2	70,7	59,3	47,9
14394	75,2	63,8	52,4	41,0
14395	70,2	58,7	47,3	35,9
14397	78,6	67,1	55,7	44,3
14399	73,6	62,2	50,7	39,3
14615	75,8	64,4	52,9	41,5
14617	76,8	65,4	54,0	42,5
14774	49,6	38,1	26,7	15,3
14775	27,5	16,1	4,7	0,0
14776	69,7	58,2	46,8	35,4
14777	48,3	36,9	25,4	14,0
14778	79,1	67,6	56,2	44,8
14779	74,6	63,2	51,8	40,3
14780	72,5	61,1	49,7	38,3
14781	81,2	69,8	58,3	46,9
14782	73,0	61,6	50,2	38,7
14783	53,0	41,6	30,2	18,7
14784	71,9	60,5	49,1	37,6
14785	82,2	70,8	59,4	47,9
14786	75,0	63,5	52,1	40,7

14787	81,8	70,4	59,0	47,6
14788	80,9	69,5	58,1	46,7
14789	77,6	66,2	54,8	43,4
14790	71,5	60,1	48,7	37,3
14791	50,5	39,0	27,6	16,2
14792	52,0	40,5	29,1	17,7
14793	12,1	0,7	0,0	0,0
14794	79,0	67,5	56,1	44,7
14796	58,9	47,5	36,1	24,7
14797	76,2	64,8	53,4	41,9
14819	18,0	6,6	0,0	0,0
14851	66,0	54,6	43,2	31,7
14852	82,3	70,8	59,4	48,0
14854	79,2	67,8	56,3	44,9
14855	83,1	71,7	60,2	48,8
14856	67,7	56,2	44,8	33,4
14858	75,7	64,3	52,8	41,4
14860	72,6	61,2	49,8	38,4
14861	48,5	37,1	25,7	14,3
14862	83,1	71,7	60,2	48,8
14863	73,8	62,4	51,0	39,5
14864	69,9	58,4	47,0	35,6
14865	83,1	71,7	60,2	48,8
14866	61,1	49,6	38,2	26,8
14867	83,1	71,7	60,2	48,8
14868	83,1	71,7	60,2	48,8
14870	76,2	64,8	53,3	41,9
15180	76,7	65,3	53,8	42,4
15181	52,7	41,3	29,9	18,4

15182	62,9	51,5	40,1	28,6
15183	22,1	10,7	0,0	0,0
15184	82,6	71,2	59,8	48,3
15185	82,4	71,0	59,6	48,2
15186	49,1	37,7	26,3	14,9
15187	41,7	30,3	18,8	7,4
15188	68,0	56,6	45,2	33,8
15189	66,6	55,2	43,8	32,4
15190	63,5	52,1	40,6	29,2
15191	65,2	53,8	42,4	31,0
15192	83,1	71,7	60,2	48,8
15193	78,8	67,3	55,9	44,5
15195	79,8	68,3	56,9	45,5
15196	59,7	48,3	36,9	25,4
15197	58,5	47,0	35,6	24,2
15198	60,7	49,3	37,9	26,5
15200	55,1	43,7	32,2	20,8
15215	2,3	0,0	0,0	0,0
15222	54,1	42,7	31,3	19,9
15226	66,8	55,4	44,0	32,5
15414	69,3	57,9	46,5	35,0
22167	61,9	50,5	39,1	27,6
22543	66,5	55,1	43,7	32,2
22553	50,3	38,9	27,4	16,0
22731	68,2	56,8	45,4	34,0
22732	18,4	7,0	0,0	0,0
22934	64,2	52,8	41,4	30,0
22935	57,4	45,9	34,5	23,1
23557	59,6	48,2	36,8	25,3

23558	51,6	40,2	28,8	17,3
23559	64,6	53,1	41,7	30,3
23599	83,1	71,7	60,2	48,8
23859	32,8	21,4	9,9	0,0
24630	0,0	0,0	0,0	0,0
24708	60,5	49,0	37,6	26,2

TABLA 41. PREDICCIONES DEL PCI.

PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 1

ID sección	año 1	año 2	año 3	año 4
	Actuación	Actuación	Actuación	Actuación
13977	-	4	-	-
14340	1	-	-	-
14341	4	-	-	-
14342	4	-	-	-
14345	-	-	4	-
14347	-	4	-	-
14348	-	4	-	-
14349	-	6	-	-
14350	1	-	-	-
14351	1	-	-	-
14352	1	-	-	-
14353	4 y 5	-	-	-
14354	4	-	-	-
14355	-	4	-	-
14356	1 y 3	-	-	-
14357	4	-	-	-
14358	-	1	-	-
14359	1	-	-	-
14361	-	1	-	-
14363	1	-	-	-
14365	-	1	-	-
14366	4	-	-	-
14367	1	-	-	-
14368	-	7	-	-
14369	-	4	-	-

14370	-	-	7	-
14371	-	4	-	-
14372	-	4	-	-
14377	-	4	-	-
14378	1	-	-	-
14379	-	4	-	-
14380	-	-	4	-
14381	1	-	-	-
14382	1	-	-	-
14384	-	1	-	-
14394	1	-	-	-
14395	1 y 3	-	-	-
14397	1	-	-	-
14399	1	-	-	-
14615	1	-	-	-
14617	1 y 3	-	-	-
14774	4	-	-	-
14775	-	7	-	-
14776	-	-	4	-
14777	4	-	-	-
14778	1	-	-	-
14779	1	-	-	-
14780	1	-	-	-
14781	1	-	-	-
14782	1	-	-	-
14783	-	4	-	-
14784	1	-	-	-
14785	-	1	-	-
14786	1	-	-	-

14787	-	1	-	-
14788	1	-	-	-
14789	1 y 3	-	-	-
14790	1 y 3	-	-	-
14791	6	-	-	-
14792	-	4	-	-
14793	7	-	-	-
14794	1	-	-	-
14796	-	4	-	-
14797	1	-	-	-
14819	7	-	-	-
14851	-	-	4	-
14852	-	1	-	-
14854	1	-	-	-
14855	-	1	-	-
14856	-	-	4	-
14858	1	-	-	-
14860	1	-	-	-
14861	4	-	-	-
14862	-	1	-	-
14863	1	-	-	-
14864	-	-	4	-
14865	-	1	-	-
14866	-	4	-	-
14867	-	1	-	-
14868	-	1	-	-
14870	1	-	-	-
15180	1	-	-	-
15181	-	4	-	-

15182	-	6	-	-
15183	-	7	-	-
15184	-	1	-	-
15185	-	1	-	-
15186	4	-	-	-
15187	4 y 5	-	-	-
15188	-	-	4	-
15189	-	-	4	-
15190	-	-	4	-
15191	-	-	4	-
15192	-	1	-	-
15193	1	-	-	-
15195	1	-	-	-
15196	-	4	-	-
15197	-	4	-	-
15198	-	4	-	-
15200	-	4	-	-
15215	-	-	-	8
15222	-	6	-	-
15226	-	-	6	-
15414	-	-	6	-
22167	-	6	-	-
22543	-	-	4	-
22553	4	-	-	-
22731	-	-	4	-
22732	7	-	-	-
22934	-	-	4	-
22935	-	4	-	-
23557	-	6	-	-

23558	-	4	-	-
23559	-	-	6	-
23599	1	-	-	-
23859	-	7	-	-
24630	-	-	-	8
24708	-	4	-	-

TABLA 42. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 1.

PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 2

ID sección	año 1	año 2	año 3	año 4
	Actuación	Actuación	Actuación	Actuación
13977	-	4	-	-
14340	-	-	-	4
14341	-	-	-	7
14342	4	-	-	-
14345	-	-	4	-
14347	-	4	-	-
14348	-	4	-	-
14349	-	-	-	7
14350	-	-	4	-
14351	-	-	-	4
14352	-	-	-	4
14353	4 y 5	-	-	-
14354	4	-	-	-
14355	-	4	-	-
14356	-	-	-	4 y 5
14357	4	-	-	-
14358	-	-	-	4
14359	-	-	-	4
14361	-	-	-	4
14363	-	-	-	4
14365	-	-	-	4
14366	-	-	-	7
14367	-	-	4	-
14368	-	7	-	-
14369	-	4	-	-

14370	-	-	7	-
14371	-	4	-	-
14372	-	4	-	-
14377	-	4	-	-
14378	-	-	4	-
14379	-	4	-	-
14380	-	-	4	-
14381	-	-	-	4
14382	-	-	-	4
14384	-	-	-	4
14394	-	-	-	4
14395	1 y 3	-	-	-
14397	-	-	-	4
14399	-	-	4	-
14615	-	-	-	4
14617	1 y 3	-	-	-
14774	4	-	-	-
14775	-	7	-	-
14776	-	-	-	7
14777	4	-	-	-
14778	-	-	-	4
14779	-	-	-	4
14780	-	-	4	-
14781	-	-	-	4
14782	-	-	4	-
14783	-	4	-	-
14784	-	-	4	-
14785	-	-	-	4
14786	-	-	-	4

