

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela técnica superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos



Mejora de la gestión del mantenimiento de pavimentos urbanos en la ciudad de Valencia a través de la predicción de su deterioro.

Trabajo de Fin de Máster:

Titulación: Máster en Planificación y Gestión en Ingeniería Civil

Autor:

Alexis Iván Andrade Valle

Tutor y Cotutor:

Tatiana García Segura

Laura Montalbán Domingo

Curso: 2017-2018

Fecha: Noviembre 2018

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios que me ha brindado la salud y la vida para poder realizar el presente trabajo de investigación. Quiero también agradecer a mi familia por brindarme todo el apoyo y las fuerzas necesarias para realizar mis estudios en la Universidad Politécnica de Valencia la cual me abrió las puertas e hizo que yo pudiera adquirir mayor conocimiento y tener mayor criterio como profesional.

Un agradecimiento especial a mis tutoras Tatiana García Segura y Laura Montalbán Domingo por ser grandes guías para la elaboración del trabajo, gracias por su paciencia y comprensión. Sin su asesoramiento esto no hubiera sido posible, me han permitido tener una experiencia enriquecedora y así también crecer como persona y como profesional.

Contenido

<i>Introducción</i>	17
1. Capítulo I.....	18
1.1. Antecedentes	18
1.2. Alcance	19
1.3. Planteamiento del problema	19
<i>Evaluación de vías urbanas en la ciudad de Valencia</i>	21
2.1. La ciudad de Valencia.....	22
3. Análisis de la situación actual en la gestión del mantenimiento de pavimentos urbanos	23
4. Revisión de los Métodos de Evaluación de la Condición.....	26
4.1. PCI (Índice de Condición del Pavimento)	29
4.2. PAVER.....	33
4.3. PASER	34
4.4. VIZIR	35
5. Revisión de los Métodos de Predicción de la Condición	36
6. Planteamiento de la Metodología.....	42
<i>Método de Evaluación</i>	46
7. Método de Evaluación de la Condición basado en el PCI	47
7.1. Definición del Método	47
7.2. Aplicación del Método a la Ciudad de Valencia.....	47
7.3. Análisis de los datos y discusión de los resultados	51
7.4. Desarrollo del modelo.....	52
7.4.1. Categorización de Vías.....	53
7.4.2. Calculo de Valores para PCI Teórico en el tiempo	54
7.4.3. Ecuación teórica para la predicción del deterioro en vías de la ciudad de valencia.	57
7.4.4. Curvas de deterioro teóricas.....	58
7.4.5. Calculo de la edad de pavimento de los datos obtenidos según Google Earth.....	66
7.4.6. Ajuste cuadrático de Curvas de deterioro de Google Earth	68
7.5. Aplicación del Modelo de Predicción a la ciudad de Valencia	71
7.6. Análisis de resultados y discusión de resultados	72
7.6.1. Ecuación de Google Earth para la predicción del deterioro en vías de la ciudad de Valencia. 72	
8. Validación del método.....	74
8.1. Resultados In Situ.....	74
8.2. Comparación de Valores Teóricos y Modelo de Google Earth respecto a los datos reales tomados In Situ 2018.....	74

8.3.	Estado actual de las vías en la Ciudad de Valencia, a junio de 2018	75
10.	Referencias.....	77
	80
	<i>ANEXOS</i>	80

Índice de Ilustraciones

IMAGEN 1. UBICACIÓN DE LA CIUDAD DE VALENCIA. (ALVAREZ, 2009)	22
IMAGEN 2. CRONOLOGÍA EN LA HISTORIA DE LOS PAVIMENTOS URBANOS DE VALENCIA. (BORJA GUAITA & SERRA SANTAMARIA, 2016)	23
IMAGEN 3. CONDICIÓN DEL PAVIMENTO REPRESENTADA DURANTE LOS AÑOS DE VIDA ÚTIL DE UNA VÍA. (TORRES-MACHI, 2015)	25
IMAGEN 4. CALIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTOS. (VASQUEZ VARELA, 2002)	29
IMAGEN 5. GRÁFICAS PARA VALORES DEDUCIDOS I. (VASQUEZ VARELA, 2002)	31
IMAGEN 6. GRÁFICA PARA VALORES DEDUCIDOS II. (VASQUEZ VARELA, 2002)	31
IMAGEN 7. GRÁFICAS PARA VALORES DEDUCIDOS III. (VASQUEZ VARELA, 2002)	32
IMAGEN 8. GRÁFICA VALOR DEDUCIDO TOTAL VS VALOR DEDUCIDO CORREGIDO. (VASQUEZ VARELA, 2002)	32
IMAGEN 9. CALIFICACIÓN METODOLOGÍA PASER. (GUAMAN & CALERO, 2012)	34
IMAGEN 10. RESULTADOS OBTENIDOS EN UN TRAMO DE VÍAS CON LA APLICACIÓN DE CADENAS DE MARKOV. (ORTEGA, 2014)	40
IMAGEN 11. VÍAS ANALIZADAS DE LA CIUDAD DE VALENCIA (24 VÍAS).....	42
IMAGEN 12. ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO.....	45
IMAGEN 13. VALORES DE PARÁMETROS DE UNA BASE DE DATOS EMPÍRICA. (GEORGE ET AL. 1989)	53
IMAGEN 14. PARÁMETROS ESTADÍSTICOS PARA LA PREDICCIÓN DE MODELOS. (GEORGE ET AL. 1989)	53
IMAGEN 15. CURVA DE DETERIORO TEÓRICA VÍA: P.E. AV. GEORGETA	58
IMAGEN 16. CURVA DE DETERIORO TEÓRICA VÍA: AUSIAS MARCH	58
IMAGEN 17. CURVA DE DETERIORO TEÓRICA VÍA: MARQUES DEL TURIA.....	59
IMAGEN 18. CURVA DE DETERIORO TEÓRICA VÍA: GENERAL AVILES	59
IMAGEN 19. CURVA DE DETERIORO TEÓRICA VÍA: PEREZ GALDOS.....	59
IMAGEN 20. CURVA DE DETERIORO TEÓRICA VÍA: ANTONIO FERRADIS.....	60
IMAGEN 21. CURVA DE DETERIORO TEÓRICA VÍA: AV. DE LA PLATA.....	60
IMAGEN 22. CURVA DE DETERIORO TEÓRICA VÍA: EDUARDO BOSCA.....	60
IMAGEN 23. CURVA DE DETERIORO TEÓRICA VÍA: CARDENAL BENLLOCH	61
IMAGEN 24. CURVA DE DETERIORO TEÓRICA VÍA: MANUEL CANDELA	61
IMAGEN 25. CURVA DE DETERIORO TEÓRICA VÍA: ARCHIDUQUE CARLOS	61
IMAGEN 26. CURVA DE DETERIORO TEÓRICA VÍA: CLARIANO	62
IMAGEN 27. CURVA DE DETERIORO TEÓRICA VÍA: JESUS	62
IMAGEN 28. CURVA DE DETERIORO TEÓRICA VÍA RAMON LLULL	62
IMAGEN 29. CURVA DE DETERIORO TEÓRICA VÍA: TRES FORQUES.....	63
IMAGEN 30. CURVA DE DETERIORO TEÓRICA VÍA: URUGUAY	63
IMAGEN 31. CURVA DE DETERIORO TEÓRICA VÍA: CARTEROS.....	63
IMAGEN 32. CURVA DE DETERIORO TEÓRICA VÍA: ZAPADORES	64
IMAGEN 33. CURVA DE DETERIORO TEÓRICA VÍA: ALBORAYA	64
IMAGEN 34. CURVA DE DETERIORO TEÓRICA VÍA: AYORA.....	64
IMAGEN 35. CURVA DE DETERIORO TEÓRICA VÍA: JAIME BELTRÁN.....	65
IMAGEN 36. CURVA DE DETERIORO TEÓRICA VÍA: JOSE MARIA HARO	65
IMAGEN 37. CURVA DE DETERIORO TEÓRICA VÍA: CUENCA	65
IMAGEN 38. CURVA DE DETERIORO TEÓRICA VÍA: PINTOR VILAR	66
IMAGEN 39. CURVA DE DETERIORO Y ECUACIÓN QUE RIGE LA CURVA- VÍA: MANUEL CANDELA.....	68
IMAGEN 40. CURVA DE DETERIORO ANALIZADA EL PORCENTAJE DE ERROR DE LOS VALORES DEL PCI VÍA: MANUEL CANDELA ...	69
IMAGEN 41. CURVA PCI VS EDAD VÍA: MANUELA CANDELA.....	72

Índice de Tablas

TABLA 1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA METODOLOGÍA PCI	33
TABLA 2. FALLAS UTILIZADAS EN LA METODOLOGÍA PAVER	33
TABLA 3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA METODOLOGÍA PAVER	34
TABLA 4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA METODOLOGÍA PASER	35
TABLA 5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA METODOLOGÍA VIZIR	35
TABLA 6. CURVAS GENERADAS POR MÉTODOS DE REGRESIÓN	39
TABLA 7. VALORES DE PCI DE LAS IMAGENES OBTENIDAS POR GOOGLE EARTH	51
TABLA 8. VALORES DE LOS ÍNDICES UTILIZADOS EN LA ECUACIÓN (GEORGE ET AL., 1989)	54
TABLA 9. VALORES DE TRÁFICO PARA LAS VÍAS EN ANÁLISIS TOMADOS DEL AYUNTAMIENTO DE VALENCIA.....	55
TABLA 10. VALORES DE PCI PARA 21 AÑOS DE LAS VÍAS EN ANÁLISIS.....	56
TABLA 11. ECUACION ECUACIÓN TEÓRICA PARA LA PREDICCIÓN DEL DETERIORO EN VÍAS DE LA CIUDAD DE VALENCIA	57
TABLA 12. EDAD TEÓRICA DEL PAVIMENTO SEGÚN EL PCI INICIAL DE LA TOMA DE DATOS	67
TABLA 13. EDAD TEÓRICA DEL PAVIMENTO SEGÚN EL PCI EN LAS VÍAS AL MOMENTO DE EXISTIDO LA REHABILITACIÓN	67
TABLA 14. PUNTOS DE DATOS PARA LA VÍA MANUEL CANDELA (TRES PRIMEROS AÑOS).....	68
TABLA 15. PUNTOS DE DATOS PARA LA VÍA MANUEL CANDELA (AÑO 2015)	69
TABLA 16. ANÁLISIS DE DATOS CON EL PORCENTAJE DE ERROR PARA LA VÍA: MANUEL CANDELA	69
TABLA 17. VALIDACIÓN DE ECUACIONES PARA CURVA DE PCI VÍA: MANUEL CANDELAS	70
TABLA 18. VALIDACIÓN DE ECUACIONES PARA CURVA DE PCI DE 24 VÍAS ANALIZADAS.....	71
TABLA 19. APLICACIÓN DEL MODELO DE PREDICCIÓN A LAS VÍAS DE VALENCIA.....	71
TABLA 20. ECUACIÓN DE GOOGLE EARTH PARA LA PREDICCIÓN DEL DETERIORO EN LAS VÍAS DE LA CIUDAD DE VALENCIA	73
TABLA 21. VALORES DE PCI IN SITU (JUNIO 2018)	74
TABLA 22. COMPARACIÓN DE PCI TEÓRICO Y GOOGLE EARTH (AÑO 2018)	75
TABLA 23. EDAD Y PCI ACTUAL (JUNIO 2018) EN VÍAS DE LA CIUDAD DE VALENCIA.....	76

Resumen Ejecutivo

Las obras viales son infraestructuras importantes en el mundo moderno y necesarias para el crecimiento de la sociedad, es por ello que el gobierno se gasta grandes cantidades de dinero en mantener la calidad en las carreteras. Con el objetivo de abaratar estos costes, nace la idea de promover un sistema de gestión que permita la utilización eficaz de los fondos públicos en infraestructura vial. Se pretende, por tanto, conseguir los mayores beneficios con los costes más bajos.

El mantenimiento vial es necesario para poder tener vías en buen estado y conseguir que las mismas cumplan el tiempo de vida útil. Para ello, se han utilizado sistemas de gestión de pavimentos urbanos e interurbanos. A pesar de que los sistemas de gestión de pavimentos interurbanos están más extendidos, la necesidad de mantener las vías dentro de la ciudad ha hecho que se planteen herramientas necesarias para la gestión de las mismas.

Existen varias metodologías para la evaluación de pavimentos, entre las más comunes están: VIZIR, PCI, PASER, IRI, etc. Estos métodos son utilizados en diferentes sistemas de gestión de pavimentos dependiendo la zona de análisis. Estados Unidos ha sido uno de los pioneros en la elaboración de métodos para el mantenimiento vial, siendo los creadores de la metodología PCI. Esta herramienta se está utilizando en varios países ya que se considera una herramienta muy completa.

Sin embargo, para planificar el mantenimiento del pavimento en el momento adecuado se necesita conocer la evolución del deterioro, o lo que es lo mismo, la predicción del estado futuro de las vías. En este sentido, aparecen nuevas metodologías, como las curvas de regresión, las cadenas de Markov o las redes neuronales. Estos métodos deben calibrarse para poder predecir la evolución del deterioro bajo diferentes características, condiciones y particularidades de las vías.

El presente trabajo se centra en la predicción del deterioro como etapa clave para el mejoramiento de la gestión del mantenimiento de pavimentos urbanos en la ciudad de Valencia. Para ello se propone una metodología que utiliza el Índice de Condición del Pavimento (PCI) para la evaluación de pavimentos. Los datos de deterioro de cada firme se toman a través de una inspección visual en el tiempo mediante la herramienta de Google Earth. La muestra se limita a 24 vías urbanas de la ciudad de Valencia, las cuales tienen diferentes condiciones de tráfico y se encuentran en distintos periodos de su vida útil.

En base a los valores obtenidos en los diferentes años de análisis y a un criterio técnico se plantea una curva de regresión para cada una de las vías, de forma que mediante tres o cuatro valores del PCI en el tiempo tomados mediante Google Earth, se pueda predecir correctamente el deterioro de cada vía, concluyendo que el error que se comete es bajo en comparación con otros análisis.

TÍTULO DE TRABAJO FIN DE MÁSTER: MEJORA DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS URBANOS EN LA CIUDAD DE VALENCIA A TRAVÉS DE LA PREDICCIÓN DE SU DETERIORO
AUTOR: Alexis Iván Andrade Valle

RESUMEN EJECUTIVO

<p>1. Planteamiento del problema a resolver</p>	<p>Las vías urbanas en la ciudad de Valencia poseen deterioro por diversos factores. La gestión del mantenimiento, y en concreto la predicción del deterioro, juegan un papel muy importante en la mejora de la condición de una red urbana en base a un presupuesto disponible. Si no se lleva a cabo un análisis de cada una de las vías a través de la predicción de deterioro, resulta muy complicado optimizar el mantenimiento y aumentar la vida útil de las infraestructuras. Sin embargo, las metodologías existen para la predicción del deterioro necesitan muchos datos y son difícilmente adaptables a otras vías con características diferentes.</p>
<p>2. Objetivos</p>	<ul style="list-style-type: none">• Conocer el estado del arte de los sistemas de gestión de pavimentos utilizados en el mundo.• Analizar el estado de las vías de la ciudad de Valencia (24 vías).• Categorizar el tráfico existente.• Ajustar los datos obtenidos a una curva de deterioro del índice de condición de pavimento a lo largo del tiempo.• Desarrollar una metodología para la predicción del deterioro
<p>3. Estructura Organizativa</p>	<p>El presente trabajo se estructura del modo siguiente:</p> <p>Capítulo I: estado del arte sobre las investigaciones relacionadas con el área de estudio.</p> <p>Capítulo II: análisis a cada una de las vías en diferentes años para determinar el modelo de deterioro de cada vía, así como el tráfico existente para con ello obtener una curva de deterioro del índice de condición del pavimento a largo tiempo.</p>

	Capítulo III: Se desarrolló una metodología para la predicción del deterioro.
4. Método	En la investigación se utiliza un método cuantitativo tanto en la parte de medición y conteo de deterioro, así como en la parte de validación del modelo.
5. Cumplimiento de Objetivos	<p>Capítulo I: el estado del arte que se muestra en el presente trabajo muestra investigaciones relacionadas con el área de estudio, específicamente en los sistemas de gestión de pavimentos utilizados en el mundo.</p> <p>Capítulo II: se realiza el análisis a las vías (24 vías), se categorizó el tráfico para así con los resultados obtenidos se obtuvo la curva de deterioro del índice de condición del pavimento a largo tiempo.</p> <p>Capítulo III: Se desarrolló una metodología para la predicción del deterioro. El modelo propuesto se lo compara con otros existente para validar su aplicación.</p>
6. Contribuciones	<p>La información entregada en el presente trabajo es útil para realizar próximos análisis de las vías seleccionadas como muestra. El modelo de curva de deterioro que se obtiene tiende a generar un error menor comparado con otras metodologías. Siendo esto de gran ayuda para la ciudad de Valencia.</p> <p>La contribución de Google Earth como herramienta para la entrega de fotografías y evaluación de la condición del pavimento permite una evaluación económica, y con perspectiva en el tiempo.</p>
7. Recomendaciones	Es necesario recomendar el uso de herramientas que ahora brinda la tecnología para generar resultados a menor tiempo y con el menor error posible. Es importante que el modelo que se entrega se utilice con las demás vías de la ciudad de Valencia para así obtener una curva para todas las vías y poder obtener un patrón para la aplicación de un Sistema de Gestión total.

	<p>El técnico que realiza la inspección in situ en cada vía debe ser crítico y específico en la toma de información.</p>
8. Limitaciones	<p>Una de las limitaciones en el presente trabajo de investigación es el tamaño de la muestra. Las vías analizadas no son todas las de la ciudad de Valencia.</p> <p>La validación del modelo propuesto para la red vial de la ciudad de Valencia.</p>

Resum Executiu

Les obres vials són infraestructures importants en el món modern i necessàries per al creixement de la societat. És per això que el govern es gasta grans quantitats de diners en mantenir la qualitat a les carreteres. Amb l'objectiu d'abaratir aquests costos, neix la idea de promoure un sistema de gestió que permeti la utilització eficaç dels fons públics en infraestructura viària. Es pretén, per tant, aconseguir els majors beneficis amb els costos més baixos.

El manteniment vial és necessari per poder tenir vies en bon estat i aconseguir que les mateixes compleixin el temps de vida útil. Per a això, s'han utilitzat sistemes de gestió de paviments urbans i interurbans. Tot i que els sistemes de gestió de paviments interurbans estan més estesos, la necessitat de mantenir les vies dins de la ciutat ha fet que es plantegin eines necessàries per a la gestió de les mateixes.

Existeixen diverses metodologies per a l'avaluació de paviments, entre les més comunes estan: Vizir, PCI, PASER, IRI, etc. Aquests mètodes són utilitzats en diferents sistemes de gestió de paviments depenent la zona d'anàlisi. Estats Units ha estat un dels pioners en l'elaboració de mètodes per al manteniment vial, sent els creadors de la metodologia PCI. Aquesta eina s'està utilitzant en diversos països ja que es considera una eina molt completa.

No obstant això, per planificar el manteniment del paviment en el moment adequat es necessita conèixer l'evolució del deteriorament, o el que és el mateix, la predicció de l'estat futur de les vies. En aquest sentit, apareixen noves metodologies, com les corbes de regressió, les cadenes de Markov o les xarxes neuronals. Aquests mètodes han de calibrar per poder predir l'evolució del deteriorament sota diferents característiques, condicions i particularitats de les vies.

El present treball es centra en la predicció del deteriorament com a etapa clau per al millorament de la gestió del manteniment de paviments urbans a la ciutat de València. Per a això es proposa una metodologia que utilitza l'Índex de Condició del Paviment (PCI) per a l'avaluació de paviments. Les dades de deteriorament de cada ferm es prenen a través d'una inspecció visual en el temps mitjançant l'eina de Google Earth. La mostra es limita a 24 vies urbanes de la ciutat de València, les quals tenen diferents condicions de trànsit i es troben en diferents períodes de la seva vida útil.

En base als valors obtinguts en els diferents anys d'anàlisi i a un criteri tècnic es planteja una corba de regressió per a cadascuna de les vies, de manera que mitjançant tres o quatre valors del PCI en el temps presos mitjançant Google Earth, es pugui predir correctament el deteriorament de cada via, conclouent que l'error que es comet és baix en comparació amb altres anàlisis.

TÍTULO DE TRABAJO FIN DE MÁSTER: MILLORA DEL GESTIÓ DEL MANTENIMENT DE PAVIMENTS URBANS A LA CIUTAT DE VALÈNCIA A TRAVÉS DE LA PREDICCIÓ DEL SEU DETERIOR
AUTOR: Alexis Iván Andrade Valle

RESUMEN EXECUTIU

<p>1. Plantejament del problema a resoldre</p>	<p>Les vies urbanes a la ciutat de València posseeixen deteriorament per diversos factors. La gestió del manteniment, i en concret la predicció del deteriorament, juguen un paper molt important en la millora de la condició d'una xarxa urbana en base a un pressupost disponible. Si no es porta a terme una anàlisi de cadascuna de les vies a través de la predicció de deteriorament, resulta molt complicat optimitzar el manteniment i augmentar la vida útil de les infraestructures. No obstant això, les metodologies existeixen per a la predicció de la deterioració necessiten moltes dades i són difícilment adaptables a altres vies amb característiques diferents.</p>
<p>2. Objectius</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Conèixer l'estat de l'art dels sistemes de gestió de paviments utilitzats en el món. • Analitzar l'estat de les vies de la ciutat de València (24 vies). • Categoritzar el trànsit existent. • Ajustar les dades obtingudes a una corba de deteriorament de l'índex de condició de paviment al llarg del temps. • Desenvolupar una metodologia per a la predicció del deteriorament
<p>3. Estructura organitzativa</p>	<p>El present treball s'estructura de la manera següent:</p> <p>Capítol I: estat de l'art sobre les investigacions relacionades amb l'àrea d'estudi.</p> <p>Capítol II: anàlisi a cadascuna de les vies en diferents anys per determinar el model de deteriorament de cada via, així com el trànsit existent envers això obtenir una corba de deteriorament de l'índex de condició del paviment a llarg temps.</p> <p>Capítol III: Es va desenvolupar una metodologia per a la predicció del deteriorament.</p>

4. Mètode	En la investigació s'utilitza un mètode quantitatiu tant en la part de mesurament i recompte de deteriorament, així com en la part de validació del model.
5. Compliment d'objectius	<p>Capítol I: l'estat de l'art que es mostra en el present treball mostra investigacions relacionades amb l'àrea d'estudi, específicament en els sistemes de gestió de paviments utilitzats en el món.</p> <p>Capítol II: es realitza l'anàlisi a les vies (24 vies), es va categoritzar el trànsit per així amb els resultats obtinguts es va obtenir la corba de deteriorament de l'índex de condició del paviment a llarg temps.</p> <p>Capítol III: Es va desenvolupar una metodologia per a la predicció del deteriorament. El model proposat es el compara amb altres existent per validar la seva aplicació.</p>
6. Contribucions	<p>La informació lliurada en el present treball és útil per realitzar pròxims anàlisi de les vies seleccionades com a mostra. El model de corba de deteriorament que s'obté tendeix a generar un error menor comparat amb altres metodologies. Sent això de gran ajuda per a la ciutat de València.</p> <p>La contribució de Google Earth com a eina per al lliurament de fotografies i avaluació de la condició del paviment permet una avaluació econòmica, i amb perspectiva en el temps.</p>
7. Recomanacions	<p>Cal recomanar l'ús d'eines que ara brinda la tecnologia per generar resultats a menor temps i amb el menor error possible. És important que el model que es lliura s'utilitzi amb les altres vies de la ciutat de València per així obtenir una corba per a totes les vies i poder obtenir un patró per a l'aplicació d'un Sistema de Gestió total.</p> <p>El tècnic que realitza la inspecció in situ a cada via ha de ser crític i específic en la presa d'informació.</p>
8. Limitacions	Una de les limitacions en el present treball d'investigació és la mida de la mostra. Les vies

	<p>analitzades no són totes les de la ciutat de València.</p> <p>La validació del model proposat per a la xarxa viària de la ciutat de València.</p>
--	--

Executive Summary

Road works are important infrastructures in the modern world and necessary for the growth of society. That is why the government spends large amounts of money to maintain quality on the roads. With the aim of lowering these costs, the idea of promoting a management system that allows the efficient use of public funds in road infrastructure is born. It is therefore intended to achieve the greatest benefits with the lowest costs.

Road maintenance is necessary to be able to have roads in good condition and ensure that they meet the life time. For this, urban and interurban pavement management systems have been used. Despite the fact that interurban pavement management systems are more widespread, the need to maintain roads within the city has led to the creation of necessary tools for managing them.

There are several methodologies for the evaluation of pavements, among the most common are: VIZIR, PCI, PASER, IRI, etc. These methods are used in different pavement management systems depending on the area of analysis. The United States has been one of the pioneers in the development of methods for road maintenance, being the creators of the PCI methodology. This tool is being used in several countries since it is considered a very complete tool.

However, to plan the maintenance of the pavement at the right time, it is necessary to know the evolution of the deterioration, or what is the same, the prediction of the future state of the roads. In this sense, new methodologies appear, such as regression curves, Markov chains or neural networks. These methods must be calibrated to be able to predict the evolution of the deterioration under different characteristics, conditions and particularities of the roads.

The present work focuses on the prediction of deterioration as a key stage for the improvement of the maintenance management of urban pavements in the city of Valencia. To do this, a methodology is proposed that uses the Pavement Condition Index (PCI) for pavement evaluation. The deterioration data of each firm is taken through a visual inspection over time using the Google Earth tool. The sample is limited to 24 urban roads in the city of Valencia, which have different traffic conditions and are in different periods of their useful life.

Based on the values obtained in the different years of analysis and a technical criterion, a regression curve is proposed for each of the routes, so that by means of three or four values of the PCI over time taken through Google Earth, it can be predicted correctly the deterioration of each path, concluding that the error that is committed is low in comparison with other analyzes.

TÍTULO DE TRABAJO FIN DE MÁSTER: IMPROVEMENT OF THE MANAGEMENT OF THE MAINTENANCE OF URBAN PAVEMENTS IN THE CITY OF VALENCIA THROUGH THE PREDICTION OF ITS DETERIORATION
AUTOR: Alexis Iván Andrade Valle

Executive Summary

<p>1. Approach of the problem to solve</p>	<p>The urban roads in the city of Valencia have deterioration due to several factors. Maintenance management, and specifically the prediction of deterioration, play a very important role in improving the condition of an urban network based on an available budget. If an analysis of each of the roads is not carried out through the prediction of deterioration, it is very difficult to optimize the maintenance and increase the useful life of the infrastructures. However, existing methodologies for the prediction of deterioration need a lot of data and are difficult to adapt to other pathways with different characteristics.</p>
<p>2. Objectives</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Know the state of the art of the pavement management systems used in the world. • Analyze the state of the roads in the city of Valencia (24 routes). • Categorize existing traffic. • Adjust the data obtained to a deterioration curve of the pavement condition index over time. • Develop a methodology for the prediction of deterioration.
<p>3. Organizational structure</p>	<p>The present work is structured as follows:</p> <p>Chapter I: state of the art on the investigations related to the study area.</p> <p>Chapter II: analysis of each of the roads in different years to determine the deterioration model of each road, as well as the existing traffic to obtain a deterioration curve of the pavement condition index over a long period of time.</p> <p>Chapter III: A methodology for the prediction of deterioration was developed.</p>
<p>4. Method</p>	<p>In the research a quantitative method is used both in the measurement part and count of</p>

	deterioration, as well as in the validation part of the model.
5. Meeting objectives	<p>Chapter I: the state of the art shown in the present work shows research related to the study area, specifically in the pavement management systems used in the world.</p> <p>Chapter II: the analysis was carried out on the roads (24 lanes), the traffic was categorized so that, with the results obtained, the deterioration curve of the long-term pavement condition index was obtained.</p> <p>Chapter III: A methodology for the prediction of deterioration was developed. The proposed model is compared with other existing models to validate its application.</p>
6. Contributions	<p>The information given in the present work is useful to perform next analysis of the selected routes as a sample. The deterioration curve model obtained tends to generate a lower error compared to other methodologies. This being a great help for the city of Valencia.</p> <p>The contribution of Google Earth as a tool for the delivery of photographs and evaluation of the condition of the pavement allows an economic evaluation, and with perspective in time.</p>
7. Recommendations	<p>It is necessary to recommend the use of tools that technology now provides to generate results in less time and with the least possible error. It is important that the model that is delivered be used with the other roads in the city of Valencia in order to obtain a curve for all roads and to obtain a pattern for the application of a total Management System.</p> <p>The technician who carries out the on-site inspection in each way must be critical and specific in the collection of information.</p>
8. Limitations	<p>One of the limitations in this research work is the size of the sample. The analyzed roads are not all of the city of Valencia.</p> <p>Validation of the proposed model for the road network of the city of Valencia.</p>



Introducción

Capítulo I

Máster en Planificación y Gestión de Proyectos en Ingeniería Civil

1. Capítulo I

1.1. Antecedentes

Las Administraciones de los distintos gobiernos en cada país buscan siempre invertir en proyectos de vialidad debido a la importancia y el beneficio social que genera. Las construcciones de las redes viales son importantes para generar comercio y comunicación entre sectores.

Una de las ideas importantes que mantienen ahora varios países se basa en la generación de sistemas de gestión que ayuden a obtener un correcto mantenimiento vial y de ese modo se consiga obtener vías en buen estado.

Los sistemas de gestión se han creado varios años atrás con el fin de mejorar la vialidad y el manejo correcto de recursos del estado. Existen varios países que han empezado con la generación de sistemas con los cuales se realice un mantenimiento vial. Varios países se han interesado mucho en la implementación de sistemas de gestión.

Estados Unidos y Canadá han sido dos de los países más interesados en la búsqueda de un sistema de gestión completo. En varios otros países se han realizado varias investigaciones para obtener el correcto proceso para mantener sus carreteras, tomando en cuenta el entorno en donde se las construye y los factores generadores de daños en el pavimento, sin embargo, poseen costes altos para su implementación.

Las investigaciones que se han realizado a nivel mundial tienden a tener sus bases experimentales en las zonas en las cuales han realizado el análisis, por lo que es importante analizarlas y readecuarlas en algunos casos para ciertos países por las diferentes condiciones tanto geográfica y climática.

En la ciudad de Valencia – España se han realizado varias investigaciones con el fin de obtener un sistema estable de gestión de pavimentos por lo cual, en el presente trabajo a través del análisis detallado de ciertas vías en la parte urbana por medio de imágenes en tiempo real e inspecciones in situ se muestran datos actualizados y a través de dicho diagnóstico proponer un modelo para predicción del deterioro para la ciudad.

Los objetivos de la investigación son:

- a.- Conocer el estado del arte de los sistemas de gestión de pavimentos
- b.- Analizar el estado de las vías
- c.- Analizar los factores que causan el deterioro del pavimento
- d.- Categorizar el tráfico existente

e.- Ajustar los datos obtenidos a una curva de deterioro del índice de condición de pavimento a lo largo del tiempo

1.2. Alcance

Se analizarán parte de las vías urbanas de Valencia de forma proporcional en: accesos, cinturón exterior, grandes vías y rondas de tránsito. Se obtendrá una metodología para predecir el deterioro del pavimento y así conseguir una correcta conservación y gestión de las vías urbanas.

En un total de 24 vías se realiza la evaluación del pavimento a través de imágenes reales de Google Earth e inspecciones in situ, con el fin de verificar el Índice de Condición del Pavimento en base al deterioro.

Se predice el deterioro en base del análisis de curvas que representen el valor del Índice de Condición del Pavimento y la Edad del pavimento. Finalmente, en base a comparaciones entre los resultados de las imágenes en tiempo real y los datos in situ se obtiene la curva que con datos reales muestre tendencia.

1.3. Planteamiento del problema

El mantenimiento vial y conservación de pavimentos es muy importante para mantener el buen estado de las vías y no incurrir en sobrecostes. Por lo cual en la actualidad es la idea principal de las administraciones con el fin de optimizar recursos. La gestión de mantenimiento juega un rol interesante en la mejora de la condición de una red urbana en base a un presupuesto disponible.

Para realizar un correcto mantenimiento vial se han implementado varios métodos tanto de predicción de deterioro como evaluación de daños en pavimentos. Varias son las investigaciones que han buscado identificar un modelo completo que brinde resultados reales, por lo que los modelos simples actualmente no son adecuados para la predicción de la condición del pavimento durante largos períodos de tiempo.

Como la tendencia actual es pasar de métodos de diseño puramente empíricos a métodos mecánico empíricos, es importante desarrollar aún más los modelos de predicción de deterioro que son adecuados. (Saba, 2006)

Las metodologías actualmente tratan de entregar resultados con procedimientos efectivos y eficaces, para ello con la ayuda de la tecnología se puede reducir costes, tiempo y obtener resultados reales.

El modelo que se presenta en el presente trabajo de investigación pretende obtener resultados acercados a la realidad en base a la predicción del deterioro, a través de la revisión detalla de los daños en las vías en años anteriores y compararlos con el indicador de la condición del pavimento actual, partiendo de análisis en imágenes reales e in situ, teniendo en cuenta la severidad y porcentaje de ocupación de los daños.



*Evaluación de vías urbanas en la ciudad de
Valencia
Capítulo II*

Máster en Planificación y Gestión de Proyectos en Ingeniería Civil

2. CAPÍTULO II

2.1. La ciudad de Valencia

Valencia cuenta con una población de 798.538 habitantes según los datos del Instituto Nacional de Estadística. Dicha ciudad se encuentra ubicada en la costa este de la Península Ibérica a orillas del río Turia.

Su riqueza en el año 2012, se estimaba en 54.000 millones de euros y la principal actividad de la provincia es el turismo (Banco Mundial, 2015). Las principales autopistas de Valencia tienen un recorrido radial, pero Valencia tiene además una serie de carreteras circunvalarias a su alrededor, éstas son el By-pass, la V-30.