14787	-	-	-	4
14788	-	-	-	4
14789	1 y 3	-	-	-
14790	1 y 3	-	-	-
14791	-	-	-	7
14792	-	4	-	-
14793	7	-	-	-
14794	-	-	-	4
14796	-	4	-	-
14797	-	-	-	4
14819	7	-	-	-
14851	-	-	4	-
14852	-	-	-	4
14854	-	-	-	4
14855	-	-	-	4
14856	-	-	4	-
14858	-	-	-	4
14860	-	-	4	-
14861	4	-	-	-
14862	-	-	-	4
14863	-	-	4	-
14864	-	-	4	-
14865	-	-	-	4
14866	-	4	-	-
14867	-	-	-	4
14868	-	-	-	4
14870	-	-	-	4
15180	-	-	-	4
15181	-	4	-	-

15182	-	6	-	-
15183	-	7	-	-
15184	-	-	-	4
15185	-	-	-	4
15186	4	-	-	-
15187	4 y 5	-	-	-
15188	-	-	4	-
15189	-	-	4	-
15190	-	-	4	-
15191	-	-	4	-
15192	-	-	-	4
15193	-	-	-	4
15195	-	-	-	4
15196	-	-	-	7
15197	-	4	-	-
15198	-	4	-	-
15200	-	4	-	-
15215	-	-	-	8
15222	-	-	-	7
15226	-	-	6	-
15414	-	-	6	-
22167	-	6	-	-
22543	-	-	4	-
22553	-	-	-	7
22731	-	-	4	-
22732	7	-	-	-
22934	-	-	4	-
22935	-	-	-	7
23557	-	-	-	7

23558	-	4	-	-
23559	-	-	-	7
23599	-	-	-	4
23859	-	7	-	-
24630	-	-	-	8
24708	-	4	-	-

TABLA 43. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 2.

PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 3

ID sección	año 1	año 2	año 3	año 4
	Actuación	Actuación	Actuación	Actuación
13977	-	-	-	7
14340	-	-	-	4
14341	-	-	-	7
14342	-	-	-	8
14345	-	-	-	7
14347	-	-	-	7
14348	-	-	-	7
14349	-	-	-	7
14350	-	-	-	7
14351	-	-	-	4
14352	-	-	-	4
14353	-	-	-	7
14354	-	-	-	7
14355	-	-	-	7
14356	-	-	-	4 y 5
14357	-	-	-	7
14358	-	-	-	4
14359	-	-	-	4
14361	-	-	-	4
14363	-	-	-	4
14365	-	-	-	4
14366	-	-	-	7
14367	-	-	-	7
14368	-	-	-	8
14369	-	-	-	7

14370	-	-	-	8
14371	-	-	-	7
14372	-	-	-	7
14377	-	-	-	7
14378	-	-	-	7
14379	-	-	-	7
14380	-	-	-	7
14381	-	-	-	4
14382	-	-	-	4
14384	-	-	-	4
14394	-	-	-	4
14395	-	-	-	7
14397	-	-	-	4
14399	-	-	-	7
14615	-	-	-	4
14617	-	-	-	6
14774	-	-	-	7
14775	-	-	-	8
14776	-	-	-	7
14777	-	-	-	7
14778	-	-	-	4
14779	-	-	-	4
14780	-	-	-	7
14781	-	-	-	4
14782	-	-	-	7
14783	-	-	-	7
14784	-	-	-	7
14785	-	-	-	4
14786	-	-	-	4

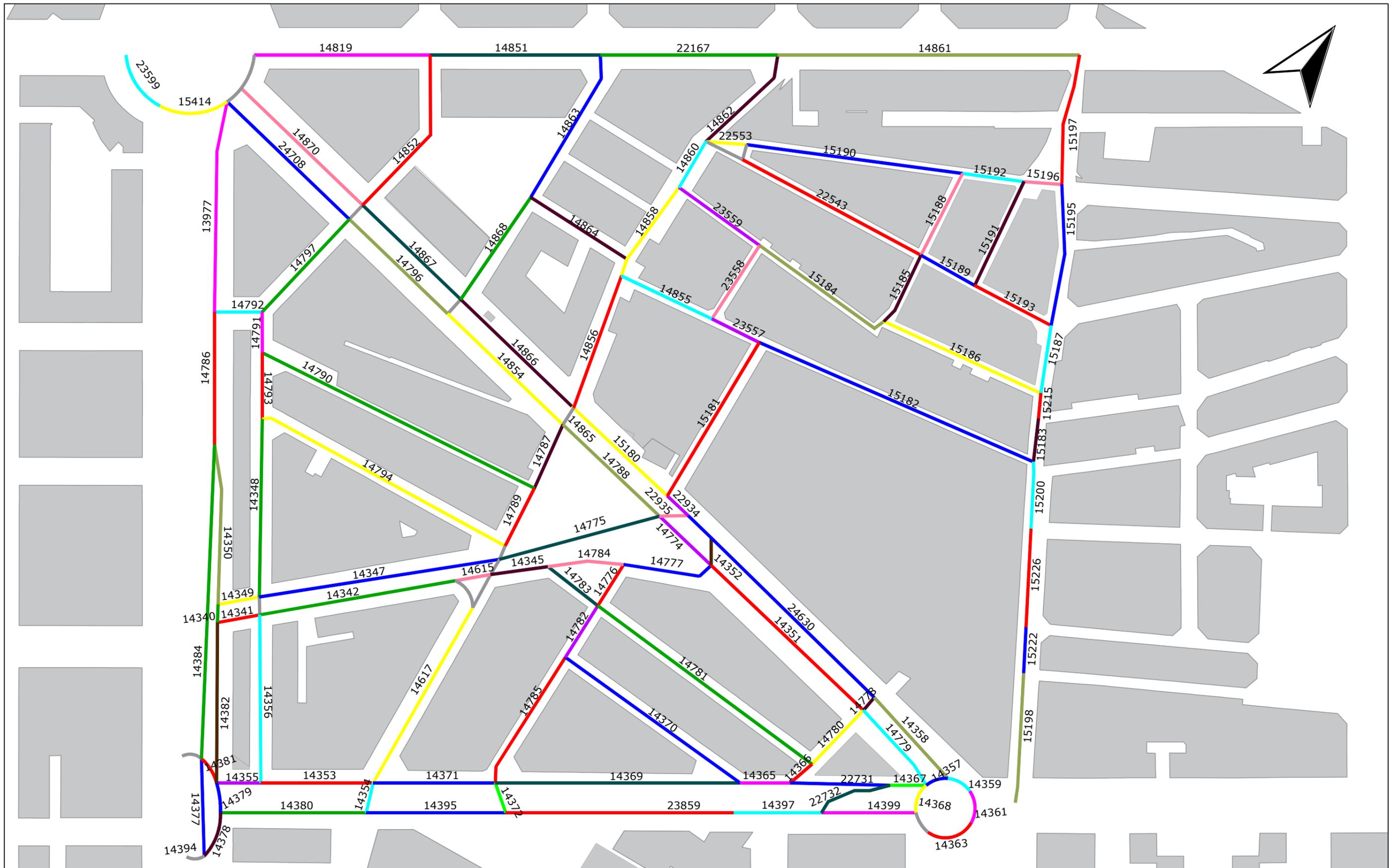
14787	-	-	-	4
14788	-	-	-	4
14789	-	-	-	6
14790	-	-	-	7
14791	-	-	-	7
14792	-	-	-	7
14793	-	-	-	8
14794	-	-	-	4
14796	-	-	-	7
14797	-	-	-	4
14819	-	-	-	8
14851	-	-	-	7
14852	-	-	-	4
14854	-	-	-	4
14855	-	-	-	4
14856	-	-	-	7
14858	-	-	-	4
14860	-	-	-	7
14861	-	-	-	7
14862	-	-	-	4
14863	-	-	-	7
14864	-	-	-	7
14865	-	-	-	4
14866	-	-	-	7
14867	-	-	-	4
14868	-	-	-	4
14870	-	-	-	4
15180	-	-	-	4
15181	-	-	-	7

15182	-	-	-	7
15183	-	-	-	8
15184	-	-	-	4
15185	-	-	-	4
15186	-	-	-	7
15187	-	-	-	8
15188	-	-	-	7
15189	-	-	-	7
15190	-	-	-	7
15191	-	-	-	7
15192	-	-	-	4
15193	-	-	-	4
15195	-	-	-	4
15196	-	-	-	7
15197	-	-	-	7
15198	-	-	-	7
15200	-	-	-	7
15215	-	-	-	8
15222	-	-	-	7
15226	-	-	-	7
15414	-	-	-	7
22167	-	-	-	7
22543	-	-	-	7
22553	-	-	-	7
22731	-	-	-	7
22732	-	-	-	8
22934	-	-	-	7
22935	-	-	-	7
23557	-	-	-	7