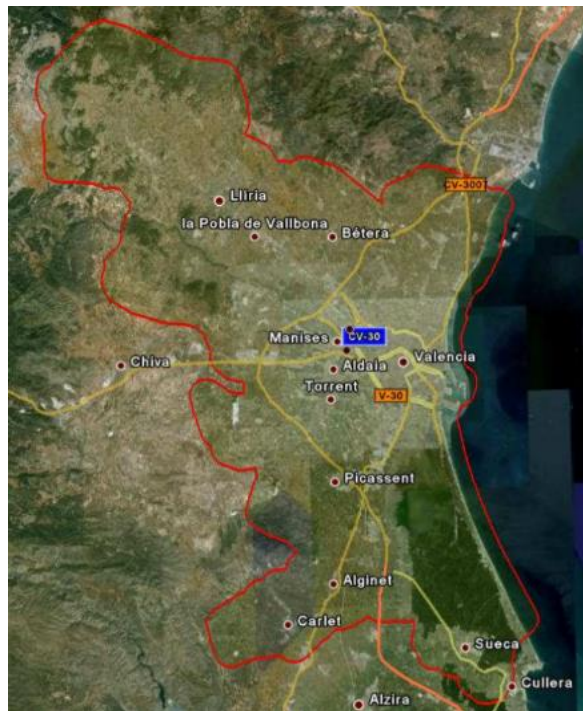


Imagen 1. Ubicación de la Ciudad de Valencia. (Alvarez, 2009)

La calidad del pavimento en la ciudad de Valencia ha ido variando con el tiempo, lo cual es normal por el crecimiento propio de la misma ciudad. Se ha ido buscando maneras de mejorar las carreteras a través del mejoramiento del asfalto, sin embargo, en algunos casos a pesar de cambio de materiales e innovación, si no existe algún tipo de mantenimiento el mismo tiene a fallar bajo las mismas condiciones. Es importante reconocer que la continua evaluación de pavimentos es necesaria, sin embargo, se puede apoyar al proceso con nuevas metodologías que brinden la facilidad de realizar estos análisis y sobretodo que sean eficientes y adecuadas.

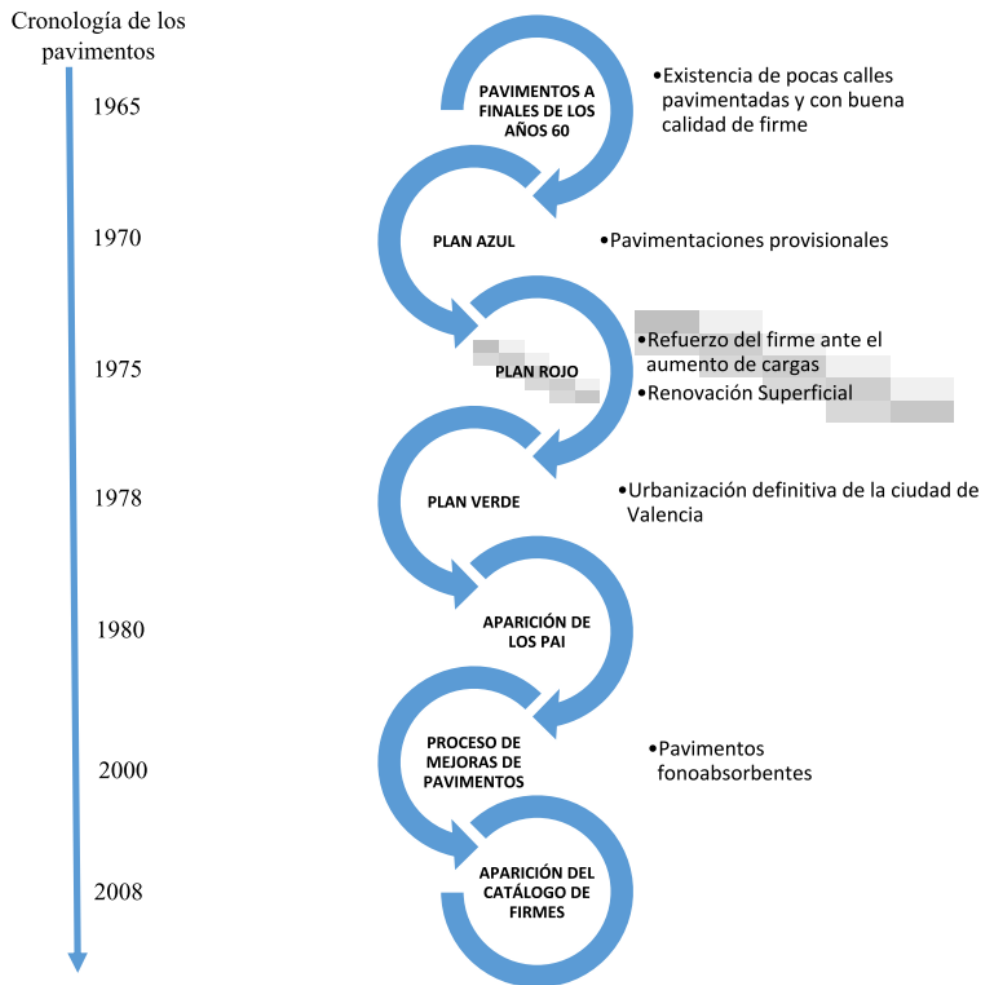


Imagen 2. Cronología en la historia de los pavimentos urbanos de Valencia. (Borja Guaita & Serra Santamaria, 2016)

3. Análisis de la situación actual en la gestión del mantenimiento de pavimentos urbanos

La gestión del mantenimiento de pavimentos nace como idea fundamental para mantener recursos públicos y a su vez alcanzar la vida útil de los mismos. Alrededor del mundo se ha visto la necesidad de tener sistemas de gestión del mantenimiento de firmes particularmente en vías urbanas debido al coste que representa un tratamiento adecuado para mantenerlas.

En países desarrollados como Estados Unidos, Canadá o Australia existe una gran implantación de este tipo de sistemas de gestión del mantenimiento de forma que el cumplimiento de los objetivos de los indicadores se encuentra incluido en los presupuestos generales de cada ciudad (Borja Guaita & Serra Santamaria, 2016).

A través del tiempo han ido existiendo metodologías que han ayudado al adecuado mantenimiento de las vías y sobretodo han buscado las correctas decisiones para generar un tratamiento o una rehabilitación a una red vial analizada.

Los costes dentro de la planificación para todas las administraciones son de vital importancia y obtener bajos costes particularmente en el mantenimiento de vías resulta actualmente uno de los retos más grandes.

Es importante plantear metodologías para realizar un análisis correcto a las redes viales, en España, por ejemplo, se viene detectando en los últimos años un deterioro continuo del estado de los pavimentos, se estima necesaria una inversión de 5.500 millones de € (US\$7.000 millones)(Torres-Machi, 2015). Esta necesidad contrasta con la política actual, en la que se están reduciendo los presupuestos para conservación. Esta necesidad también es reclamada por los usuarios, que exigen mayores niveles de seguridad, fiabilidad y confort, además de una mayor transparencia, responsabilidad y rendimiento de cuentas por parte de la administración responsable de su gestión (Torres-Machi, 2015).

Debido a la importancia que se ha mencionado acerca de la vialidad en los países de acuerdo a sus costes, se han creado varias metodologías, sin embargo, las obras de vialidad ejecutadas alrededor del mundo empiezan a deteriorarse desde el mismo instante de su construcción debido a las solicitudes directas como el tránsito e indirectas como el clima, a las que están sometidas, y con ello el costo para mantener una vía debe ser planteado de acuerdo a los daños encontrados en la misma fundamentados en un modelo de predicción de deterioro (Andrade Valle & Brito Noboa, 2017).

El análisis de cada vía es fundamental para identificar el estado del pavimento y de este modo analizar con las diferentes metodologías los daños que se posean, con el único fin de dar un mantenimiento a tiempo, es decir que se les pueda dar un trato a los daños y no lleguen a generar mayor deterioro en la vía con el tiempo.

El mantenimiento que se vaya a realizar debe ser fundamentado en el deterioro que muestre la vía. Tanto el mantenimiento preventivo o rutinario deberán ser utilizados con el fin de mantenerla y hacer que esta cumpla su tiempo de vida útil, teniendo en cuenta que el mantenimiento preventivo no permitirá que la vía muestre condiciones graves y con ello aumenten los costes para mantenimiento vial.

Varios modelos y metodologías son parte de sistemas de gestión, partiendo del análisis detallado de la situación en la que se encuentran las vías pretenden generar un cambio en el ámbito interurbano – urbano a través de la predicción del deterioro (Borja Guaita & Serra Santamaria, 2016). La predicción del deterioro en los pavimentos es la parte fundamental debido a que una monitorización anual o mensual de una red vial representaría altos costes.

La conservación de pavimentos es una parte fundamental para la reducción de costes en el mantenimiento de las vías, por lo cual es un punto importante a implementar por las administraciones dedicadas a vialidad.

En las tareas de conservación, es necesario realizar una evaluación técnica del estado de los pavimentos y, además, conocer las técnicas de conservación aplicables a dichos

deterioros. Para poder realizar estos procesos las administraciones poseen recursos limitados y, por tanto, es necesario optimizar las zonas de aplicación y los tratamientos a utilizar para mejorar la eficiencia (Borja Guaita & Serra Santamaria, 2016).

A través de varias investigaciones se ha comprobado que la vida útil de los pavimentos se prolonga a menor coste cuando se implementa un sistema de conservación a intervalos estratégicamente planeados e integrados a un programa de Gestión de Pavimentos en el cual se usa un modelo económico para optimizar los fondos públicos destinados a la red vial (Salomón, 2004)

Dentro de las alternativas para dar una correcta conservación en las vías se encuentran dos maneras: el mantenimiento el rutinario y el preventivo. A su vez es importante conocer que cuando el pavimento se encuentra en malas condiciones se realiza una reconstrucción que es la forma de garantizar que el pavimento dure hasta su tiempo de vida útil.

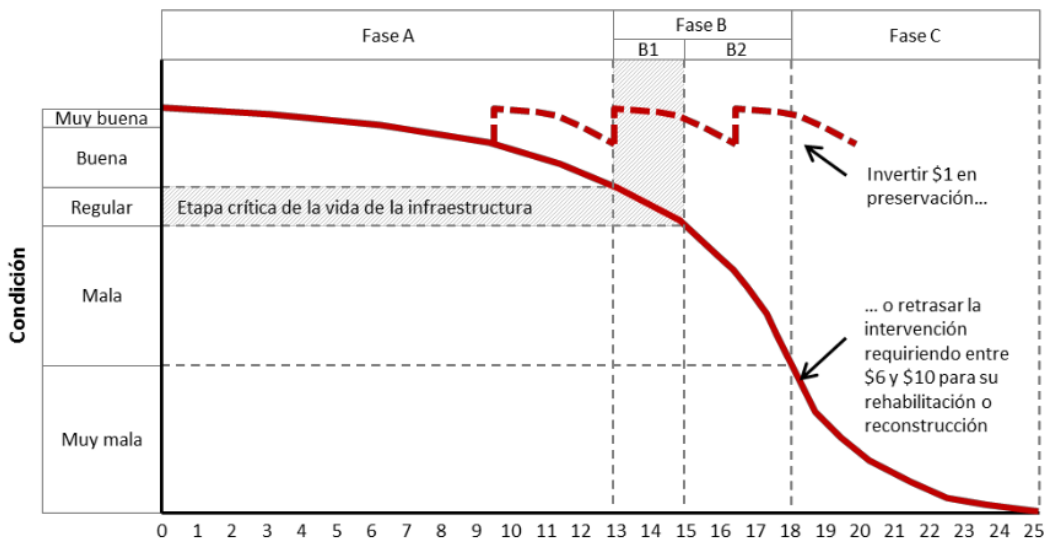


Imagen 3. Condición del pavimento representada durante los años de vida útil de una vía. (Torres-Machi, 2015)

Como se observa en la Imagen 3, como consecuencias de no invertir un dólar en preservación, se necesitarán entre 6 y 10 dólares para su rehabilitación o reconstrucción, Por tanto, los costes serán menores mientras el mantenimiento se realice de una forma adecuada y al momento que sea necesario. Por lo que es importante definir que a futuro los gastos serán mucho menores, tomando en cuenta que una vía se le dio atención en el momento necesario sin dejar que cualquiera que sea el deterioro no siga creciendo y generando mayor daño en la infraestructura del pavimento.

Los sistemas de Gestión de Pavimentos nacen de la idea particular de mantener a las vías en buenas condiciones. Las Administraciones de ciertos países han puesto mucho interés para poder obtener un sistema que funcione y que represente su implementación a través de bajos costes. Es importante conocer que, en 1993, AASHTO definió un Sistema de

gestión de pavimentos (PMS) como “un conjunto de herramientas o métodos que ayudan a los responsables de la toma de decisiones a encontrar estrategias óptimas para proporcionar, evaluar y mantener pavimentos en condiciones de servicio” (D. (University of N. C. at C. Chen, Cavalline, Thompson, & Ogunro, 2014).

Es así como los sistemas de gestión de mantenimiento de pavimentos buscan obtener una metodología sencilla de implantar y de bajo coste.

4. Revisión de los Métodos de Evaluación de la Condición

Para la evaluación de pavimentos existen diversas metodologías que usarse de acuerdo a las condiciones tanto ambientales, geológicas y tecnológicas existentes en las diferentes zonas. Existen varias metodologías que a través de varios índices realizan la evaluación de la condición de pavimentos entre ellos están VIZIR, PCI, PASER, IRI, CRT, PSI, PQI, PDI, etc. No todas las metodologías manejan un mismo proceso, varias se basan en análisis visual in situ a la estructura del pavimento, mientras que otros necesitan equipos específicos de medición. Entre las metodologías más comunes utilizadas a nivel mundial se destacan las siguientes:

- VIZIR. La metodología Vizir es un sistema francés que basa su análisis en una inspección visual in situ de los daños que presenta un pavimento, es una herramienta para realizar una evaluación clasificando los daños existentes en dos categorías: daños estructurales y funcionales.

Los daños estructurales se caracterizan una condición estructural del pavimento, se trata de degradaciones debidas a insuficiencia en la capacidad estructural de la calzada. Estos daños comprenden deformaciones y los agrietamientos ligados a la fatiga del pavimento, mientras que los daños funcionales, en su mayoría de tipo funcional, dan lugar a reparaciones que generalmente no están ligadas a la capacidad estructural de la calzada. Su origen se encuentra más bien en deficiencias constructivas y condiciones locales particulares que el tránsito ayuda a poner en evidencia. Dentro de estos daños se pueden citar los agrietamientos motivados por asuntos distintos a la fatiga, los ojos de pescado, los desprendimientos y los afloramientos (Bermudes, 2006).

La metodología Vizir trabaja con 19 daños entre estructurales y funcionales sin embargo los resultados del análisis no son generales sino específicos para ciertos tramos y esto conlleva a que se realice un mantenimiento o prevención incompleto al analizar una red vial. VIZIR solo tiene 3 modos para calificar la evaluación: de 1 a 2 superficie en buenas condiciones, de 3 a 4 superficie en regular estado y de 5- 6 a 7 para superficie en deficiente condición.

-PCI. Es una metodología conocida y usada a nivel mundial, reconocida por ser la más completa. El método PCI (Índice de Condición del Pavimento) surge gracias a las investigaciones generadas por M. Y. Shanin y S.D. Khon (Vasquez Varela, 2002).

El PCI es un indicador numérico que le da una calificación a las condiciones superficiales del pavimento. El PCI proporciona una medición de las condiciones actuales del pavimento basada en las fallas observadas en su superficie, indicando también su integridad estructural y condiciones operacionales (rugosidad localizada y seguridad). (Song, Yu, & Tu, 2012)

El PCI no puede medir la capacidad estructural del pavimento, y tampoco proporciona determinación directa sobre el coeficiente de resistencia a la fricción (resistencia al resbalamiento) o la rugosidad general. Proporciona una base objetiva y racional para determinar las necesidades y prioridades de reparación y mantenimiento. Un monitoreo continuo del PCI es utilizado para establecer el ritmo de deterioro del pavimento, a partir del cual se identifican con la debida anticipación las necesidades de rehabilitación mayores. El PCI proporciona información sobre el rendimiento del pavimento para su validación o para incorporar mejoras en su diseño y procedimientos de mantenimiento (NORMA ASTM, 2005).

El Índice de Condición del Pavimento es necesario encontrar para poder generar un plan adecuado de mantenimiento, para esto debemos partir conociendo los daños que se encuentran en una vía, así mismo el servicio que brinda la vía y para la evaluación específicamente los factores que causan deterioro en el pavimento.

A través del PCI se busca evaluar la condición del pavimento analizando el deterioro que se encuentra en el mismo. Los daños con los que trabaja dicha metodología son 19 siendo los más comunes encontrados en los pavimentos: fisuras, grietas, piel de cocodrilo, deformaciones transversales y longitudinales y desprendimientos como peladuras y baches. El índice de condición del pavimento se fundamenta en la detección de fallas tomando en cuenta su severidad la misma que en esta metodología la define como baja, media y alta.

Se considera que la metodología PCI resulta ser completa debido a que se evalúa todos los daños que se pueden presentar en la capa de rodadura y se posee 7 rangos para calificar, desde 0 calificación dada para superficie con alto deterioro hasta 100 para superficie en condiciones óptimas.

La estimación del PCI se basa en los resultados de una inspección visual en la que se identifican el tipo, la gravedad y la cantidad de dificultades. El propósito de este estudio es desarrollar un enfoque alternativo para pronosticar el PCI utilizando técnicas de optimización y así poder generar un plan adecuado de mantenimiento, para esto se debe conocer adicionalmente el servicio que brinda la vía y para la evaluación específicamente los factores que causan daños en los pavimentos. (Andrade Valle & Brito Noboa, 2017).

La metodología a través del índice de condición del pavimento va de la mano con procesos de computación propuestos los cuales pueden estimar confiablemente el PCI y dicho valor puede ser usado en un sistema de gestión de pavimento (PMS) usando software de hoja de cálculo simples y accesibles.

- HDM-4. Para el Banco Mundial (BM), una buena gestión de infraestructura es indispensable para priorizar adecuadamente la inversión vial en las regiones. El BM utiliza el programa HDM-4 (Highway Development and Management) como principal herramienta de modelado y evaluación del comportamiento del pavimento, tomando en consideración aspectos como la calidad de rodadura, los costes de usuarios, los costes de conservación, construcción, y el valor residual de la vía (Miquel y Henao, 2007, Kerali, 2000, Solminhac et al., 2003).

- PASER. Existe también la metodología PASER desarrollada por Phill Scherer, la cual tiene por objetivo realizar la evaluación a través de una inspección visual verificando los daños en la superficie del pavimento. PASER trata de principalmente a través del deterioro conocer los factores causantes de las fallas, los mismos que deberán ser analizados en un sistema de gestión de pavimentos. En este método el pavimento se lo califica con un valor de 10 cuando se encuentra en condiciones excelentes y 1 cuando se encuentra fallado.

Los daños que utiliza PASER son: lleno de surcos, distorsión, grietas transversales, grietas de deflexión, grietas de resbalamiento, grietas longitudinales, grietas de bloque, grietas de cocodrilo, parches y huecos. (Guaman & Calero, 2012).

La metodología PASER fundamenta su análisis en los causantes que provocan los daños, trabaja con una cantidad de daños que al parecer no son suficientes para el análisis de una red vial pues existirán fallas de todo tipo y con las que trabaja dicha metodología son las más comunes más no las que se pueden encontrar y realizar mantenimiento.

- IRI. La metodología IRI (Índice de Rugosidad) es un índice para la medición de la rugosidad obtenida por medidores de carretera instalados en vehículos o remolques (Rahman, Uddin, & Gassman, 2017). IRI representa el valor de rugosidad del pavimento, lo cual es una indicación principal de la calidad de conducción (Beckley, Underwood, & Mamlouk, 2016).

La utilización de IRI ha ido disminuyendo debido a la complicación de obtener los equipos técnicos necesarios. La colocación de un medidor de carretera en un vehículo que pueda cumplir con requerimientos para que dicho equipo funcione correctamente, resulta complicado, sin embargo, varios países han invertido sus recursos en estos equipos, siendo así que el mantenimiento de sus redes viales se las hace en base a los valores de IRI. En la presente investigación fue imposible tomar datos en base a dicha metodología por los altos costes.

Actualmente en la ciudad de Valencia en España la condición de los pavimentos se mide en base a inspecciones visuales y a la experiencia profesional de los técnicos municipales.

Al no existir ningún índice de la condición, la priorización entre las distintas incidencias se efectúa en base a su peligrosidad potencial de acuerdo a la experiencia de los técnicos y el sentido común (Borja Guaita & Serra Santamaria, 2016).

Los métodos de evaluación de pavimentos que han ido apareciendo con el tiempo, han sido apoyados con tecnologías lo cual ha permitido que los mismos traten de entregar reales lo más cercanos a la realidad, sin embargo, también se han aportado con formas de evaluación con encuestas que han hecho que se tomen acciones directas en ciertos países con lo cual se analiza datos de encuestas de alta calidad y se programa actividades de mantenimiento y reparación a nivel de proyecto (Susanna, Crispino, Giustozzi, & Toraldo, 2017).

A continuación, se explican las metodologías PCI, PAVER, PASER, VIZIR siendo metodologías más comunes dentro de la evaluación de la condición de pavimentos a través de la verificación de daños de forma visual.

4.1. PCI (Índice de Condición del Pavimento)

La metodología del Índice de Condición de Pavimento es muy común, por su fácil implementación y por la evaluación que brinda tanto para pavimentos flexibles como para rígidos.

En toda estructura de pavimento, los deterioros que son producidos por la acción de las cargas del tráfico, clima y otros se pueden clasificar de acuerdo a su clase, severidad y cantidad presente, esta metodología se desarrolló para obtener un Índice de integridad estructural del pavimento con rangos de calificación de 0 a 100, en donde 0 es malo y 100 es excelente. (Díaz Cárdenas, 2013). La metodología implementa una serie de daños, los cuales poseen una unidad de medida y grados de severidad, que de acuerdo a la se deben clasificar y cuantificar para determinar posteriormente el índice de integridad estructural del pavimento y condición operacional de la superficie (Ricardo & Varela, 2002).

CALIFICACION DEL PCI	
PCI	CALIFICACION
100	EXCELENTE
85	
85	MUY BUENA
70	
70	BUENA
55	
55	REGULAR
40	
40	MALA
25	
25	MUY MALA
10	
10	FALLADO
0	

Imagen 4. Calificación del índice de Condición de Pavimentos. (Vasquez Varela, 2002)

La metodología inicia seleccionando una muestra específica para análisis:

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2}$$

En donde:

n = Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar

N = Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento

e = Error admisible en el estimativo del PCI de la sección (*e* = 5%)

σ = Desviación estándar del PCI entre las unidades

En la Fig. 5 se observa la fórmula necesaria para obtener el número de muestras a analizar, es importante conocer que cuando el número mínimo de unidades a evaluar es menor que cinco ($n < 5$), se deberán evaluar todas las unidades. Como recomendación es importante que las unidades a evaluar posean entre ellas un mismo espaciamiento a lo largo de la vía. La primera unidad el evaluador elegirá al azar.

Para la selección de intervalos que serán importantes identificar para las unidades de muestreo se utiliza la fórmula que se muestra a continuación, si la unidad inicial de muestreo para inspección seleccionada es 2 y el intervalo de muestreo (*i*) es igual a 3, las subsiguientes unidades de muestreo a inspeccionar serían 5, 8, 11, 14, etc. Sin embargo, si se requieren cantidades de daño exactas para pliegos de licitación (rehabilitación), todas y cada una de las unidades de muestreo deberán ser inspeccionadas (Palma & Ingeniería, 2015).

$$i = \frac{N}{n}$$

N = Número total de unidades de muestreo disponible

n = Número mínimo de unidades para evaluar

i = Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior

A través de Valores deducidos los cuales se observan en base de gráficas que el propio método entrega para cada daño de acuerdo a su severidad y cantidad y de este modo obtener el valor de PCI, para plantearlo en una curva de deterioro que muestre el valor del PCI VS EDAD.

A continuación, se muestran las gráficas que ayudan en la obtención del Valor deducido total y el Valor deducido corregido.

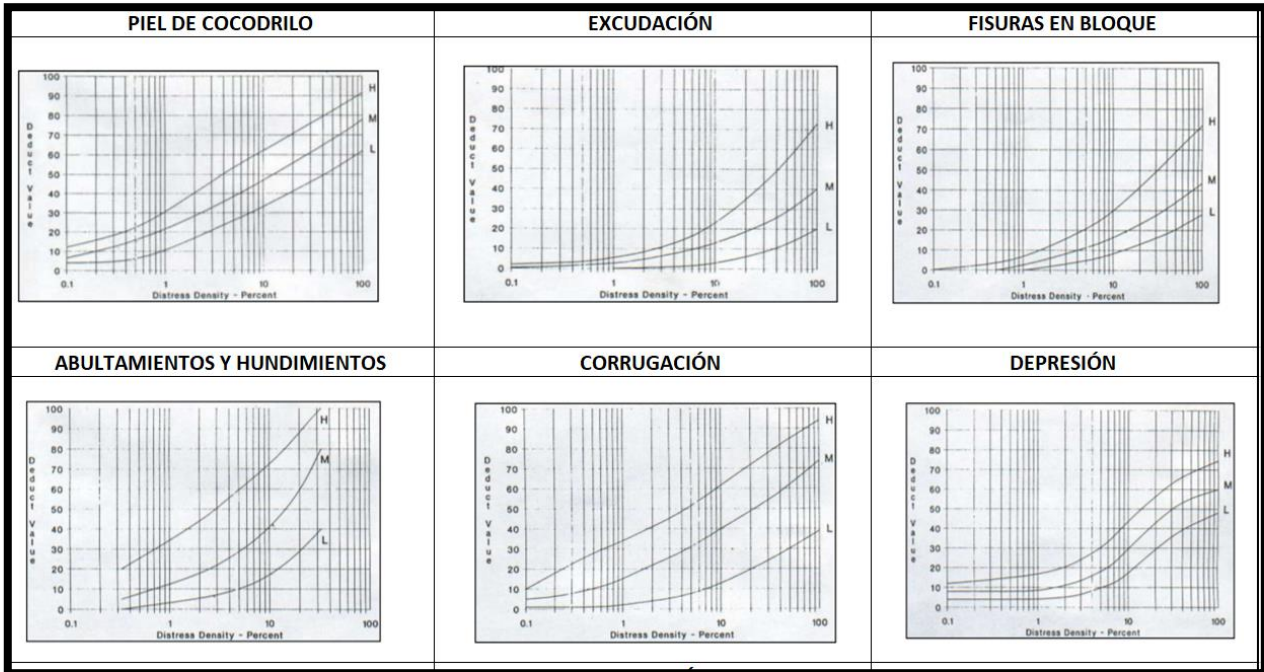


Imagen 5. Gráficas para valores deducidos I. (Vasquez Varela, 2002)

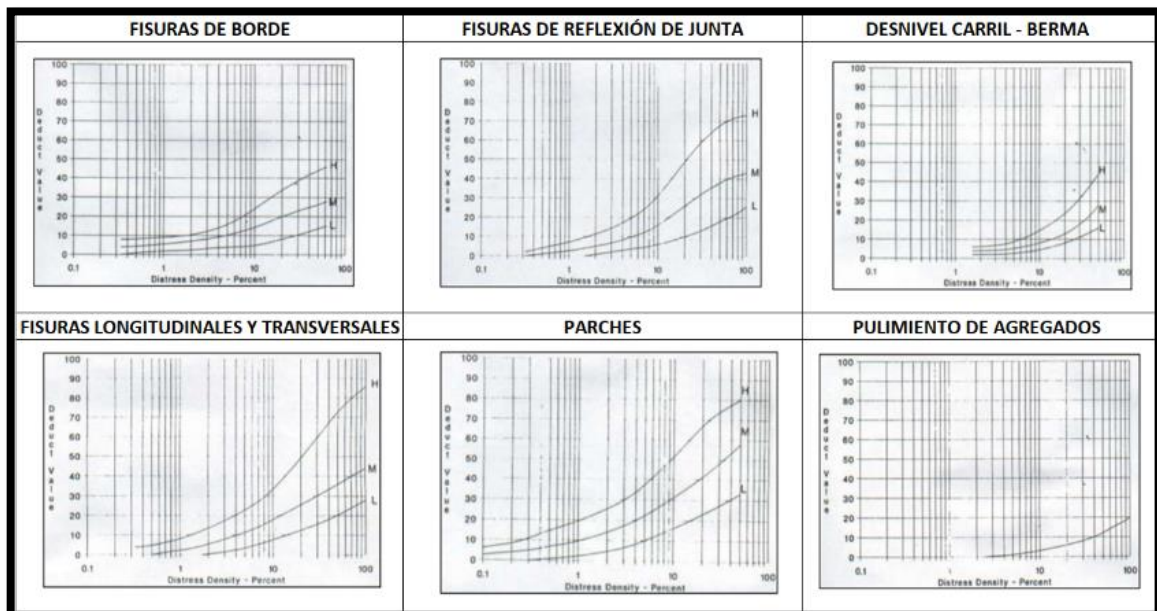


Imagen 6. Gráfica para valores deducidos II. (Vasquez Varela, 2002)

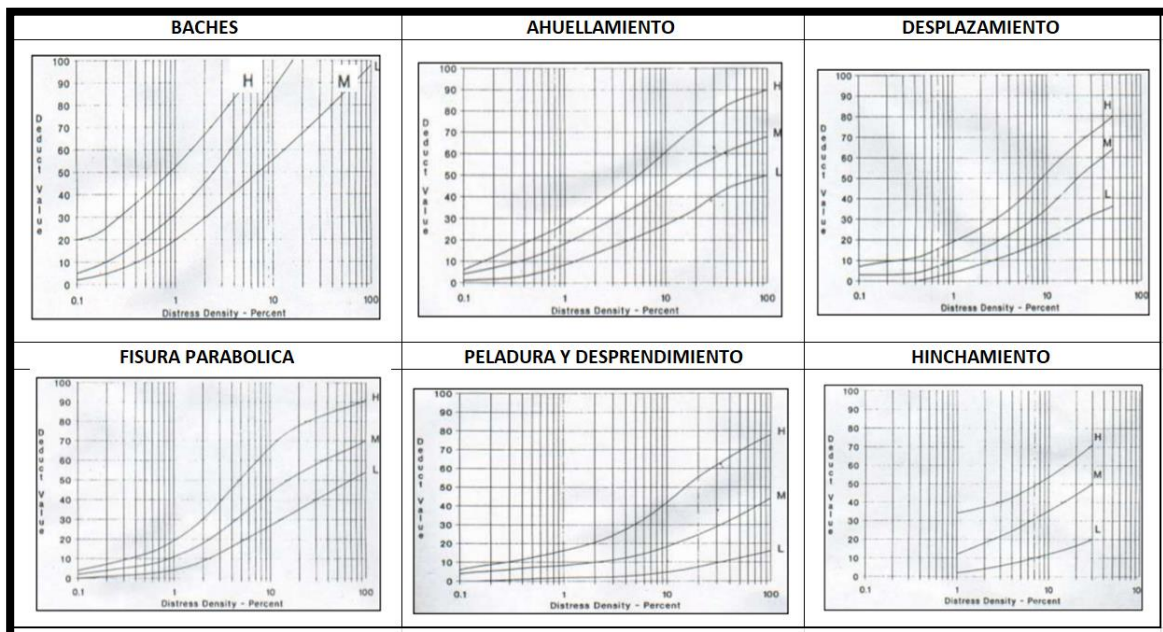


Imagen 7. Gráficas para valores deducidos III. (Vasquez Varela, 2002)

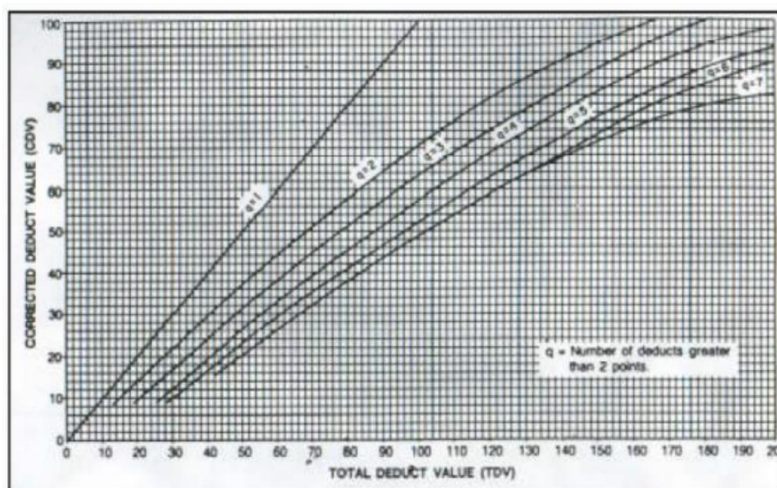


Imagen 8. Gráfica Valor Deducido Total VS Valor Deducido Corregido. (Vasquez Varela, 2002)

Dentro las ventajas y desventajas que posee la metodología se muestra lo siguiente:

Modelo del Índice de Condición de Pavimento	
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil manejo • Sin necesidad de un técnico especialista se puede realizar la evaluación • Muestra resultados del análisis in situ (PCI, Índice de Servicio) • Metodología completa

Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Largo Procedimiento • Resultados dependientes del técnico que realiza la evaluación.
-------------	---

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la metodología PCI

4.2. PAVER

La metodología PAVER se presenta de manera similar a la metodología PCI debido a que usan la misma forma de calificación para la evaluación de las vías.

El método de evaluación visual de pavimento llamado PAVER fue desarrollado en el Laboratorio de Investigación Ingenieril de Construcción del Cuerpo de Ingenieros de la Fuerza Armada de los EE.UU. (USACERL), siendo esta una herramienta de uso militar y civil. Desde su implementación en 1980, ha obtenido una aceptación rápida en los círculos militares y civiles a través del mundo (Guaman & Calero, 2012).

La forma de calificación para la evaluación de pavimentos es la que se maneja en la metodología del PCI, es decir los tipos de deterioro que se encuentran en dicha metodología son varios los cuales se presentan en la Tabla 2.