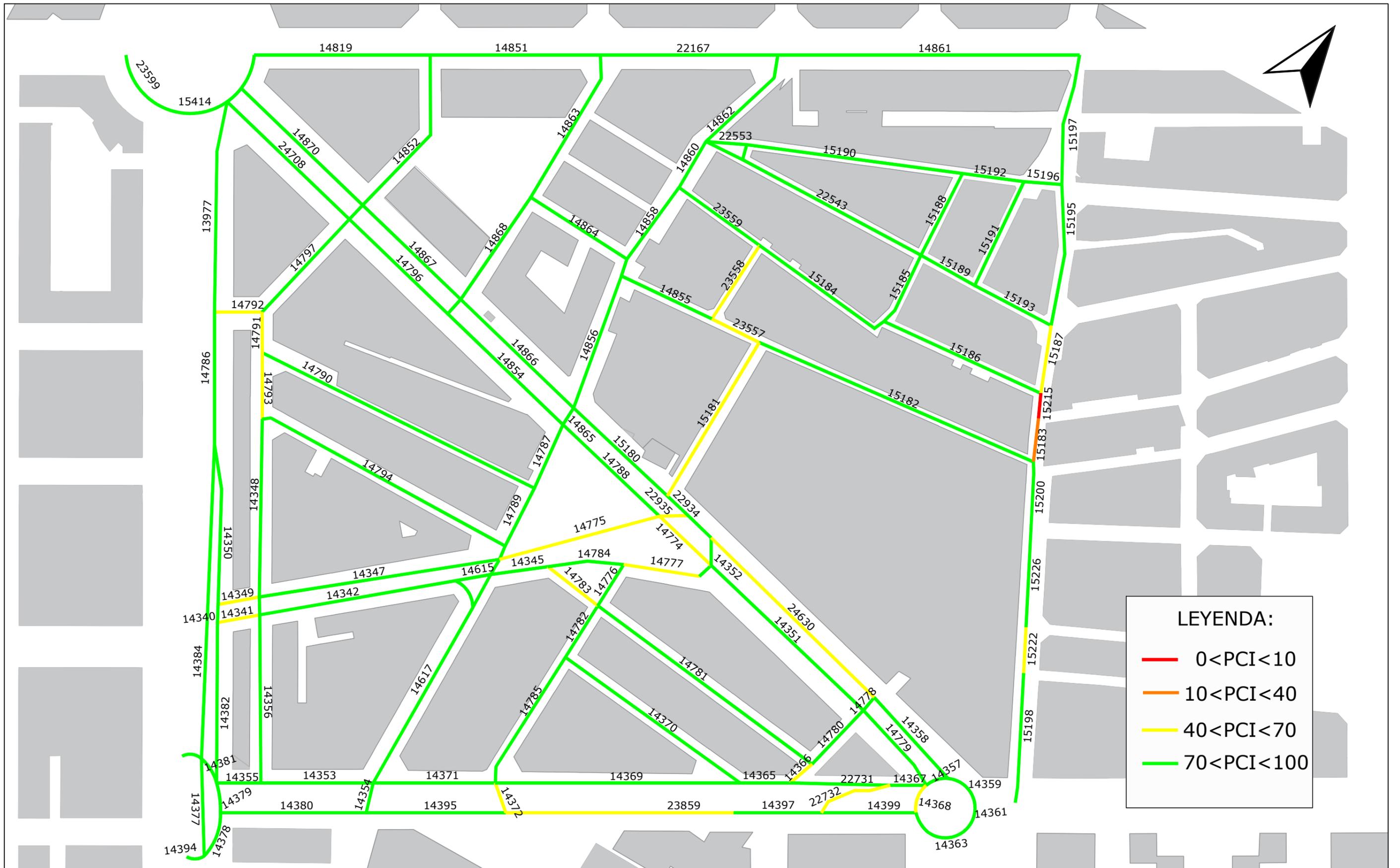
23558	-	-	-	7
23559	-	-	-	7
23599	-	-	-	4
23859	-	-	-	8
24630	-	-	-	8
24708	-	-	-	7

TABLA 44. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 3.

ANEXO III. PLANOS



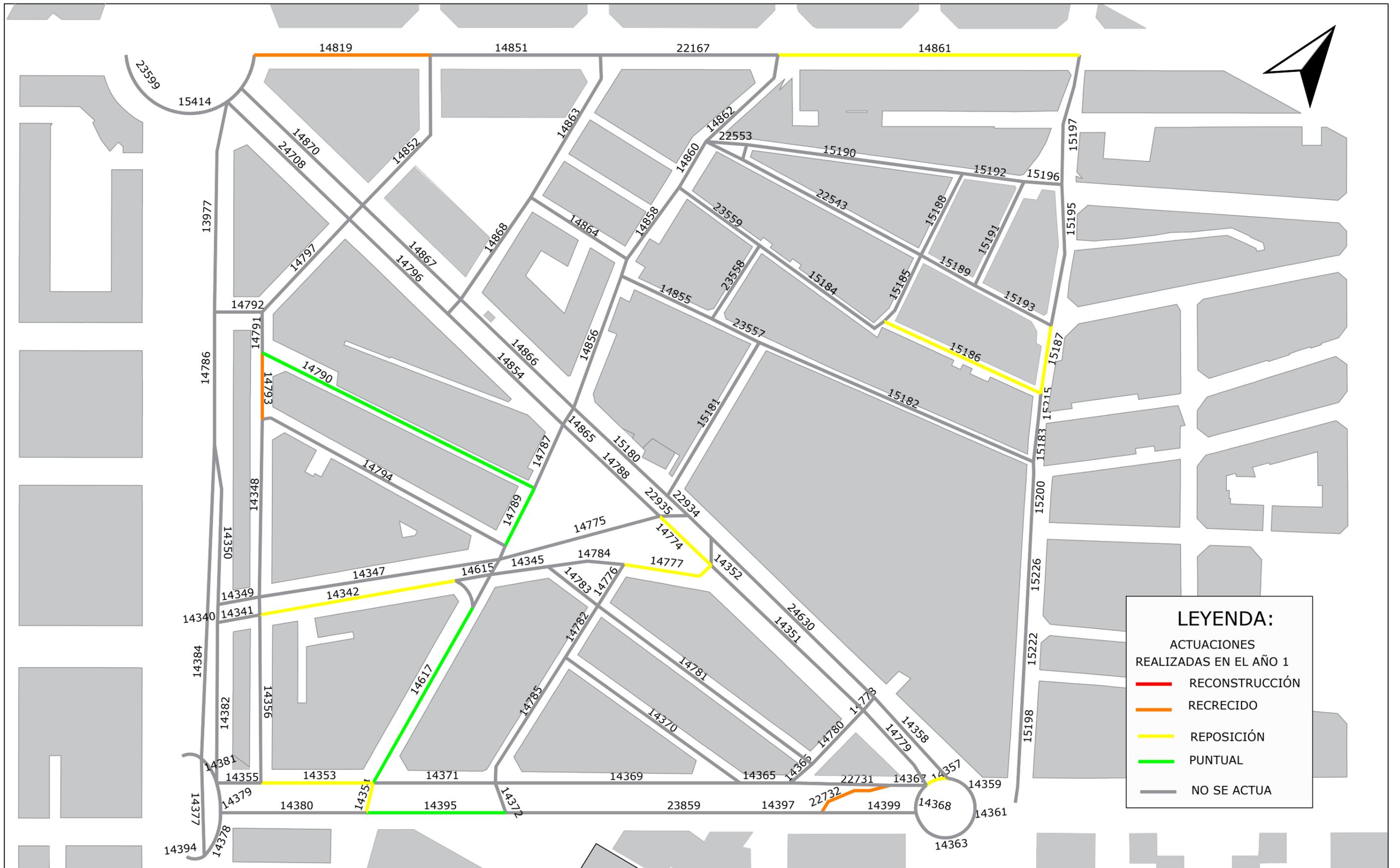
 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p> 	<p>AUTOR DEL TRABAJO:</p>  <p>JORGE GANDIA SORIANO</p>	<p>FECHA:</p> <p>JUNIO 2022</p>	<p>TÍTULO DEL TRABAJO:</p> <p>"Desarrollo de un sistema de gestión del mantenimiento predictivo de pavimentos urbanos: aplicación al barrio En Corts de la ciudad de València"</p>	<p>ESCALA:</p> <p>1/2500</p>	<p>TÍTULO DEL PLANO:</p> <p>Secciones de la red de En Corts identificadas por su ID</p>	<p>Nº DEL PLANO:</p> <p>1</p> <p>HOJA:</p> <p>1 DE 1</p>
--	---	---------------------------------	--	------------------------------	---	--



LEYENDA:

- 0 < PCI < 10
- 10 < PCI < 40
- 40 < PCI < 70
- 70 < PCI < 100

 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p> 	<p>AUTOR DEL TRABAJO:</p>  <p>JORGE GANDIA SORIANO</p>	<p>FECHA:</p> <p>JUNIO 2022</p>	<p>TÍTULO DEL TRABAJO:</p> <p>"Desarrollo de un sistema de gestión del mantenimiento predictivo de pavimentos urbanos: aplicación al barrio En Corts de la ciudad de València"</p>	<p>ESCALA:</p> <p>1/2500</p>	<p>TÍTULO DEL PLANO:</p> <p>Valores de PCI actuales en el barrio En Corts</p>	<p>Nº DEL PLANO:</p> <p>2</p> <p>HOJA:</p> <p>1 DE 1</p>
--	---	---------------------------------	--	------------------------------	---	--



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



AUTOR DEL TRABAJO:

JORGE GANDIA SORIANO

FECHA:

JUNIO 2022

TÍTULO DEL TRABAJO:

"Desarrollo de un sistema de gestión del mantenimiento predictivo de pavimentos urbanos: aplicación al barrio En Corts de la ciudad de València"

ESCALA:

1/2500

TÍTULO DEL PLANO:

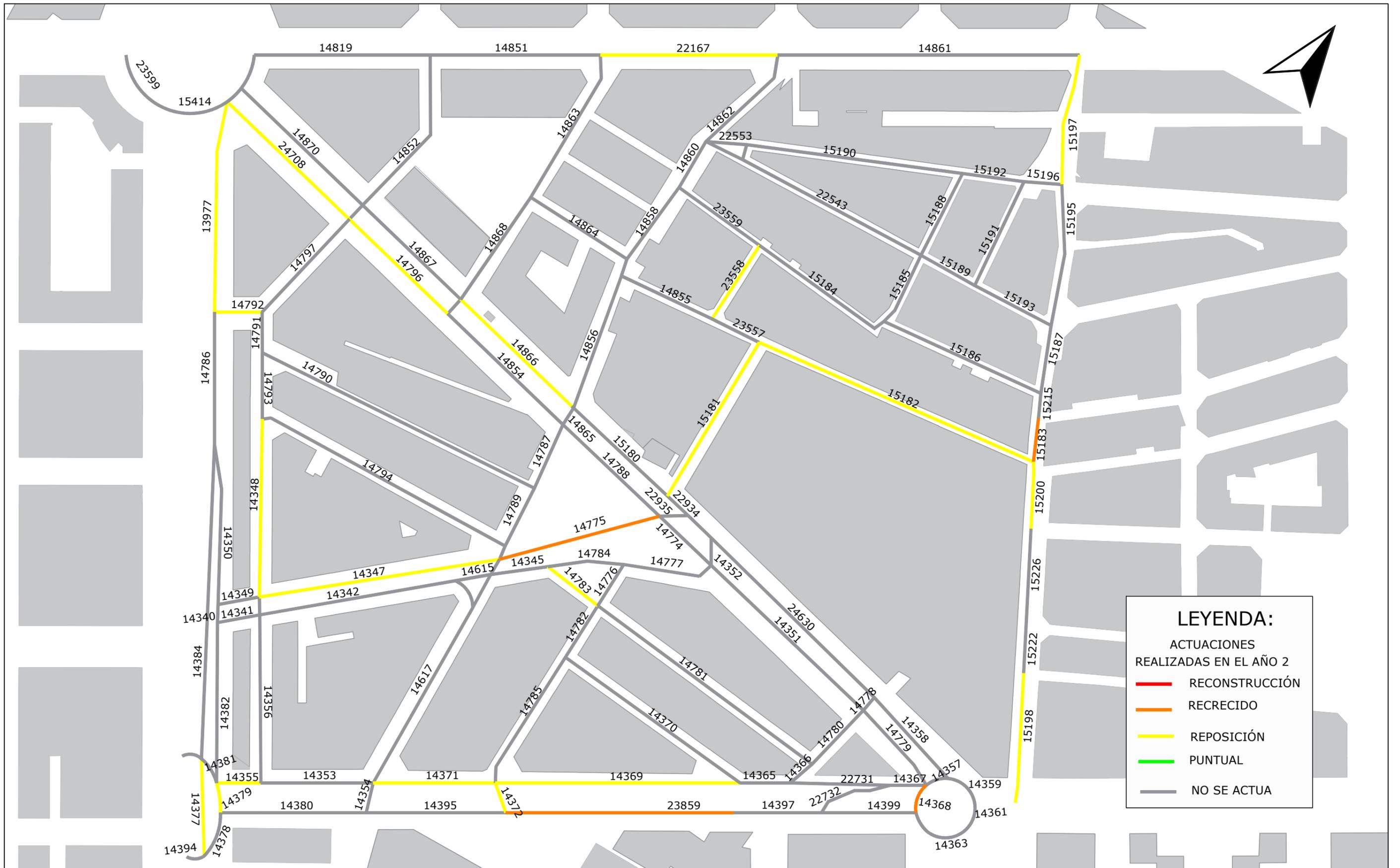
Actuaciones realizadas en cada sección del barrio En Corts por años

Nº DEL PLANO:

3

HOJA:

1 DE 4



AUTOR DEL TRABAJO:

JORGE GANDIA SORIANO

FECHA:

JUNIO 2022

TÍTULO DEL TRABAJO:

"Desarrollo de un sistema de gestión del mantenimiento predictivo de pavimentos urbanos: aplicación al barrio En Corts de la ciudad de València"

ESCALA:

1/2500

TÍTULO DEL PLANO:

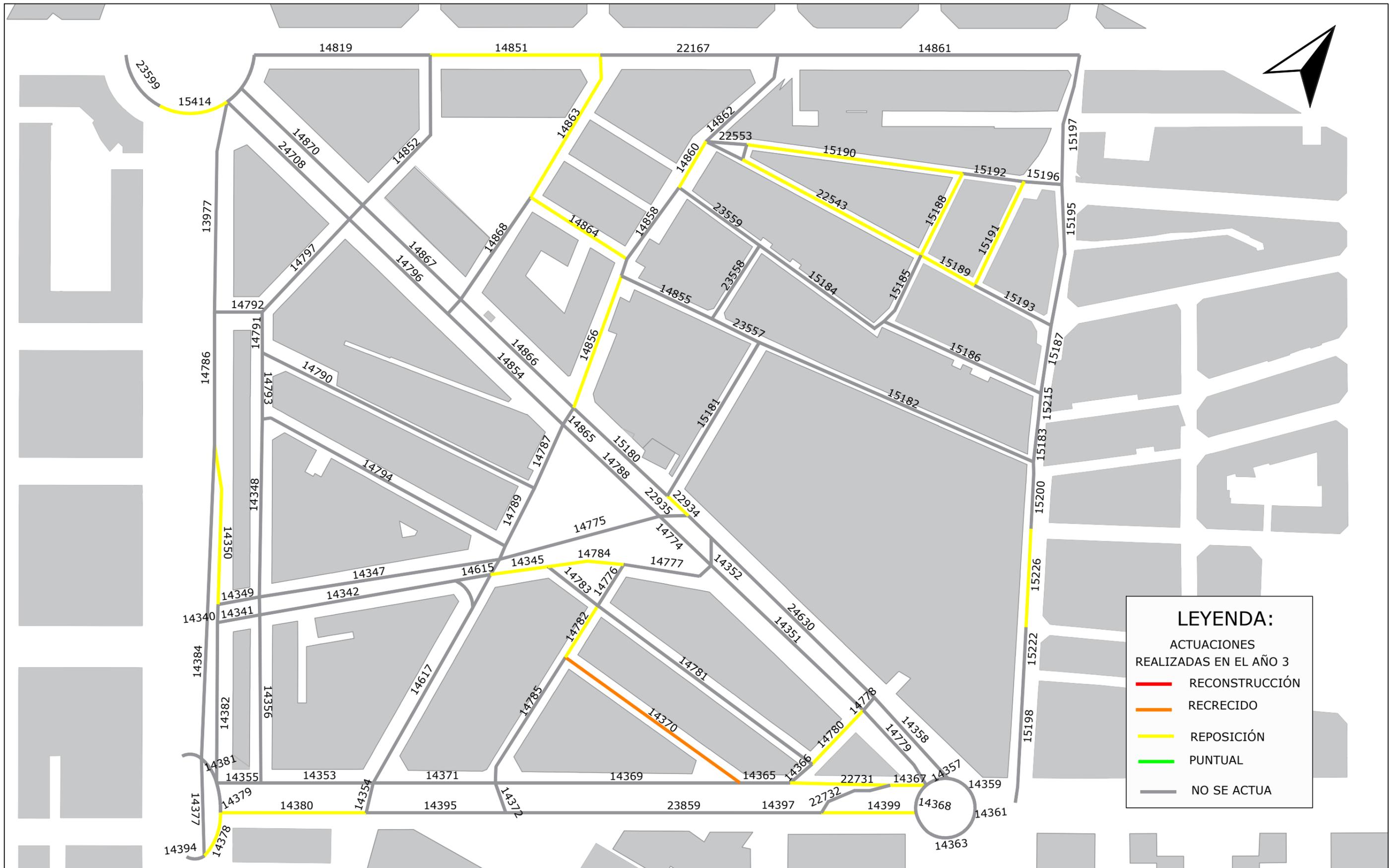
Actuaciones realizadas en cada sección del barrio En Corts por años