Nro. de Falla	Falla	Unidad de medida
1	Grieta Piel de Cocodrilo	m2
2	Exudación de Asfalto	m2
3	Grietas de Contracción Bloque	m2
4	Elevaciones - Hundimiento	m2
5	Corrugaciones	m2
6	Depresiones	m2
7	Grietas de Borde	m2
8	Grietas de Reflexión de juntas	m2
9	Desnivel Calzada - Hombrillo	m2
10	Grietas Longitudinales y Transversales	m2
11	Baches y Zanjas Reparadas	m2
12	Agregados Pulidos	m2
13	Huecos	Unidad
14	Cruce de Rieles	m2
15	Ahuellamiento	m2
16	Deformación por empuje	m2
17	Grietas Deslizamiento	m2
18	Hinchamiento	m2
19	Disgregación y Desintegración	m2

Tabla 2. Fallas utilizadas en la metodología PAVER

La metodología PAVER posee las ventajas y desventajas que se muestran en la Tabla 3:

PAVER	
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil manejo • Sin necesidad de un técnico especialista se puede realizar la evaluación • Calificación para Evaluación sencilla
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Largo Procedimiento • Resultados dependientes del técnico que realiza la evaluación.

Tabla 3. Ventajas y desventajas de la metodología PAVER

4.3. PASER

La metodología PASER posee una sistemática para la gestión de los pavimentos desarrollado por Phil Scherer en Wisconsin El método PASER tiene como objetivo principal la inspección visual para evaluar las condiciones de la superficie del pavimento. La clave a una evaluación útil es la identificación de los diferentes tipos de pavimento y malestar, además de su vinculación a una causa (Guaman & Calero, 2012).

La calificación para evaluación que entrega dicha metodología es la siguiente:

TIPOS DE FALLAS	CALIFICACIÓN PASER
1 Lleno de surcos	1 Fracaso
2 Distorsión	2 Muy pobre
3 Grietas transversales	3 Pobre
4 Grietas de deflexión	4 Razonable
5 Grietas de resbalamiento	5 Razonable
6 Grietas longitudinales	6 Bueno
7 Grietas de bloque	7 Bueno
8 Grietas de cocodrilo	8 Muy bueno
9 Parches	9 Excelente
10 Huecos	10 Excelente

Imagen 9. Calificación Metodología PASER. (Guaman & Calero, 2012)

La metodología PASER posee las siguientes ventajas y desventajas:

PASER	
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil manejo • Sin necesidad de un técnico especialista se puede realizar la evaluación • Calificación para Evaluación sencilla.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Resultados dependientes del técnico que realiza la evaluación. • Análisis de deterioros muy específicos • Metodología Incompleta

Tabla 4. Ventajas y desventajas de la metodología PASER

4.4. VIZIR

El método VIZIR entrega un índice que representa el deterioro del pavimento de forma global, con el fin de obtener las actividades necesarias para su mantenimiento. Dicha metodología fue elaborada en Francia y posee un procedimiento sencillo y de simple comprensión.

El índice VIZIR tiene una distinción entre deterioro estructural y deterioro funcional que se puede observar en la vía, la diferencia se la realiza de una forma crítica por el técnico a cargo del análisis.

La clasificación de los deterioros no tiene criterio universal para la valoración de cada uno de estos factores, por esta razón hay diferencias algunas veces importantes entre los criterios adoptados. La metodología VIZIR, clasifica los deterioros en dos categorías A y B. Los del tipo A, caracterizan una condición estructural del pavimento, ligada a las diversas capas y la subrasante o solo a la carpeta asfáltica. Los del tipo B, caracterizan deterioros del tipo funcional, que generalmente tienen su origen en deficiencias constructivas y condiciones locales que el tránsito pone en evidencia. (Guaman & Calero, 2012).

A continuación, se presentan las ventajas y desventajas en el uso de la metodología VIZIR

VIZIR	
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil manejo • Sin necesidad de un técnico especialista se puede realizar la evaluación
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Resultados dependientes del técnico que realiza la evaluación. • Análisis de deterioros muy específicos • Metodología simple

Tabla 5. Ventajas y desventajas de la metodología VIZIR

5. Revisión de los Métodos de Predicción de la Condición

Los métodos de predicción de la condición del pavimento son fundamentales para la realización de sistemas de gestión de mantenimiento. Predecir el deterioro de una vía ha resultado un tema importante para investigar debido a que las condiciones de una carretera varían con el tiempo y con algunos factores. Esta fase es clave para poder realizar actividades que mantengan el pavimento con el fin de conseguir que la vía brinde un buen servicio a los usuarios, se lograrán inversiones de menor costo y administraciones más estables.

La metodología del Índice de Condición de Pavimento forma parte fundamental de ciertos modelos de gestión de mantenimiento de pavimentos y a través de sus muestras e índices obtienen un análisis completo y más aún si se complementan a través de imágenes o fotografías aéreas. Los modelos de predicción han buscado siempre conseguir resultados más cercanos a la realidad con muestreos, análisis de datos y otros procesos con tecnologías más avanzadas.

Para identificar metodologías de predicción del pavimento se debe conocer que el modelo de deterioro del pavimento es una ecuación que se relaciona con un factor de tiempo extrínseco (edad o número de aplicaciones de carga) con una combinación de factores intrínsecos (respuestas estructurales, etc.) e indicadores de rendimiento que simulan el proceso de deterioro del estado del pavimento y proporcionan previsión de las condiciones del pavimento durante un período de tiempo (Gupta, Kumar, & Rastogi, 2011).

Se han revisado varias investigaciones en donde se identifican los diversos modelos de predicción y se concluye que un modelo empírico-mecánico es el más adecuado, con una base de datos acerca del volumen de tráfico (el peso del tráfico expresado en términos de cargas de eje único equivalentes ESAL) y datos de condición para cada sección del pavimento se puede obtener la edad del pavimento, siendo esta característica el predictor más significativo de la capacidad de servicio del pavimento (George et al., 1989).

Fundamentados en la investigación realizada por Muñoz en el año 2017 a través del análisis detallado de los datos, se pudieron identificar tendencias de deterioro a lo largo del tiempo. Cada una de ellas, se puede relacionar con la estructura presente en el camino (Muñoz, 2017).

En el transcurso de los años varios investigadores han buscado modelos de predicción de deterioro, algunos procesos de predicción han descubierto particularidades interesantes que aportan al estudio a realizar en esta ocasión, por ejemplo, reconocer que la capacidad de servicio está influenciada por el perfil longitudinal y transversal, así como por el grado de agrietamiento y parcheo son características importantes y de gran aporte, sin

embargo, la cantidad de peso para asignar a cada elemento en la determinación de la capacidad de servicio general es una cuestión de opinión subjetiva (Terzi, 2007).

La tecnología ha sido un gran aporte para obtener modelos que garanticen resultados veraces. El desarrollo de modelos inteligentes de gestión inteligente del deterioro y el mantenimiento del pavimento es importante para priorizar obras de rehabilitación o reconstrucción. Con la ayuda de la tecnología lo que se quiere es que se realicen métodos que traten de disminuir costes y tiempo, siempre y cuando posean una correcta evaluación. En el caso de que se apoyen a las diferentes metodologías con sistemas computarizados se debe prestar especial atención al proceso de limpieza de datos en el caso de que requiere una cadena de datos de calificaciones de rendimiento del pavimento pertenecientes a una sección de pavimento para ser extraídos y luego analizados (D. Chen & Mastin, 2004).

Para los modelos de predicción de deterioro es importante verificar el factor causante del daño en el pavimento. Con todos los temas analizados alrededor del mundo, no se puede hablar de una causa única del deterioro de las pistas, pues los daños que afectan al pavimento se producen por múltiples factores: podría ser el resultado de un mal diseño del paquete estructural, de la mala calidad de los materiales, de errores constructivos, de un deficiente sistema de drenaje en caso de precipitaciones, del efecto de solicitaciones externas como carga vehicular y agentes climáticos, entre otros. Pero el principal problema consiste en que no se lleva a cabo un mantenimiento adecuado ni se toma en cuenta el plan de vida de la vía, es decir, no se evalúa el comportamiento del pavimento con el paso del tiempo y sólo se interviene cuando el deterioro del pavimento es grave (Rodríguez Velasquez, 2009).

Los principales agentes solicitantes de los pavimentos son las cargas generadas por el tránsito y las condiciones ambientales a las que está expuesto el pavimento durante su vida útil. El tránsito solicitante es un factor de primera importancia a la hora de determinar o predecir el daño en el tiempo que sufrirá un pavimento en un periodo dado. Sin embargo, la caracterización de las solicitaciones producidas por el tránsito sobre los pavimentos es bastante compleja, debido no solo a la variabilidad y periodicidad de los vehículos que lo solicitan, sino también a las interacciones vehículo-pavimento y velocidades de circulación que producen fenómenos con solicitaciones adicionales a las propias cargas estáticas de los vehículos. Por otro lado, se encuentra la humedad, la cual tiene una gran influencia en la adhesividad entre los materiales componentes de las capas asfálticas, junto con ser el origen de los posibles fallos en la estructura de pavimento producto de la infiltración de agua en sus capas inferiores (Valdés Vidal, Pérez-Jiménez, & Calabi, 2012).

La predicción de la condición del pavimento es una parte importante dentro de la evaluación del estado de la infraestructura. Actualmente existen varios modelos de comportamiento que ayudan a predecir la condición futura.

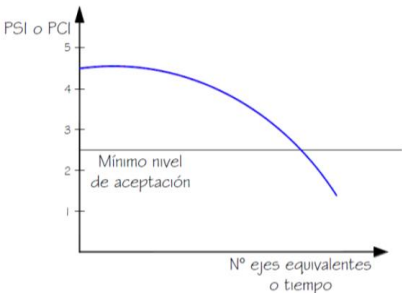
Dentro de los métodos comunes utilizados para la predicción de la condición se encuentran los empíricos de regresión y de cadenas de Markov, siendo de naturaleza determinística y probabilística respectivamente, sin embargo, con el paso de los años a su vez han ido apareciendo otros métodos que han sistematizado la evaluación como las Redes Neuronales, el HDM-4, etc.

5.1. Métodos de Regresión

El modelo de Análisis de Regresión realiza un análisis de tendencia del comportamiento en el tiempo, a través de datos históricos que han sido recolectados durante la vida útil de la infraestructura. Los datos necesarios para el uso del modelo de regresión deben ser agrupados con características similares como: estructura, tránsito, clima, etc.

Las metodologías que utilizan análisis de regresión lo hacen para establecer relación empírica entre dos o más variables y en algunos casos se pueden utilizar regresión: lineal entre dos variables, lineal múltiple y no lineal (Villacorta, 2004).

Para el uso de modelos de regresión se debe tomar en cuenta la forma funcional de las curvas esperadas en el momento que se realice el análisis de regresión. Con las investigaciones que se han realizado a través del tiempo han existido varios modelos (curvas) que se han obtenido por ajustes de regresión, entre las más importantes las siguientes de la Tabla 6.

CURVAS GENERADAS POR METODOS DE REGRESIÓN	DESCRIPCIÓN
	<p>Curva de Comportamiento de los Pavimentos. (Vial et al., 2012)</p>

	<p>Efecto del mantenimiento preventivo y rehabilitación en IRI. (Vera, Thenoux, Solminihaç, & Echaveguren, 2010)</p>
	<p>Curva de deterioro en las obras viales a través del tiempo. (Gonzales & Mexico, 2016).</p>

Tabla 6. Curvas generadas por métodos de regresión

5.2. Cadenas de Markov

Las metodologías a través de las cadenas de Markov son utilizadas para determinar a través de análisis probabilísticos el estado futuro de la infraestructura de un pavimento basándose de su estado actual. El análisis probabilístico se lo realiza en base a la Matriz de Transición de Probabilidades (MTP), el mismo que describe el comportamiento con variaciones probabilísticas de un estado a otro.

Los métodos realizados en base a cadenas de Markov entregan resultados de tipo probabilísticos para la evolución de deterioros los mismos que pueden ser cuantitativos y cualitativos a partir de datos como la distribución de información histórica y encuestas a expertos.

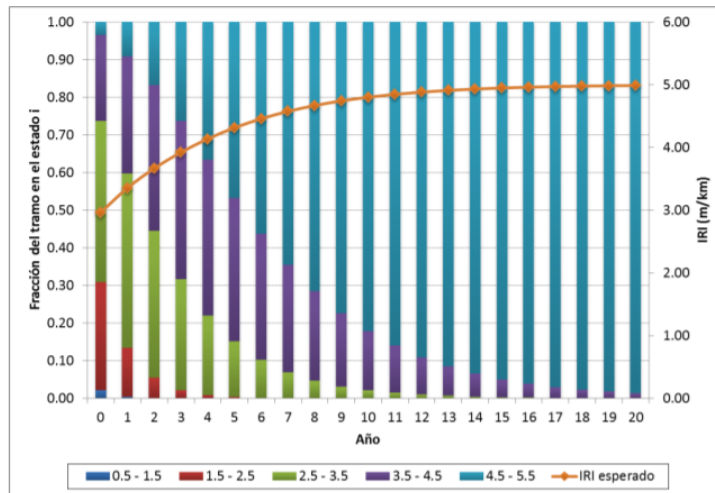


Imagen 10. Resultados obtenidos en un tramo de vías con la aplicación de cadenas de Markov. (Ortega, 2014)

5.3. Redes Neuronales

La tecnología representada a través de redes neuronales artificiales (ANN) y programación genética (GP) han entregado resultados reales y coincidentes con los que suceden in situ en las vías evaluadas. Aunque las redes neuronales sean un gran modelo, se debe poseer varios datos y a su vez el análisis resultaría más largo, sin embargo, en comparación con modelos basados en GP, fue más preciso. (Shahnazari, Tutunchian, Mashayekhi, & Amini, 2012)

Obtener curvas de deterioro que ayuden con la predicción de los pavimentos es una metodología adecuada siempre y cuando sean utilizadas particularmente para la vía que se vaya a analizar sin generalizar resultados ni tratando de obtener similitudes entre las muestras analizadas.

Las redes neuronales se conforman mediante neuronas interconectadas las cuales reciben, procesan y transmiten señales o información a las otras con las cuales tienen conexión. Los modelos que utilizan esta metodología de análisis toman como referente las redes neuronales biológicas y en especial, la complejidad de la estructura y la eficiencia del cerebro humano para procesar información y tomar decisiones, dando como resultado procesos inteligentes que sirven para encontrar relaciones complejas no lineales en problemas complejos de regresión multi-variada. (Gloria, Beltrán, Miguel, Romo, & Ingeniería, 2011)

5.4. Otros métodos

Las herramientas que actualmente aprovechan la tecnología son varias, las misma que de una u otra manera hay que aprovecharlas y mejorarlas en todo sentido para poder obtener metodologías que brinden la posibilidad entregar resultados confiables. (Fernando, Gabriel, & Luis, 2016)

Es por ello que desde el primer instante que se pudo mejorar la forma para cuantificación de deterioro se planteó el modelo HDM-4 el mismo que es utilizado en ciertas zonas africanas con el fin de mejorar el mantenimiento en sus vías.

El HDM-4 es un paquete de software desarrollado por el banco mundial junto con la asociación mundial de la carretera (PIARC), gestionado y comercializado en la actualidad por HDMGlobal, que sirve como herramienta para el análisis, planificación, gestión y evaluación de inversiones para la conservación y mejora de carreteras. (HDMGlobal, 2004)

Para obtener el HDM-4 se debe obtener las licencias de uso respectivas, esto con el fin de comercializar el producto, en algunos casto siendo costes mayoritarios si se los trata de adquirir individualmente, mientras que si se trata de una licencia para todo un país existe mayor consideración y el costo podría ser menor.

El modelo desarrollado permite establecer el año de iniciación del agrietamiento, así como el porcentaje de área afectada en cualquier año del ciclo de vida de un pavimento asfáltico a nivel de red, dependiendo de la severidad del daño y para cualquier probabilidad de ocurrencia. Su uso debe ser aplicado a análisis de estrategia en el programa HDM-4. (Rodríguez Moreno, Thenoux Zeballos, & González Vaccarezza, 2013).

Los Sistema de Gestión de Pavimentos (PMS) debe desarrollarse para abordar los problemas más importantes y planificar las estrategias e intervenciones óptimas de la red de carreteras. (Susanna et al., 2017)

Existen varias herramientas que han ido apareciendo con el fin de apoyar la evaluación y predicción de los pavimentos. Algunos de ellos describen las capacidades estructurales y funcionales del pavimento de una sección de la carretera teniendo en cuenta todos los datos recopilados para la condición de la superficie. El análisis realizado en base a ecuaciones que entreguen resultados reales es el objetivo principal (Shah, Jain, Tiwari, & Jain, 2013)

Es importante la aplicación de sistemas que entreguen resultados a menor tiempo, sin embargo, su principal problema es la necesidad de trabajar con cantidades grandes de datos para obtener resultados. Motivo por el cual no se ha utilizado en dicha investigación.

Una de las investigaciones que entrega un modelo para la predicción de la condición del pavimento es la generada por (George et al., 1989) la cual, a través de una ecuación en

base a la edad del pavimento, ejes equivalentes de cargas, condición de la estructura del pavimento y cantidad de tráfico entrega un valor de predicción.

La investigación mencionada obtiene la ecuación a través del análisis empleando información histórica y datos de monitoreo durante un período de 2 años en 2,000 millas de carreteras, con lo cual se separan a las vías dependiendo los grupos de pavimento:

- Pavimentos flexibles sin superposición
- Pavimentos flexibles con una o más superposiciones
- Pavimentos compuestos.

Se desarrolló un modelo para cada familia de pavimentos. Y a través de la comparación con otros modelos se validó los resultados de esta manera se obtuvo la siguiente ecuación para predicción del deterioro:

$$PCI(t) = 90 - a[\exp(\text{edad}^b) - 1] \log \left[\frac{ESAL}{SNS^c} \right]$$

En donde:

ESAL: Eje individual equivalente anual

SNC: Número estructural modificado

6. Planteamiento de la Metodología

La investigación que se plantea a continuación tiene el fin de llegar al cumplimiento de los objetivos para la mejora de la gestión del mantenimiento de pavimentos urbanos en la ciudad de Valencia a través de la predicción de su deterioro. Para el análisis en la presente investigación se tomará una muestra representativa (24 vías) de la ciudad de Valencia.

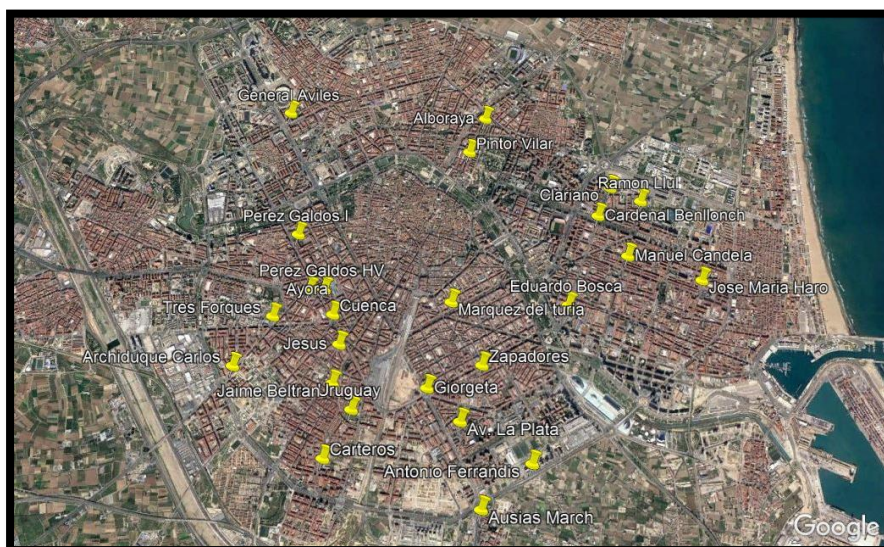


Imagen 11. Vías analizadas de la ciudad de Valencia (24 vías)

En el presente apartado se muestra el procedimiento para la evaluación de la condición de una vía y la metodología utilizada para obtener la predicción del deterioro realizado a las 24 vías de la ciudad de Valencia.

Después de analizar los métodos de evaluación de la condición y predicción del deterioro se decide utilizar la metodología del Índice de Condición del pavimento en base a curvas generadas a través de análisis de regresión, las mismas que muestran el comportamiento del pavimento en el tiempo. Se ha elegido realizar el análisis por los métodos antes mencionados debido a que los datos utilizados son de acuerdo a los años que tiene la infraestructura y a la cantidad de tráfico existente en cada vía.

6.1. Procedimiento

El procedimiento utilizado para la presente investigación es el siguiente:

- a. Ayudados de la herramienta Google Earth se procederá a obtener las imágenes en el tiempo de todas las vías seleccionadas como muestra. Para cada vía se deberán tomar diferentes imágenes para cada año a analizar (mínimo 6 imágenes).
- b. De acuerdo a lo que se observó en las imágenes entregadas por Google Earth se procede a evaluar la condición del pavimento para aquello se utilizó la Metodología PCI iniciando por la selección de muestras de acuerdo al cálculo propio del método, para la inspección y verificación de daños en la vía se tomará en cuenta la cantidad, severidad y tipo de daño con lo cual después del análisis se obtendrá el valor del PCI.
- c. Al analizar las investigaciones realizadas acerca de modelos de predicción se seleccionó un modelo específico que aporte en la presente investigación. En la investigación realizada por (George et al., 1989) en donde se habla de los modelos de predicción del deterioro del Pavimento se plantea una metodología para obtener dicho valor fundamentados en la edad del pavimento, volumen de tráfico de acuerdo a los ejes equivalentes de las cargas, condición de la estructura del pavimento basado en el número estructural. Es importante conocer que los factores a utilizar en las ecuaciones deberán ser tomados de acuerdo al artículo en análisis.
- d. Con los valores y fórmulas que entrega el artículo mencionado en el punto anterior se obtiene la ecuación teórica para la predicción del deterioro del pavimento. Para aquello se debe recalcar que los valores de las variables serán de acuerdo a la categorización de acuerdo al tipo de vía tomados del documento base para el análisis (George et al., 1989), mientras que los valores de IMDp son tomados del Ayuntamiento de Valencia.

- e. Las ecuaciones que se obtienen para cada vía nos ayudan a obtener el valor del Índice de Condición del Pavimento (PCI), teniendo en cuenta que la variable dentro de la ecuación será el tiempo. Los valores de PCI serán definidos para 21 años debido a que es el tiempo de vida útil que debe cumplir el pavimento.
- f. Se colocan los valores de PCI en un gráfico que represente la edad del pavimento VS PCI para obtener la curva de deterioro teórica. La curva generada entregará una nueva ecuación que gobierne la curva de deterioro teórica.
- g. En la ecuación obtenida se remplazan los valores del PCI dados con el análisis de las imágenes de Google Earth, con el fin de obtener el valor que represente la edad del pavimento. Con la ayuda de la función SOLVER (Excel) se obtienen los valores de edad ingresando el valor del PCI en la ecuación, dicho proceso solo se realizará con los valores del Índice de Condición del pavimento (en base a las imágenes de Google Earth) del primer año de cada vía con lo cual se obtiene la edad teórica que tendrá el pavimento en la fecha que se indica en las imágenes que brinda la herramienta de Google Earth.
- h. Se procede a obtener fracciones de tiempo reales entre las fechas consecutivas de la toma de datos (mes – año de las imágenes que entrega Google Earth de las diferentes vías).
- i. A través de las imágenes que se logran obtener en el punto b) de la presente metodología se verifica si alguna de las muestras analizadas (vías) tuvo el cierto tiempo algún tipo de mantenimiento como: sellado de fisuras longitudinales y transversales, parcheo en huecos, parcheo en piel de cocodrilo y recapeo o rehabilitación.
- j. El valor del PCI tomado del primer año de las imágenes de Google Earth es el punto de partida del modelo de deterioro que se plantea, para encontrar la edad en el siguiente año se sumará la fracción anual de tiempo que tendrá la siguiente toma de datos según las imágenes de Google Earth, así para todos los años posteriores, es muy importante indicar que se volverá a encontrar nuevamente la edad teórica en el caso de existir rehabilitación en la vía, siendo este el nuevo punto de partida que dará continuación a la curva de deterioro del modelo
- k. A partir de este punto dentro de la metodología se procederá a la elaboración del modelo de predicción de deterioro del pavimento en pavimentos urbanos de la ciudad de Valencia.
- l. Se realiza una gráfica PCI VS EDAD. Siendo el valor del PCI los tomados en base a las imágenes de Google Earth y la edad los valores obtenidos para los tres primeros años de análisis.
- m. Se obtiene una ecuación cuadrática que se busca se ajuste a la tendencia de datos de Google es decir con la edad del siguiente punto se encontrará el PCI basados en la ecuación cuadrática y se verificara la diferencia existente con el valor tomado de Google Earth, buscando que el error sea menor o igual a 5 basados en la metodología PCI.

- n. Se obtiene la ecuación para PREDECIR EL DETERIORO en base a los datos de Google Earth.
- o. Se realiza la inspección a cada vía en análisis para poder obtener un valor de PCI in situ y actualizado.
- p. De acuerdo a la última edad obtenida a través de los datos de Google Earth se suma la fracción de tiempo referente al dato de Google Earth con los datos de PCI obtenido en JUNIO DEL 2018. Con este valor se puede predecir el PCI tanto teórico como de Google Earth basados en sus respectivas ecuaciones.
- q. Se realiza la comparación entre los valores de PCI de Google Earth, teóricos e in situ, para verificar si el modelo es adecuado.

En el esquema siguiente se muestra en resumen el procedimiento antes mencionado

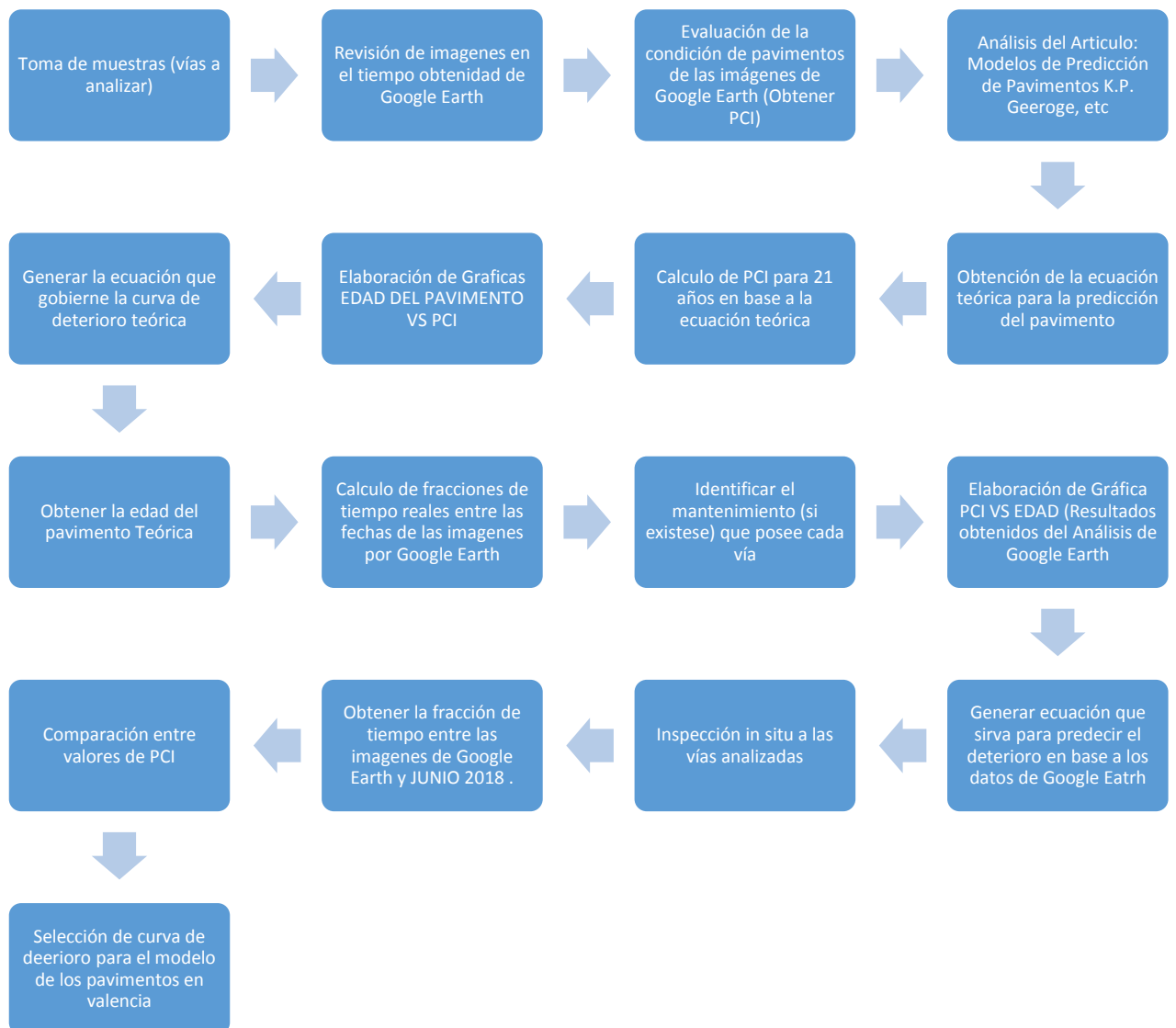


Imagen 12. Esquema del Procedimiento



Método de Evaluación

Máster en Planificación y Gestión de Proyectos en Ingeniería Civil

7. Método de Evaluación de la Condición basado en el PCI

7.1. Definición del Método

El método propuesto se basa en la evaluación de la condición del pavimento a las 24 vías de la ciudad de Valencia, comparando los valores del PCI en varios años y utilizando la inspección in situ y a través de imágenes de Google Earth con el fin de identificar si el uso de estas imágenes sistematiza el proceso de evaluación.

El análisis de las vías para la obtención del valor de la condición del pavimento actual se realizó con una inspección visual in situ a cada una de las vías, mientras que para el valor del índice de condición de pavimento a través de las imágenes de Google Earth se realiza por la identificación visual con mediciones de cada deterioro detectado a escala de las imágenes.

Los valores de predicción para las inspecciones in situ (valores reales de PCI) y para las imágenes de Google Earth son obtenidos de acuerdo a las curvas en base a la metodología PCI, dichos valores entraran en un análisis comparativo con los valores de PCI obtenidos a través de la ecuación entregada por los investigadores (George, Rajagopal, & Lim, 1989).

7.2. Aplicación del Método a la Ciudad de Valencia

La siguiente tabla contiene el valor del PCI obtenido según la ecuación de Google Earth de cada vía, es decir el índice de condición de pavimento en el que se encuentra la vía en el año 2018 en la ciudad de Valencia, para con estos valores poder validar el modelo propuesto.

Vía	Tramo	Año	PCI	Estado
PEREZ GALDOS, entre Jesús y Cuenca	1	2012	47,23	REGULAR
		2014	65,07	BUENO
		2016	50,68	REGULAR
	2	2012	51,54	REGULAR
		2014	37,70	MALO
		2016	38,93	MALO
P.E. AV. GIORGETA Entre San Vicente y Ausias March	1	2012	59,79	BUENO
		2014	37,90	MALO
		2016	25,35	MALO
	2	2012	40,70	REGULAR
		2014	35,20	MALO
		2016	36,50	MALO
		2011	64,77	BUENO
		2012	57,35	BUENO

CLARIANO Entre Blasco Ibáñez y ALBALAT DELS TARONGERS	1	2014	45,19	REGULAR
		2015	37,01	MALO
		2016	30,81	MALO
		2017	94,69	EXCELENTE
DOCTOR MANUEL CANDELA Entre Santos Justo y Pastor y Blasco Ibáñez	1	2011	62,42	BUENO
		2013	56,44	BUENO
		2014	50,93	REGULAR
		2015	39,51	MALO
		2016	29,32	MALO
AUSIAS MARCH Entre Boulevard Sur y Hermanos Maristas	1	2017	23,29	MUY MALO
		2012	62,78	BUENO
		2013	55,21	BUENO
		2014	52,41	REGULAR
		2015	40,39	REGULAR
		2016	32,81	MALO
GENERAL AVILES Entre Pío XII y Av. Burjasot	1	2017	31,50	MALO
		2012	69,20	BUENO
		2013	60,35	BUENO
		2014	57,36	BUENO
		2015	55,26	BUENO
TRES FORQUES Entre Pérez Galdós y Archiduque Carlos	1	2017	44,43	REGULAR
		2012	69,86	BUENO
		2013	60,54	BUENO
		2014	45,47	REGULAR
		2015	36,94	MALO
		2016	58,41	BUENO
MARQUES DEL TURIA Entre Puente Aragón y Hernán Cortés	1	2017	35,06	MALO
		2012	59,15	BUENO
		2013	40,25	REGULAR
		2014	35,57	MALO
		2015	35,11	MALO
		2016	33,65	MALO
AV. DE LA PLATA Entre Autopista del Saler y General Urrutia	1	2017	28,40	MALO
		2013	74,17	MUY BUENO
		2014	64,95	BUENO
		2015	64,00	BUENO
		2016	47,74	REGULAR
		2017	31,77	MALO
		2012	78,35	MUY BUENO
		2014	70,83	MUY BUENO