Nº DEL PLANO:

3

HOJA:

2 DE 4

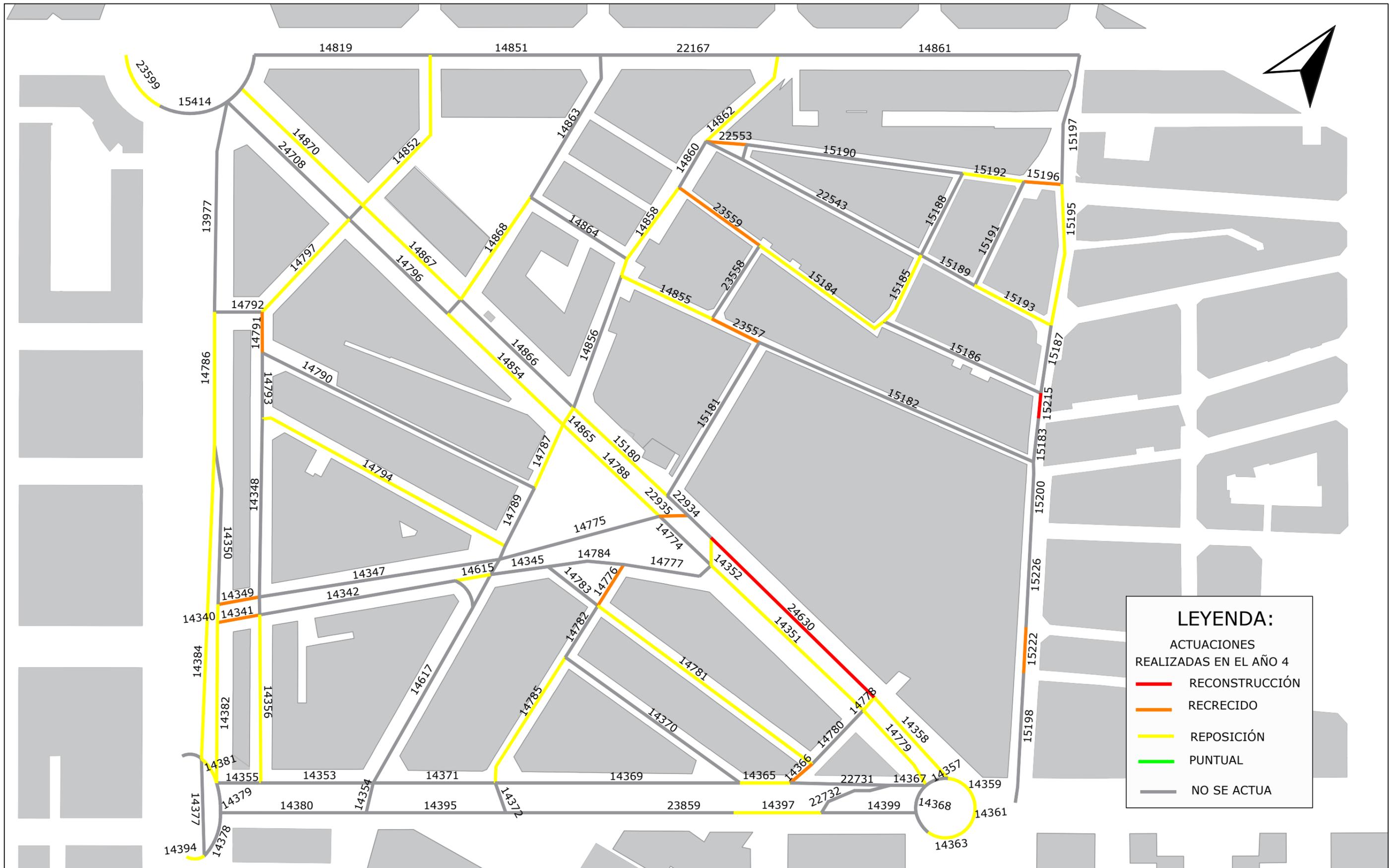


LEYENDA:

ACTUACIONES REALIZADAS EN EL AÑO 3

- RECONSTRUCCIÓN
- RECRECIDO
- REPOSICIÓN
- PUNTUAL
- NO SE ACTUA

 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p> 	<p>AUTOR DEL TRABAJO:</p>  <p>JORGE GANDIA SORIANO</p>	<p>FECHA:</p> <p>JUNIO 2022</p>	<p>TÍTULO DEL TRABAJO:</p> <p>"Desarrollo de un sistema de gestión del mantenimiento predictivo de pavimentos urbanos: aplicación al barrio En Corts de la ciudad de València"</p>	<p>ESCALA:</p> <p>1/2500</p>	<p>TÍTULO DEL PLANO:</p> <p>Actuaciones realizadas en cada sección del barrio En Corts por años</p>	<p>Nº DEL PLANO:</p> <p>3</p> <p>HOJA:</p> <p>3 DE 4</p>
--	---	---------------------------------	--	------------------------------	---	--



LEYENDA:

ACTUACIONES REALIZADAS EN EL AÑO 4

- RECONSTRUCCIÓN
- RECRECIDO
- REPOSICIÓN
- PUNTUAL
- NO SE ACTUA

 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p> 	<p>AUTOR DEL TRABAJO:</p>  <p>JORGE GANDIA SORIANO</p>	<p>FECHA:</p> <p>JUNIO 2022</p>	<p>TÍTULO DEL TRABAJO:</p> <p>"Desarrollo de un sistema de gestión del mantenimiento predictivo de pavimentos urbanos: aplicación al barrio En Corts de la ciudad de València"</p>	<p>ESCALA:</p> <p>1/2500</p>	<p>TÍTULO DEL PLANO:</p> <p>Actuaciones realizadas en cada sección del barrio En Corts por años</p>	<p>Nº DEL PLANO:</p> <p>3</p> <p>HOJA:</p> <p>4 DE 4</p>
--	---	---------------------------------	--	------------------------------	---	--

ANEXO IV. PRESUPUESTO

CUADRO DE PRECIOS UNITARIOS

02		EXPLANACIONES	
0202		DEMOLICIONES	
P020205	m ³	DEMOLICIÓN DE PAVIMENTO ASFÁLTICO	
		Demolición de firme o pavimento asfáltico incluso corte, desescombro, carga y transporte de material demolido a lugar de acopio.	18,87 €
P020206	m	CORTE DE PAVIMENTO	
		Corte en pavimento de hasta 15 cm de profundidad, con máquina cortadora.	1,62 €
P020208	m ²	FRESADO DE PAV. BITUMINOSOS/HORMIGÓN EN TAJO<50M2	
		Fresado de pavimento bituminoso, o de hormigón, para cualquier espesor, en tajo discontinuo menor de 50 m ² , incluso carga y transporte del material fresado a lugar de acopio.	3,97 €
P020210	m ²	FRESADO DE PAV. BITUMINOSOS/HORMIGÓN EN TAJO>50M2, 3cm<e<5cm	
		Fresado de pavimento bituminoso, o de hormigón, de espesor medio mayor de 3 cm. y menor o igual a 5 cm., en tajo mayor de 50 m ² , incluso carga y transporte del material fresado a lugar de acopio.	3,04 €
		Total 04.03	
0404		EMULSIONES BITUMINOSAS	
P040401	t	EMULSIÓN C60B ADH EN RIEGOS DE ADHERENCIA	320,09 €
		Emulsión tipo C60B ADH en riegos de adherencia, con índice de rotura entre 2 y 10 i/ el barrido y la preparación de la superficie, totalmente terminado.	
P040402	t	EMULSIÓN C60BP ADH, MOD. CON POLÍMEROS EN RIEGO DE ADHERENCIA	387,52 €
		Emulsión tipo C60BP ADH modificada con polímeros en riegos de adherencia, con índice de rotura entre 2 y 10, i/ el barrido y la preparación de la superficie, totalmente terminado.	
		Total 04.04	
0405		MEZCLAS BITUMINOSAS	
040501		FABRICACIÓN Y TRANSPORTE	
P04050107	t	AC 16/22 SURF S CALIZO EXCEPTO LIGANTE	19,81 €
		Fabricación de mezcla bituminosa en caliente, semicaliente o templada tipo AC 16 surf S o AC 22 surf S con árido calizo, excepto ligante	