RAMON LLULL Entre Blasco Ibáñez y Camino el Cabañal	1	2015	53,57	REGULAR
		2016	42,73	REGULAR
		2017	33,99	MALO
P.I. ANTONIO FERRANDIS Entre Ausias March y Autopista del Saler	1	2012	86,98	EXCELENTE
		2013	85,35	EXCELENTE
		2014	94,27	EXCELENTE
		2016	75,89	MUY BUENO
JAIME BELTRAN Entre Gaspar Aguilar y Uruguay	1	2017	60,75	MUY BUENO
		2012	59,11	BUENO
		2013	54,28	REGULAR
		2014	47,96	REGULAR
		2015	42,43	REGULAR
ARCHIDUQUE CARLOS Entre Fontanares y Tres Forques	1	2016	37,54	MALO
		2017	33,99	MALO
		2012	63,08	BUENO
		2013	57,31	BUENO
		2014	56,14	BUENO
		2015	45,76	REGULAR
JESUS De G.V. Ramón y Cajal a Pérez Galdós	1	2016	39,48	MALO
		2017	12,70	MUY MALO
		2012	71,51	MUY BUENO
		2013	67,11	BUENO
		2014	62,66	BUENO
URUGUAY. Entre Gaspar Aguilar y Jaime Beltrán	1	2015	57,83	BUENO
		2016	56,91	BUENO
		2017	54,58	REGULAR
		2012	70,70	MUY BUENO
		2013	69,46	BUENO
CARTEROS Entre Uruguay y Dr. Tomas Sala	1	2014	64,38	BUENO
		2015	48,46	REGULAR
		2016	44,44	REGULAR
		2017	42,79	REGULAR
		2012	77,53	MUY BUENO
		2013	72,76	MUY BUENO
		2014	70,88	MUY BUENO
		2015	60,74	BUENO
		2016	58,30	BUENO
		2017	57,09	BUENO
		2013	65,21	BUENO

ZAPADORES De Av. De la Plata a Peris y Valero	1	2014	51,94	REGULAR
		2015	100,00	EXCELENTE
		2016	91,15	EXCELENTE
		2017	83,32	MUY BUENO
CUENCA De San José de Calasanz a Fernando el Católico	1	2012	69,91	BUENO
		2013	63,57	BUENO
		2014	57,61	BUENO
		2015	47,77	REGULAR
		2016	65,58	BUENO
		2017	61,73	BUENO
PINTOR VILAR	1	2012	37,18	MALO
		2013	32,37	MALO
		2014	27,47	MALO
		2015	100,00	EXCELENTE
		2016	92,06	EXCELENTE
		2017	81,32	MUY BUENO
JOSE MARIA HARO Entre Justo y Pastor y Pedro de Valencia	1	2012	63,64	BUENO
		2014	48,39	REGULAR
		2015	44,67	REGULAR
		2016	35,63	MALO
		2017	28,48	MALO
AYORA De Tres Forques a Av. Del Cid	1	2013	51,51	REGULAR
		2014	47,05	REGULAR
		2015	46,03	REGULAR
		2016	44,44	REGULAR
		2017	94,20	EXCELENTE
EDUARDO BOSCA Entre Nueva Alameda y Av. Del Puerto	1	2012	75,29	MUY BUENO
		2013	64,73	BUENO
		2014	63,30	BUENO
		2015	60,97	BUENO
		2016	55,40	BUENO
		2017	46,55	REGULAR
CARDENAL BENLLOCH Entre Santos Justo y Pastor a Blasco Ibáñez	1	2011	71,04	MUY BUENO
		2013	66,28	BUENO
		2014	61,28	BUENO
		2015	58,75	BUENO
		2016	57,52	BUENO
		2017	52,40	REGULAR
ALBORAYA De San Pío V a Molinell	1	2012	72,64	MUY BUENO
		2013	67,21	BUENO
		2014	66,54	BUENO
		2015	59,15	BUENO

	2016	58,07	BUENO
	2017	53,07	REGULAR

Tabla 7. Valores de PCI de las imágenes obtenidas por Google Earth

7.3. Análisis de los datos y discusión de los resultados

En el Anexo IV se muestran todas las tablas relativas a la valoración de la condición de cada vía en los distintos años que proporciona la herramienta Google Earth. Se puede observar que el deterioro común entre ellas son la piel de cocodrilo y las fallas longitudinales y transversales. Es importante recalcar que por medio de la inspección visual a cada fotografía se pudo verificar el deterioro existente en la vía y así también identificar si en uno de los años analizados existió algún tipo de mantenimiento.

Con las imágenes brindadas por Google Earth se observó el deterioro, por lo que la longitud, el ancho, la descripción (es decir, los tipos de grietas) y la severidad de la grieta se midieron a partir de las fotografías. La profundidad de la grieta es la única información que no se puede identificar incluso con imágenes de mayor resolución. Otros defectos, como parches, escamas, astillas, delaminación y refuerzo expuesto y baches también se pueden identificar mediante el uso de fotografías aéreas. Tecnología SFAP de alta resolución (Chen, Asce, Rice, Boyle, & Hauser, 2011)

Los daños encontrados en cada vía varían de acuerdo a los factores que la producen y el análisis realizado a las vías en base a imágenes de Google Earth entregará resultados observando superficies de asfalto donde las texturas y rugosidades son variables. (Zhang et al., 2017)

El análisis se realizó identificando las imágenes de todas las vías analizadas como muestra. De las 24 vías analizadas se muestra que 11 de las mismas dentro de los años analizados se ha presentado formas para dar mantenimiento a las vías como las que se muestran a continuación:

- Vía: Ramón Llull: En el año 2015 se realizó el sellado de fisuras longitudinales y transversales.
- Vía: Antonio Ferris: En el año 2014 se realiza el repapeo de la vía
- Vía: Uruguay: En el año 2014 se realizó sellado de fisuras
- Vía: Zapaderos: En el año 2015 se realizó el repapeo de la vía
- Vía: Cuenca: En el año 2015 se realizó parcheo
- Vía: José María Haro de realizó repapeo en el año 2017
- Vía: Avenida de la Plata: En el año 2015 se realizó sellado de fisuras
- Vía: Ausias March: En el año 2014 se realizó sellado de fisuras
- Vía: Tres Forques: En el año 2016 se realizó el parcheo de la vía.
- Vía: Marqués de Turia: Se realizó en el año 2015 el sellado de fisuras

- Vía: General Avilés: En el año 2014 se realizó el sellado de fisuras.

La metodología PCI siendo una de las más utilizadas a nivel mundial ha entregado la capacidad de que una persona analice la vía de acuerdo a su punto de vista y el fin de aquello es que se alcance a través de un sistema de gestión que el pavimento complete su vida útil. Uniendo la metodología PCI y el análisis a través de fotografías de Google Earth hace posible que se obtengan resultados reales por la cantidad de años en los cuales se analiza, por lo cual es un método adecuado, sin dejar de lado que los resultados serían mucho más eficaces si se trabajaría en base a redes neuronales.

Las imágenes de varios años aportan para la verificación del estado de la vía, el cual si se realizó algún mantenimiento hará notar que la vía en vez de empeorar su estado tiene a Modelo de Predicción del Deterioro.

7.4. Desarrollo del modelo

Luego de obtener los valores de la condición del pavimento, es importante realizar los procesos necesarios para obtener la condición futura de las vías en análisis. Se exploraron varios modelos que se han realizado con el fin de producir un error estándar de estimación bajo siendo el análisis deseado lo siguiente:

Partiendo de la ecuación propuesta (George et al., 1989)

$$PCI(t) = 90 - a[\exp(edad^b) - 1] \log \left[\frac{ESAL}{SNC^c} \right]$$

En donde:

ESAL: Eje individual equivalente anual

SNC: Número estructural modificado

En la siguiente imagen se pueden identificar los valores para todas las variables de la ecuación del índice de la condición del pavimento en función del tiempo.

Parameter	Range of Each Parameter, Flexible Pavement		
	No Overlay	Overlay	Composite Pavement
Number of data points	54	193	135
Thickness of AC surface, inches (<i>T</i>)	NA	1.0–8.0	2.0–5.0
Modified structural number (<i>SNC</i>)	2.5–7.7	1.1–8.2	NA
Yearly equivalent single axle load (<i>ESAL</i>)	1,055–104,965	1,191–809,289	4,331–119,696
Age since construction or last overlay, years	1–16	1–10	1–10
Pavement condition rating (<i>PCR</i>)	59–89	62–89	52–89
Year of <i>PCR</i> survey	1986–1988	1986–1988	1986–1988

Imagen 13. Valores de parámetros de una base de datos empírica. (George et al. 1989)

Los valores de a, b y c son constantes dependiendo el tipo de pavimento:

Type of Pavement	Regression Coefficient	Standard Error of estimate, %	R ²
Flexible Original	a = 0.6349	17.1	0.75
	b = 0.4203	5.6	
	c = 2.7062	21.4	
Flexible Overlay	a = 0.8122	7.4	0.76
	b = 0.3390	3.2	
	c = 0.8082	38.8	
Composite	a = 1.7661	3.0	0.69
	b = 0.2826	6.0	

Imagen 14. Parámetros estadísticos para la predicción de modelos. (George et al. 1989)

La ecuación que se plantea para la obtención del PCI en función del tiempo está influenciada por tres factores: edad, tráfico y SNC. El valor de tráfico para el presente estudio fue tomado del Ayuntamiento de Valencia.

7.4.1. Categorización de Vías

Categorización de las vías según el tipo de tráfico que poseen, tanto de livianos y de pesados. Fundamentados en el artículo base para el análisis el cual se indica dentro de la metodología, se pretende tomar de punto de partida el análisis de varias ecuaciones para poder obtener un correcto valor de predicción del pavimento, para aquello es importante trabajar con los valores que se muestran constantes en varias ecuaciones para determinar los correctos resultados.

Los índices que se muestran a continuación se utilizarán debido a que de acuerdo al artículo analizado se plantean dichos valores para la obtención del deterioro.

INDICES	
a	0,6349
b	0,4203
c	2,7062
SNC	5
IMDp	1,594
Livianos	0,0124

Tabla 8. Valores de los índices utilizados en la ecuación (George et al., 1989).

7.4.2. Cálculo de Valores para PCI Teórico en el tiempo

Se han revisado varias investigaciones en donde se identifican los diversos modelos de predicción y se concuerda que un modelo empírico-mecánico es el más adecuado, con una base de datos sistemática que incluye información estructural, volumen de tráfico y datos de condición para cada sección "homogénea" de la carretera con lo cual se consiguen las ecuaciones de predicción. La edad es el predictor más significativo de la capacidad de servicio del pavimento, el volumen y el peso del tráfico expresado en términos de cargas de eje único equivalentes (ESAL) y la composición estructural del pavimento descrito por el número estructural compuesto desempeñan solo un papel secundario en la predicción del rendimiento de los pavimentos. (George et al., 1989)

VIA	IMD	IMDp	Livianos	ESAL
P.E. AV. GIORGETA Entre San Vicente y Ausias March	65145	832	64313	775146,558
AUSIAS MARCH Entre Boulevard Sur y Hermanos Maristas	59703	1064	58639	884445,954
MARQUES DEL TURIA Entre Puente Aragón y Hernán Cortés	57663	719	56944	676049,934
GENERAL AVILES Entre Pío XII y Av. Burjasot	55585	374	55211	467481,926
PEREZ GALDOS Entre Jesús y Cuenca	53836	623	53213	603309,668
P.I. ANTONIO FERRANDIS Entre Ausias March y Autopista del Saler	51914	0	51914	234962,764
AV. DE LA PLATA Entre Autopista del Saler y General Urrutia	42891	253	42638	340177,518
EDUARDO BOSCA Entre Nueva Alameda y Av. Del Puerto	42289	309	41980	369780,77

CARDENAL BENLLOCH Entre Santos Justo y Pastor a Blasco Ibáñez	35848	252	35596	307723,616
DOCTOR MANUEL CANDELA Entre Santos Justo y Pastor y Blasco Ibáñez	33002	131	32871	224991,256
ARCHIDUQUE CARLOS Entre Fontaneres y Tres Forques	30876	1021	29855	729151,74
CLARIANO Entre Blasco Ibáñez y ALBALAT DELS TARONGERS	29459	214	29245	256870,21
JESUS De G.V. Ramón y Cajal a Pérez Galdós	23222	169	23053	202663,768
RAMON LLULL Entre Blasco Ibáñez y Camino el Cabañal	19834	144	19690	172897,58
TRES FORQUES Entre Pérez Galdós y Archiduque Carlos	14049	614	13435	418038,15
URUGUAY. Entre Gaspar Aguilar y Jaime Beltrán	10411	79	10332	92725,622
CARTEROS Entre Uruguay y Dr. Tomas Sala	10411	79	10332	92725,622
ZAPADORES De Av. De la Plata a Peris y Valero	10377	156	10221	137022,606
ALBORAYA De San Pío V a Molinell	9260	131	9129	117534,964
AYORA De Tres Forques a Av. Del Cid	8472	114	8358	104154,648
JAIME BELTRAN Entre Gaspar Aguilar y Uruguay	6032	79	5953	72906,268
JOSE M^a HARO Entre Justo y Pastor y Pedro de Valencia	5418	180	5238	128432,988
CUENCA De San José de Calasanz a Fernando el Católico	5295	393	4902	250837,782
PINTOR VILAR	2676	35	2641	32316,516

Tabla 9. Valores de tráfico para las vías en Análisis tomados del Ayuntamiento de Valencia

Ahora en base a este ESAL y a los índices se puede aplicar la siguiente ecuación que nos permitirá encontrar un PCI teórico durante 21 años que son para los cuales se encuentra diseñada la vía:

$$PCI(t) = 90 - a[\exp(edad^b) - 1] \log \left[\frac{ESAL}{SNS^c} \right]$$

Los valores resultantes de dicha ecuación se muestran a continuación:

PCI Teórico

VÍA	AÑO																					
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Giorgeta	90,00	85,64	82,86	80,13	77,32	74,39	71,32	68,08	64,66	61,05	57,25	53,24	49,02	44,58	39,90	34,99	29,84	24,42	18,75	12,81	6,59	0,08
Ausias March	90,00	85,58	82,76	79,99	77,14	74,17	71,05	67,76	64,29	60,64	56,78	52,72	48,43	43,93	39,19	34,20	28,97	23,49	17,73	11,70	5,40	-1,20
Marqués del Turia	90,00	85,70	82,97	80,28	77,51	74,63	71,59	68,40	65,03	61,48	57,74	53,79	49,63	45,25	40,65	35,81	30,73	25,40	19,81	13,96	7,83	1,42
General Avilés	90,00	85,88	83,25	80,67	78,02	75,25	72,34	69,28	66,05	62,64	59,05	55,26	51,27	47,07	42,66	38,01	33,14	28,03	22,67	17,05	11,17	5,02
Pérez Galdós	90,00	85,76	83,06	80,40	77,67	74,82	71,83	68,67	65,35	61,84	58,14	54,24	50,14	45,81	41,27	36,49	31,47	26,21	20,69	14,91	8,86	2,53
Antonio Ferrandis	90,00	86,20	83,79	81,41	78,97	76,42	73,74	70,92	67,94	64,81	61,50	58,01	54,33	50,47	46,40	42,12	37,64	32,93	27,99	22,82	17,41	11,74
Av. De La Plata	90,00	86,03	83,50	81,01	78,46	75,79	72,99	70,04	66,93	63,64	60,18	56,53	52,69	48,64	44,39	39,91	35,22	30,29	25,13	19,72	14,05	8,13
Eduardo Bosca	90,00	85,99	83,44	80,92	78,34	75,65	72,82	69,84	66,70	63,38	59,88	56,20	52,32	48,23	43,93	39,41	34,67	29,70	24,48	19,02	13,30	7,31
Cardenal Belloch	90,00	86,08	83,58	81,12	78,60	75,96	73,19	70,28	67,20	63,96	60,54	56,93	53,13	49,14	44,93	40,51	35,87	31,01	25,90	20,56	14,96	9,11
Dr. Manuel Candela	90,00	86,22	83,82	81,46	79,03	76,49	73,83	71,02	68,06	64,94	61,65	58,18	54,53	50,68	46,64	42,38	37,92	33,24	28,33	23,18	17,80	12,17
Archiduque Carlos	90,00	85,67	82,91	80,20	77,41	74,50	71,44	68,22	64,83	61,24	57,47	53,49	49,29	44,88	40,24	35,36	30,23	24,86	19,23	13,32	7,15	0,68
Clariano	90,00	86,16	83,72	81,31	78,84	76,27	73,56	70,71	67,70	64,53	61,18	57,65	53,94	50,03	45,91	41,59	37,05	32,29	27,30	22,07	16,60	10,87
Jesús	90,00	86,27	83,90	81,57	79,17	76,67	74,04	71,27	68,35	65,27	62,02	58,60	54,99	51,20	47,20	43,01	38,60	33,98	29,14	24,06	18,75	13,19
Ramón Llull	90,00	86,35	84,03	81,74	79,39	76,94	74,36	71,65	68,79	65,77	62,59	59,23	55,70	51,98	48,07	43,96	39,64	35,11	30,37	25,39	20,19	14,74
Tres Forques	90,00	85,93	83,34	80,79	78,17	75,44	72,57	69,55	66,36	62,99	59,45	55,71	51,77	47,62	43,26	38,68	33,87	28,82	23,53	17,99	12,19	6,12
Uruguay	90,00	86,64	84,51	82,41	80,25	77,99	75,63	73,13	70,50	67,73	64,80	61,72	58,47	55,05	51,46	47,68	43,71	39,55	35,19	30,62	25,83	20,83
Carteros	90,00	86,64	84,51	82,41	80,25	77,99	75,63	73,13	70,50	67,73	64,80	61,72	58,47	55,05	51,46	47,68	43,71	39,55	35,19	30,62	25,83	20,83
Zapadores	90,00	86,46	84,21	81,99	79,71	77,33	74,83	72,20	69,43	66,50	63,42	60,16	56,73	53,13	49,33	45,35	41,16	36,77	32,16	27,34	22,29	17,01
Alboraya	90,00	86,53	84,32	82,15	79,92	77,59	75,15	72,57	69,85	66,98	63,96	60,77	57,42	53,88	50,17	46,26	42,16	37,86	33,35	28,63	23,68	18,51
Ayora	90,00	86,59	84,42	82,28	80,09	77,80	75,39	72,86	70,18	67,36	64,39	61,26	57,96	54,48	50,83	46,99	42,95	38,72	34,29	29,64	24,78	19,69
Jaime Beltrán	90,00	86,76	84,70	82,67	80,58	78,40	76,11	73,71	71,17	68,49	65,66	62,68	59,54	56,24	52,77	49,12	45,29	41,26	37,05	32,63	28,01	23,17
José María Haro	90,00	86,49	84,26	82,06	79,80	77,44	74,97	72,36	69,61	66,71	63,65	60,42	57,02	53,45	49,69	45,73	41,58	37,23	32,67	27,88	22,88	17,64
Cuenca	90,00	86,17	83,74	81,34	78,88	76,31	73,61	70,76	67,76	64,60	61,26	57,75	54,04	50,14	46,04	41,73	37,21	32,46	27,49	22,27	16,81	11,10
Pintor Vilar	90,00	87,14	85,33	83,54	81,70	79,78	77,77	75,64	73,41	71,04	68,55	65,93	63,17	60,26	57,20	53,98	50,60	47,06	43,35	39,45	35,38	31,12

Tabla 10. Valores de PCI para 21 años de las vías en análisis

7.4.3. Ecuación teórica para la predicción del deterioro en vías de la ciudad de Valencia.

Luego de tener todas las gráficas en donde se muestra la relación entre el PCI con el tiempo, se determina las ecuaciones de las curvas de deterioro teórico, con las cuales se puede obtener el tiempo de vida teórico en el cual se encuentra el pavimento.