		hidrocarbonado, incluso transporte a pie de obra.	
		Total 04.07	
0408		MEZCLAS ABIERTAS EN FRÍO	
P040801	t	MEZCLA BITUMINOSA ABIERTA EN FRÍO TIPO AF-12 PARA BACHEO	347,71 €
		Mezcla bituminosa abierta en frío tipo AF-12 con árido calizo, extendida y compactada en tajo discontinuo, suministro en envases, incluso ligante, activantes u otros aditivos y tratamiento de protección.	
		Total 04.09	
0410		TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	
P041003	m ²	BARRIDO MECÁNICO DE SUPERFICIE PAVIMENTADA	0,20 €
		Barrido mecánico de superficie pavimentada, incluso carga y transporte de materiales a vertedero.	
P041006	m	SELLADO DE JUNTAS EN CALIENTE	2,86 €
		Sellado de juntas y fisuras en caliente con material bituminoso elástico incluso saneo previo mediante agua a presión o soplado enérgico y p.p. de árido de cobertura.	
P041009	m ²	TRATAMIENTO SUPERFICIAL SLURRY COLOR	9,00 €
		Pavimento continuo tipo Slurry constituido por imprimación asfáltica (0,50 kg/m ²), una capa de slurry negro con dotación mínima de 2,5 kg/m ² aplicado con rastras de goma, totalmente terminado y nivelado.	
		Total 04.10	
0411		SANEO DE BLANDONES	
P041106	m ²	SANEO DE PAVIMENTO DETERIORADO	54,55 €
		Saneo de pavimento deteriorado, incluso corte de perímetro, arranque de pavimento, excavación, relleno con zahorra artificial y pavimentación con 10 cm de mezcla bituminosa en caliente de cualquier clase, para superficies menores a 50 m ² .	

TABLA 45. CUADRO DE PRECIOS.

COSTE DE LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 1

ID sección	año 1	año 2	año 3	año 4	TOTAL (€)
13977	0,00	2592,78	0,00	0,00	2592,78
14340	2023,45	0,00	0,00	0,00	2023,45
14341	2202,75	0,00	0,00	0,00	2202,75
14342	2330,02	0,00	0,00	0,00	2330,02
14345	0,00	0,00	2174,20	0,00	2174,20
14347	0,00	2361,84	0,00	0,00	2361,84
14348	0,00	2255,28	0,00	0,00	2255,28
14349	0,00	2343,48	0,00	0,00	2343,48
14350	2102,39	0,00	0,00	0,00	2102,39
14351	2064,92	0,00	0,00	0,00	2064,92
14352	2022,02	0,00	0,00	0,00	2022,02
14353	2163,78	0,00	0,00	0,00	2163,78
14354	2104,80	0,00	0,00	0,00	2104,80
14355	0,00	2189,51	0,00	0,00	2189,51
14356	2054,82	0,00	0,00	0,00	2054,82
14357	2338,29	0,00	0,00	0,00	2338,29
14358	0,00	2013,44	0,00	0,00	2013,44
14359	2011,44	0,00	0,00	0,00	2011,44
14361	0,00	2012,87	0,00	0,00	2012,87
14363	2003,72	0,00	0,00	0,00	2003,72
14365	0,00	2008,01	0,00	0,00	2008,01
14366	2097,93	0,00	0,00	0,00	2097,93
14367	2008,01	0,00	0,00	0,00	2008,01
14368	0,00	3944,46	0,00	0,00	3944,46
14369	0,00	2345,41	0,00	0,00	2345,41
14370	0,00	0,00	6347,35	0,00	6347,35
14371	0,00	2290,48	0,00	0,00	2290,48
14372	0,00	2195,01	0,00	0,00	2195,01
14377	0,00	2184,45	0,00	0,00	2184,45
14378	2011,44	0,00	0,00	0,00	2011,44
14379	0,00	2087,56	0,00	0,00	2087,56
14380	0,00	0,00	2173,11	0,00	2173,11
14381	2013,44	0,00	0,00	0,00	2013,44
14382	2011,15	0,00	0,00	0,00	2011,15
14384	0,00	2012,58	0,00	0,00	2012,58
14394	2016,87	0,00	0,00	0,00	2016,87
14395	2200,89	0,00	0,00	0,00	2200,89
14397	2031,46	0,00	0,00	0,00	2031,46
14399	2005,43	0,00	0,00	0,00	2005,43
14615	2000,57	0,00	0,00	0,00	2000,57
14617	2020,23	0,00	0,00	0,00	2020,23
14774	2204,42	0,00	0,00	0,00	2204,42
14775	0,00	4385,13	0,00	0,00	4385,13
14776	0,00	0,00	2031,98	0,00	2031,98

14777	2094,88	0,00	0,00	0,00	2094,88
14778	2001,43	0,00	0,00	0,00	2001,43
14779	2054,05	0,00	0,00	0,00	2054,05
14780	2056,34	0,00	0,00	0,00	2056,34
14781	2031,46	0,00	0,00	0,00	2031,46
14782	2037,18	0,00	0,00	0,00	2037,18
14783	0,00	2051,70	0,00	0,00	2051,70
14784	2086,66	0,00	0,00	0,00	2086,66
14785	0,00	2006,29	0,00	0,00	2006,29
14786	2020,59	0,00	0,00	0,00	2020,59
14787	0,00	2010,58	0,00	0,00	2010,58
14788	2018,59	0,00	0,00	0,00	2018,59
14789	2031,50	0,00	0,00	0,00	2031,50
14790	2249,05	0,00	0,00	0,00	2249,05
14791	1996,84	0,00	0,00	0,00	1996,84
14792	0,00	2061,50	0,00	0,00	2061,50
14793	2955,04	0,00	0,00	0,00	2955,04
14794	2018,30	0,00	0,00	0,00	2018,30
14796	0,00	2149,83	0,00	0,00	2149,83
14797	2047,76	0,00	0,00	0,00	2047,76
14819	10496,28	0,00	0,00	0,00	10496,28
14851	0,00	0,00	2225,82	0,00	2225,82
14852	0,00	2004,58	0,00	0,00	2004,58
14854	2002,00	0,00	0,00	0,00	2002,00
14855	0,00	2012,87	0,00	0,00	2012,87
14856	0,00	0,00	2130,22	0,00	2130,22
14858	2029,17	0,00	0,00	0,00	2029,17
14860	2057,49	0,00	0,00	0,00	2057,49
14861	2385,73	0,00	0,00	0,00	2385,73
14862	0,00	2012,87	0,00	0,00	2012,87
14863	2049,19	0,00	0,00	0,00	2049,19
14864	0,00	0,00	2094,72	0,00	2094,72
14865	0,00	2012,87	0,00	0,00	2012,87
14866	0,00	2221,96	0,00	0,00	2221,96
14867	0,00	2012,87	0,00	0,00	2012,87
14868	0,00	2012,87	0,00	0,00	2012,87
14870	2051,19	0,00	0,00	0,00	2051,19
15180	2020,31	0,00	0,00	0,00	2020,31
15181	0,00	2182,15	0,00	0,00	2182,15
15182	0,00	4972,12	0,00	0,00	4972,12
15183	0,00	2447,85	0,00	0,00	2447,85
15184	0,00	2001,43	0,00	0,00	2001,43
15185	0,00	2002,00	0,00	0,00	2002,00
15186	2156,81	0,00	0,00	0,00	2156,81
15187	2167,83	0,00	0,00	0,00	2167,83
15188	0,00	0,00	2059,86	0,00	2059,86
15189	0,00	0,00	2045,47	0,00	2045,47
15190	0,00	0,00	2357,31	0,00	2357,31

15191	0,00	0,00	2082,78	0,00	2082,78
15192	0,00	2012,87	0,00	0,00	2012,87
15193	2015,73	0,00	0,00	0,00	2015,73
15195	2028,31	0,00	0,00	0,00	2028,31
15196	0,00	2107,24	0,00	0,00	2107,24
15197	0,00	2202,77	0,00	0,00	2202,77
15198	0,00	2170,39	0,00	0,00	2170,39
15200	0,00	2153,11	0,00	0,00	2153,11
15215	0,00	0,00	0,00	4999,09	4999,09
15222	0,00	2973,20	0,00	0,00	2973,20
15226	0,00	0,00	4486,84	0,00	4486,84
15414	0,00	0,00	7502,56	0,00	7502,56
22167	0,00	7762,53	0,00	0,00	7762,53
22543	0,00	0,00	2227,86	0,00	2227,86
22553	2227,35	0,00	0,00	0,00	2227,35
22731	0,00	0,00	2230,83	0,00	2230,83
22732	3287,62	0,00	0,00	0,00	3287,62
22934	0,00	0,00	2047,14	0,00	2047,14
22935	0,00	2081,24	0,00	0,00	2081,24
23557	0,00	2141,27	0,00	0,00	2141,27
23558	0,00	2045,53	0,00	0,00	2045,53
23559	0,00	0,00	2551,46	0,00	2551,46
23599	2012,87	0,00	0,00	0,00	2012,87
23859	0,00	15601,38	0,00	0,00	15601,38
24630	0,00	0,00	0,00	74416,60	74416,60
24708	0,00	2160,54	0,00	0,00	2160,54
TOTAL (€)	122731,81	122810,73	48769,51	79415,70	373727,74

TABLA 46. COSTE DE LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 1.

COSTE DE LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 2

ID sección	año 1	año 2	año 3	año 4	TOTAL (€)
13977	0,00	2592,78	0,00	0,00	2592,78
14340	0,00	0,00	0,00	2041,86	2041,86
14341	0,00	0,00	0,00	2672,34	2672,34
14342	2330,02	0,00	0,00	0,00	2330,02
14345	0,00	0,00	2174,20	0,00	2174,20
14347	0,00	2361,84	0,00	0,00	2361,84
14348	0,00	2255,28	0,00	0,00	2255,28
14349	0,00	0,00	0,00	2713,92	2713,92
14350	0,00	0,00	2167,05	0,00	2167,05
14351	0,00	0,00	0,00	2248,01	2248,01
14352	0,00	0,00	0,00	2039,31	2039,31
14353	2163,78	0,00	0,00	0,00	2163,78
14354	2104,80	0,00	0,00	0,00	2104,80
14355	0,00	2189,51	0,00	0,00	2189,51
14356	0,00	0,00	0,00	2121,76	2121,76
14357	2338,29	0,00	0,00	0,00	2338,29
14358	0,00	0,00	0,00	2144,68	2144,68
14359	0,00	0,00	0,00	2043,13	2043,13
14361	0,00	0,00	0,00	2058,16	2058,16
14363	0,00	0,00	0,00	2058,45	2058,45
14365	0,00	0,00	0,00	2042,42	2042,42
14366	0,00	0,00	0,00	2323,13	2323,13
14367	0,00	0,00	2056,66	0,00	2056,66
14368	0,00	3944,46	0,00	0,00	3944,46
14369	0,00	2345,41	0,00	0,00	2345,41
14370	0,00	0,00	6347,35	0,00	6347,35
14371	0,00	2290,48	0,00	0,00	2290,48
14372	0,00	2195,01	0,00	0,00	2195,01
14377	0,00	2184,45	0,00	0,00	2184,45
14378	0,00	0,00	2063,93	0,00	2063,93
14379	0,00	2087,56	0,00	0,00	2087,56
14380	0,00	0,00	2173,11	0,00	2173,11
14381	0,00	0,00	0,00	2037,77	2037,77
14382	0,00	0,00	0,00	2089,10	2089,10
14384	0,00	0,00	0,00	2391,89	2391,89
14394	0,00	0,00	0,00	2073,85	2073,85
14395	2200,89	0,00	0,00	0,00	2200,89
14397	0,00	0,00	0,00	2088,44	2088,44
14399	0,00	0,00	2104,34	0,00	2104,34
14615	0,00	0,00	0,00	2015,94	2015,94
14617	2020,23	0,00	0,00	0,00	2020,23
14774	2204,42	0,00	0,00	0,00	2204,42
14775	0,00	4385,13	0,00	0,00	4385,13
14776	0,00	0,00	0,00	2522,68	2522,68

14777	2094,88	0,00	0,00	0,00	2094,88
14778	0,00	0,00	0,00	2027,84	2027,84
14779	0,00	0,00	0,00	2136,96	2136,96
14780	0,00	0,00	2082,75	0,00	2082,75
14781	0,00	0,00	0,00	2153,57	2153,57
14782	0,00	0,00	2063,75	0,00	2063,75
14783	0,00	2051,70	0,00	0,00	2051,70
14784	0,00	0,00	2118,67	0,00	2118,67
14785	0,00	0,00	0,00	2071,11	2071,11
14786	0,00	0,00	0,00	2283,07	2283,07
14787	0,00	0,00	0,00	2048,35	2048,35
14788	0,00	0,00	0,00	2140,22	2140,22
14789	2031,50	0,00	0,00	0,00	2031,50
14790	2249,05	0,00	0,00	0,00	2249,05
14791	0,00	0,00	0,00	2215,05	2215,05
14792	0,00	2061,50	0,00	0,00	2061,50
14793	2955,04	0,00	0,00	0,00	2955,04
14794	0,00	0,00	0,00	2138,02	2138,02
14796	0,00	2149,83	0,00	0,00	2149,83
14797	0,00	0,00	0,00	2094,18	2094,18
14819	10496,28	0,00	0,00	0,00	10496,28
14851	0,00	0,00	2225,82	0,00	2225,82
14852	0,00	0,00	0,00	2072,92	2072,92
14854	0,00	0,00	0,00	2145,08	2145,08
14855	0,00	0,00	0,00	2043,92	2043,92
14856	0,00	0,00	2130,22	0,00	2130,22
14858	0,00	0,00	0,00	2090,47	2090,47
14860	0,00	0,00	2097,02	0,00	2097,02
14861	2385,73	0,00	0,00	0,00	2385,73
14862	0,00	0,00	0,00	2066,97	2066,97
14863	0,00	0,00	2121,21	0,00	2121,21
14864	0,00	0,00	2094,72	0,00	2094,72
14865	0,00	0,00	0,00	2049,04	2049,04
14866	0,00	2221,96	0,00	0,00	2221,96
14867	0,00	0,00	0,00	2140,75	2140,75
14868	0,00	0,00	0,00	2064,56	2064,56
14870	0,00	0,00	0,00	2218,76	2218,76
15180	0,00	0,00	0,00	2145,78	2145,78
15181	0,00	2182,15	0,00	0,00	2182,15
15182	0,00	4972,12	0,00	0,00	4972,12
15183	0,00	2447,85	0,00	0,00	2447,85
15184	0,00	0,00	0,00	2050,88	2050,88
15185	0,00	0,00	0,00	2033,37	2033,37
15186	2156,81	0,00	0,00	0,00	2156,81
15187	2167,83	0,00	0,00	0,00	2167,83
15188	0,00	0,00	2059,86	0,00	2059,86
15189	0,00	0,00	2045,47	0,00	2045,47
15190	0,00	0,00	2357,31	0,00	2357,31

15191	0,00	0,00	2082,78	0,00	2082,78
15192	0,00	0,00	0,00	2040,08	2040,08
15193	0,00	0,00	0,00	2051,74	2051,74
15195	0,00	0,00	0,00	2120,82	2120,82
15196	0,00	0,00	0,00	2539,31	2539,31
15197	0,00	2202,77	0,00	0,00	2202,77
15198	0,00	2170,39	0,00	0,00	2170,39
15200	0,00	2153,11	0,00	0,00	2153,11
15215	0,00	0,00	0,00	4999,09	4999,09
15222	0,00	0,00	0,00	3620,19	3620,19
15226	0,00	0,00	4486,84	0,00	4486,84
15414	0,00	0,00	7502,56	0,00	7502,56
22167	0,00	7762,53	0,00	0,00	7762,53
22543	0,00	0,00	2227,86	0,00	2227,86
22553	0,00	0,00	0,00	2747,17	2747,17
22731	0,00	0,00	2230,83	0,00	2230,83
22732	3287,62	0,00	0,00	0,00	3287,62
22934	0,00	0,00	2047,14	0,00	2047,14
22935	0,00	0,00	0,00	2555,94	2555,94
23557	0,00	0,00	0,00	2422,91	2422,91
23558	0,00	2045,53	0,00	0,00	2045,53
23559	0,00	0,00	0,00	3013,24	3013,24
23599	0,00	0,00	0,00	2165,39	2165,39
23859	0,00	15601,38	0,00	0,00	15601,38
24630	0,00	0,00	0,00	74416,60	74416,60
24708	0,00	2160,54	0,00	0,00	2160,54
TOTAL (€)	45187,16	81015,29	63061,44	192850,18	382114,08

TABLA 47. COSTE DE LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 2.

COSTE DE LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 3

ID sección	año 1	año 2	año 3	año 4	TOTAL (€)
13977	0,00	0,00	0,00	26634,70	26634,70
14340	0,00	0,00	0,00	2041,86	2041,86
14341	0,00	0,00	0,00	2672,34	2672,34
14342	0,00	0,00	0,00	35983,01	35983,01
14345	0,00	0,00	0,00	3046,50	3046,50
14347	0,00	0,00	0,00	7594,52	7594,52
14348	0,00	0,00	0,00	4792,54	4792,54
14349	0,00	0,00	0,00	2713,92	2713,92
14350	0,00	0,00	0,00	4859,05	4859,05
14351	0,00	0,00	0,00	2248,01	2248,01
14352	0,00	0,00	0,00	2039,31	2039,31
14353	0,00	0,00	0,00	5981,51	5981,51
14354	0,00	0,00	0,00	4418,39	4418,39
14355	0,00	0,00	0,00	3470,53	3470,53
14356	0,00	0,00	0,00	2121,76	2121,76
14357	0,00	0,00	0,00	4127,38	4127,38
14358	0,00	0,00	0,00	2144,68	2144,68
14359	0,00	0,00	0,00	2043,13	2043,13
14361	0,00	0,00	0,00	2058,16	2058,16
14363	0,00	0,00	0,00	2058,45	2058,45
14365	0,00	0,00	0,00	2042,42	2042,42
14366	0,00	0,00	0,00	2323,13	2323,13
14367	0,00	0,00	0,00	4027,60	4027,60
14368	0,00	0,00	0,00	18092,48	18092,48
14369	0,00	0,00	0,00	14645,21	14645,21
14370	0,00	0,00	0,00	34402,77	34402,77
14371	0,00	0,00	0,00	7868,90	7868,90
14372	0,00	0,00	0,00	3503,79	3503,79
14377	0,00	0,00	0,00	8467,54	8467,54
14378	0,00	0,00	0,00	4227,15	4227,15
14379	0,00	0,00	0,00	2988,29	2988,29
14380	0,00	0,00	0,00	8725,29	8725,29
14381	0,00	0,00	0,00	2037,77	2037,77
14382	0,00	0,00	0,00	2089,10	2089,10
14384	0,00	0,00	0,00	2391,89	2391,89
14394	0,00	0,00	0,00	2073,85	2073,85
14395	0,00	0,00	0,00	8608,89	8608,89
14397	0,00	0,00	0,00	2088,44	2088,44
14399	0,00	0,00	0,00	6638,35	6638,35
14615	0,00	0,00	0,00	2015,94	2015,94
14617	0,00	0,00	0,00	7421,68	7421,68
14774	0,00	0,00	0,00	4393,44	4393,44
14775	0,00	0,00	0,00	21083,64	21083,64
14776	0,00	0,00	0,00	2522,68	2522,68

14777	0,00	0,00	0,00	3279,30	3279,30
14778	0,00	0,00	0,00	2027,84	2027,84
14779	0,00	0,00	0,00	2136,96	2136,96
14780	0,00	0,00	0,00	2871,89	2871,89
14781	0,00	0,00	0,00	2153,57	2153,57
14782	0,00	0,00	0,00	2880,21	2880,21
14783	0,00	0,00	0,00	3071,44	3071,44
14784	0,00	0,00	0,00	3162,90	3162,90
14785	0,00	0,00	0,00	2071,11	2071,11
14786	0,00	0,00	0,00	2283,07	2283,07
14787	0,00	0,00	0,00	2048,35	2048,35
14788	0,00	0,00	0,00	2140,22	2140,22
14789	0,00	0,00	0,00	3111,85	3111,85
14790	0,00	0,00	0,00	6164,43	6164,43
14791	0,00	0,00	0,00	2215,05	2215,05
14792	0,00	0,00	0,00	2688,97	2688,97
14793	0,00	0,00	0,00	11376,48	11376,48
14794	0,00	0,00	0,00	2138,02	2138,02
14796	0,00	0,00	0,00	8110,02	8110,02
14797	0,00	0,00	0,00	2094,18	2094,18
14819	0,00	0,00	0,00	62564,83	62564,83
14851	0,00	0,00	0,00	9531,80	9531,80
14852	0,00	0,00	0,00	2072,92	2072,92
14854	0,00	0,00	0,00	2145,08	2145,08
14855	0,00	0,00	0,00	2043,92	2043,92
14856	0,00	0,00	0,00	5590,73	5590,73
14858	0,00	0,00	0,00	2090,47	2090,47
14860	0,00	0,00	0,00	3553,68	3553,68
14861	0,00	0,00	0,00	15551,49	15551,49
14862	0,00	0,00	0,00	2066,97	2066,97
14863	0,00	0,00	0,00	5241,52	5241,52
14864	0,00	0,00	0,00	3686,71	3686,71
14865	0,00	0,00	0,00	2049,04	2049,04
14866	0,00	0,00	0,00	8559,00	8559,00
14867	0,00	0,00	0,00	2140,75	2140,75
14868	0,00	0,00	0,00	2064,56	2064,56
14870	0,00	0,00	0,00	2218,76	2218,76
15180	0,00	0,00	0,00	2145,78	2145,78
15181	0,00	0,00	0,00	4484,90	4484,90
15182	0,00	0,00	0,00	6497,01	6497,01
15183	0,00	0,00	0,00	7933,82	7933,82
15184	0,00	0,00	0,00	2050,88	2050,88
15185	0,00	0,00	0,00	2033,37	2033,37
15186	0,00	0,00	0,00	4401,76	4401,76
15187	0,00	0,00	0,00	12279,47	12279,47
15188	0,00	0,00	0,00	3495,48	3495,48
15189	0,00	0,00	0,00	2822,00	2822,00
15190	0,00	0,00	0,00	6081,28	6081,28

15191	0,00	0,00	0,00	3794,80	3794,80
15192	0,00	0,00	0,00	2040,08	2040,08
15193	0,00	0,00	0,00	2051,74	2051,74
15195	0,00	0,00	0,00	2120,82	2120,82
15196	0,00	0,00	0,00	2539,31	2539,31
15197	0,00	0,00	0,00	6937,68	6937,68
15198	0,00	0,00	0,00	6979,25	6979,25
15200	0,00	0,00	0,00	4060,86	4060,86
15215	0,00	0,00	0,00	4999,09	4999,09
15222	0,00	0,00	0,00	3620,19	3620,19
15226	0,00	0,00	0,00	5798,59	5798,59
15414	0,00	0,00	0,00	10138,76	10138,76
22167	0,00	0,00	0,00	10512,91	10512,91
22543	0,00	0,00	0,00	5715,45	5715,45
22553	0,00	0,00	0,00	2747,17	2747,17
22731	0,00	0,00	0,00	6746,44	6746,44
22732	0,00	0,00	0,00	13633,96	13633,96
22934	0,00	0,00	0,00	3221,10	3221,10
22935	0,00	0,00	0,00	2555,94	2555,94
23557	0,00	0,00	0,00	2422,91	2422,91
23558	0,00	0,00	0,00	3063,12	3063,12
23559	0,00	0,00	0,00	3013,24	3013,24
23599	0,00	0,00	0,00	2165,39	2165,39
23859	0,00	0,00	0,00	97217,15	97217,15
24630	0,00	0,00	0,00	74416,60	74416,60
24708	0,00	0,00	0,00	7893,84	7893,84
TOTAL (€)	0,00	0,00	0,00	843560,21	843560,21

TABLA 48. COSTE DE LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO 3.

ANEXO V. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) constituyen un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo. En 2015, todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas aprobaron 17 Objetivos como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en la cual se establece un plan para alcanzar los Objetivos en 15 años.

La Tabla 49 expone la relación del TFG “Desarrollo de un sistema de gestión del mantenimiento predictivo de pavimentos urbanos: aplicación al barrio En Cortes de la ciudad de Valencia” con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

TABLA 49. GRADO DE RELACIÓN DEL TFG CON LOS 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.				

A continuación, se ha realizado una descripción de la alineación del TFG con los ODS con un grado de relación más alto:

ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico. El sistema de gestión del mantenimiento propuesto en este trabajo es capaz de aportar información suficiente a los técnicos gestores de la red en la toma de decisiones con el fin de establecer la planificación de mantenimiento óptima de una red viaria urbana. Además, la prueba realizada en el barrio En Corts de la ciudad de Valencia muestra la posibilidad de su aplicación inmediata por parte de las administraciones, empresas privadas y profesionales encargados de la gestión del mantenimiento de redes viarias urbanas.

ODS 9: Industrias, innovación e infraestructuras. Se trata de un trabajo con una apuesta innovadora y emprendedora tanto por el propio desarrollo del sistema de gestión como por el marco de trabajo donde se engloba. El trabajo se ha realizado en el marco de prácticas en empresa con título “Mantenimiento predictivo de vías urbanas mediante técnicas de inteligencia artificial” en la Cátedra entre la empresa TORRESCAMARA y la Universidad Politécnica de Valencia.

ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles. El desarrollo del sistema de gestión del mantenimiento supone una gran ventaja para todos los agentes que intervienen en este tipo de procesos, así como para la sociedad en su totalidad debido a su enfoque sostenible en busca de ciudades resilientes e inclusivas.

ODS 12: Producción y consumo responsables. La mejora en la gestión eficiente del mantenimiento de los pavimentos urbanos supone una importante reducción tanto en las emisiones de gases de efecto invernadero como en los recursos materiales empleados durante las actuaciones de mantenimiento. Además, una mala planificación del mantenimiento de los pavimentos urbanos provoca un aumento en el consumo energético de los vehículos, disminuyendo notablemente su vida útil.

ODS 13: Acción por el clima. Entre los criterios que se han analizado en el desarrollo del sistema de gestión propuesto se encuentran las características y variables climáticas que influyen en el deterioro del pavimento. La mejora en la gestión eficiente del mantenimiento de los pavimentos urbanos también afecta de manera directa a los efectos del cambio climático.