Los valores de tiempo que se encuentran a través de este proceso representan el punto inicial o de partida para poder encontrar la edad de todos los valores de PCI encontrados por Google Earth.

En la tabla que se muestra a continuación se puede identificar la ecuación teórica de cada vía en análisis.

ECUACION TEORICA PARA LA PREDICCIÓN DEL DETERIORO EN VÍAS DE LA CIUDAD DE VALENCIA		
Vía	Ecuación	R2
Giorgeta	$PCI = -0,0968(Edad)^2 - 2,1135(Edad) + 87,989$	1,000
Ausias March	$PCI = -0,0982(Edad)^2 - 2,1437(Edad) + 87,96$	1,000
Marqués del Turia	$PCI = -0,0954(Edad)^2 - 2,0821(Edad) + 88,019$	1,000
General Avilés	$PCI = -0,0915(Edad)^2 - 1,9974(Edad) + 88,099$	1,000
Pérez Galdós	$PCI = -0,0942(Edad)^2 - 2,0559(Edad) + 88,043$	1,000
Antonio Ferrandis	$PCI = -0,0902(Edad)^2 - 1,9685(Edad) + 88,127$	1,000
Av. De La Plata	$PCI = -0,0882(Edad)^2 - 1,9244(Edad) + 88,169$	1,000
Eduardo Bosca	$PCI = -0,089(Edad)^2 - 1,9435(Edad) + 88,15$	1,000
Cardenal Belloch	$PCI = -0,0871(Edad)^2 - 1,9014(Edad) + 88,191$	1,000
Dr. Manuel Candela	$PCI = -0,0838(Edad)^2 - 1,8295(Edad) + 88,259$	1,000
Archiduque Carlos	$PCI = -0,0962(Edad)^2 - 2,0994(Edad) + 88,002$	1,000
Clariano	$PCI = -0,0852(Edad)^2 - 1,8599(Edad) + 88,23$	1,000
Jesús	$PCI = -0,0827(Edad)^2 - 1,8055(Edad) + 88,282$	1,000
Ramón Llull	$PCI = -0,081(Edad)^2 - 1,769(Edad) + 88,316$	1,000
Tres Forques	$PCI = -0,0903(Edad)^2 - 1,9717(Edad) + 88,124$	1,000
Uruguay	$PCI = -0,0745(Edad)^2 - 1,6259(Edad) + 88,453$	1,000
Carteros	$PCI = -0,0745(Edad)^2 - 1,6259(Edad) + 88,453$	1,000
Zapadores	$PCI = -0,0786(Edad)^2 - 1,7156(Edad) + 88,367$	1,000
Alboraya	$PCI = -0,077(Edad)^2 - 1,6804(Edad) + 88,401$	1,000
Ayora	$PCI = -0,0757(Edad)^2 - 1,6526(Edad) + 88,427$	1,000
Jaime Beltrán	$PCI = -0,072(Edad)^2 - 1,5707(Edad) + 88,505$	1,000
José María Haro	$PCI = -0,0779(Edad)^2 - 1,7007(Edad) + 88,381$	1,000
Cuenca	$PCI = -0,085(Edad)^2 - 1,8544(Edad) + 88,235$	1,000
Pintor Vilar	$PCI = -0,0634(Edad)^2 - 1,3839(Edad) + 88,683$	1,000

Tabla 11. ECUACION Ecuación Teórica para la predicción del deterioro en vías de la ciudad de Valencia

7.4.4. Curvas de deterioro teóricas

Una vez obtenidas las ecuaciones de las curvas que relacionan el PCI con el tiempo, se obtienen las curvas las 24 vías de Valencia, y de este modo utilizando estadística se puede obtener el valor del coeficiente R^2 a través de modelos de regresión.

A continuación, se puede observar las curvas teóricas de cada una de las vías en análisis:

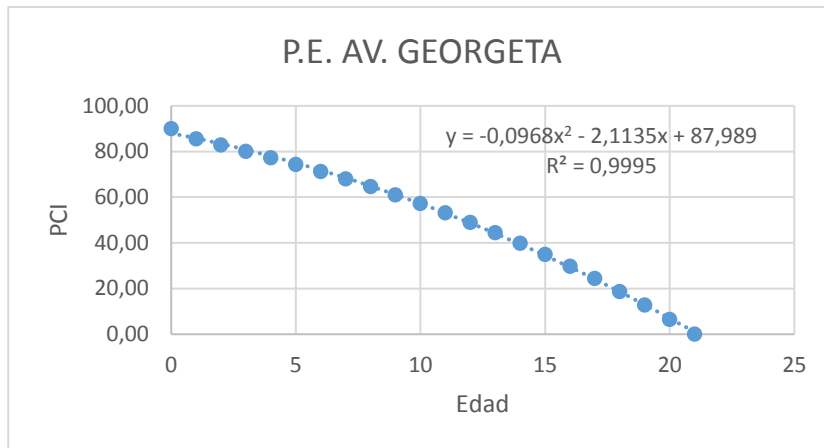


Imagen 15. Curva de deterioro teórica vía: P.E. AV. GEORGETA

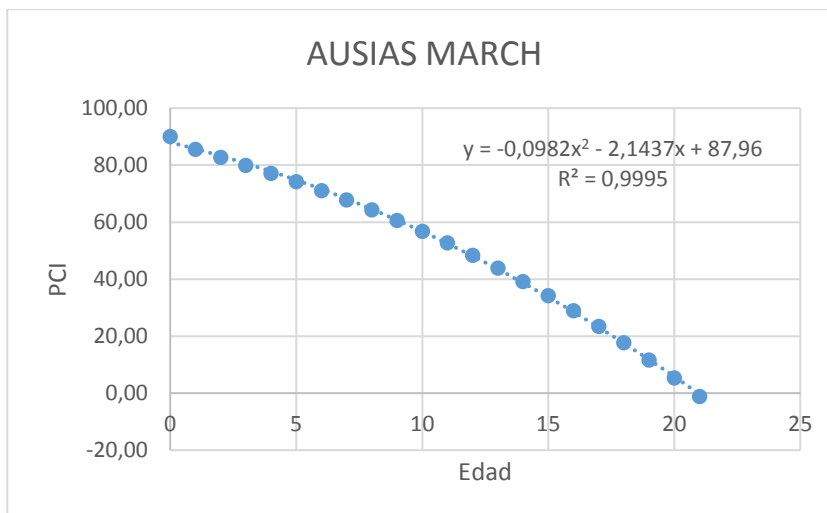


Imagen 16. Curva de deterioro teórica vía: AUSIAS MARCH

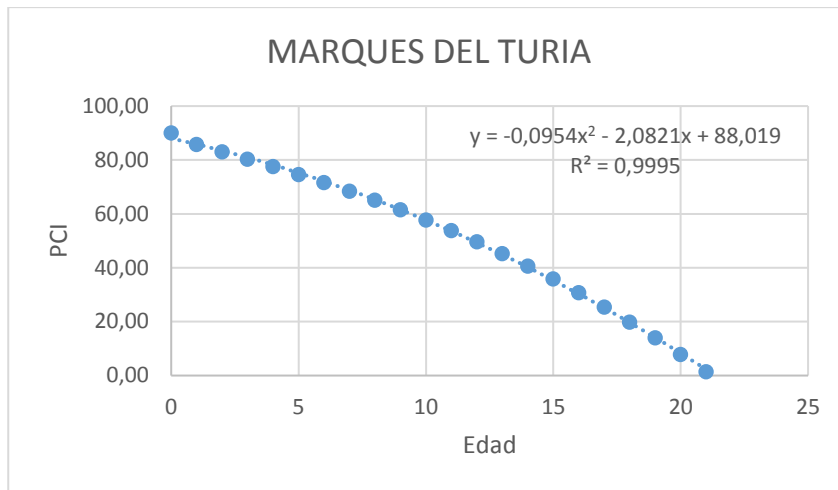


Imagen 17. Curva de deterioro teórica vía: MARQUES DEL TURIA

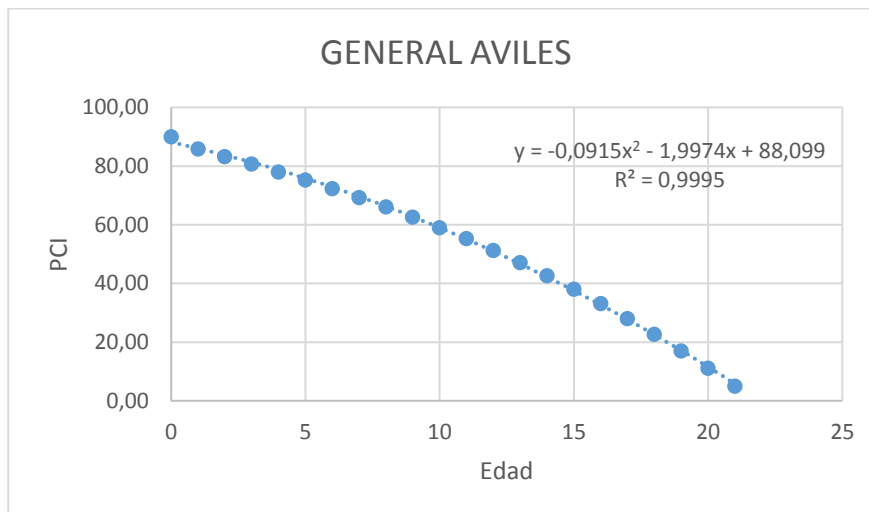


Imagen 18. Curva de deterioro teórica vía: GENERAL AVILES

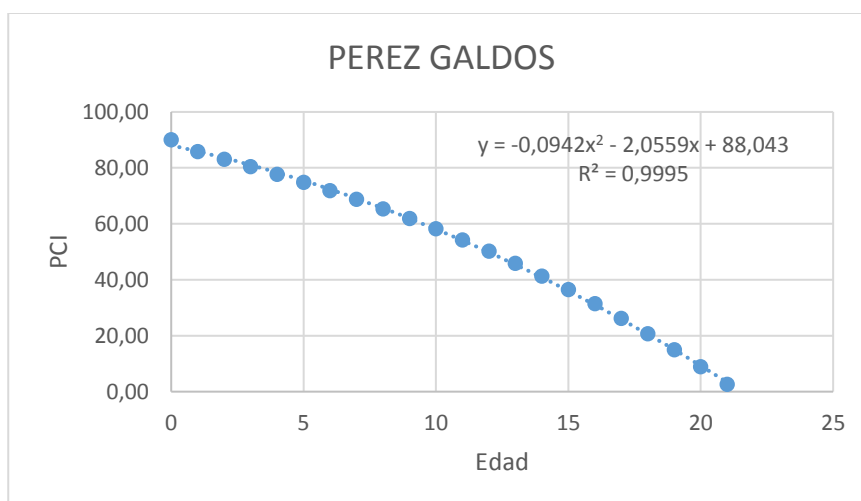


Imagen 19. Curva de deterioro teórica vía: PEREZ GALDOS

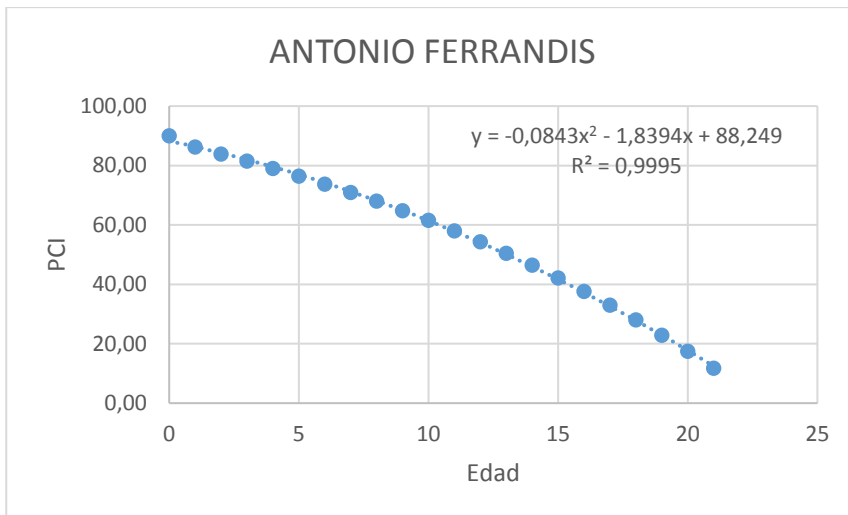


Imagen 20. Curva de deterioro teórica vía: ANTONIO FERRANDIS

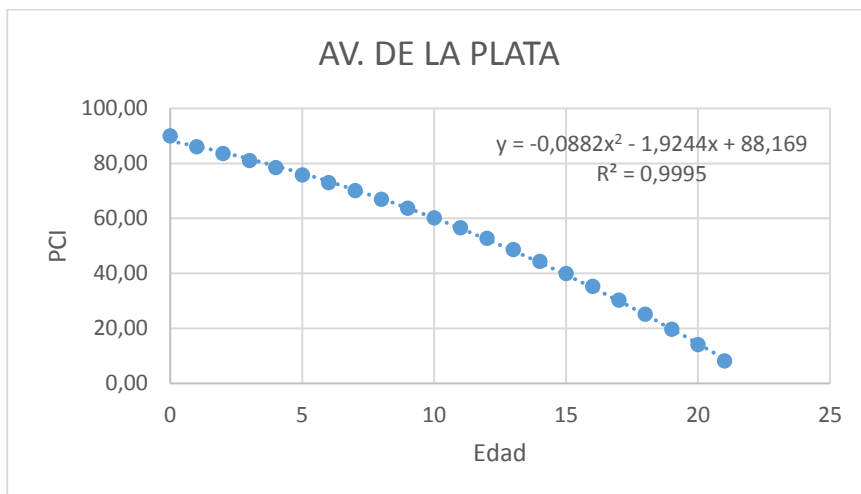


Imagen 21. Curva de deterioro teórica vía: AV. DE LA PLATA

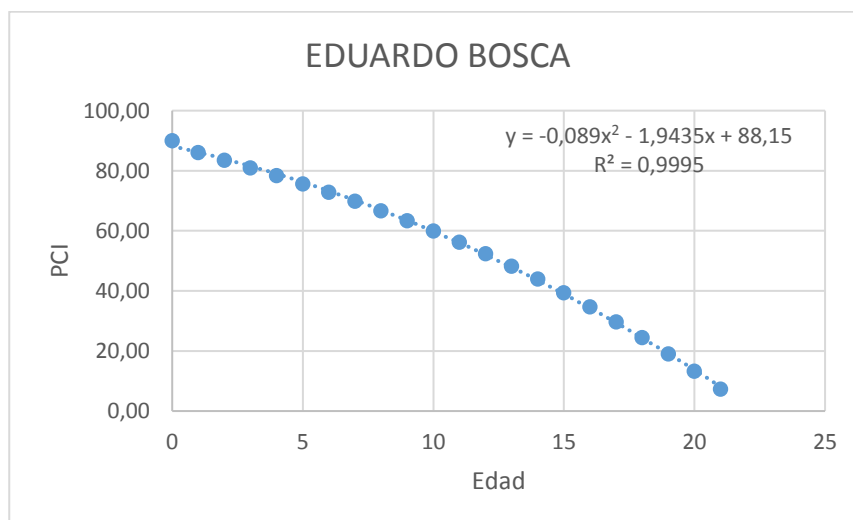


Imagen 22. Curva de deterioro teórica vía: EDUARDO BOSCA

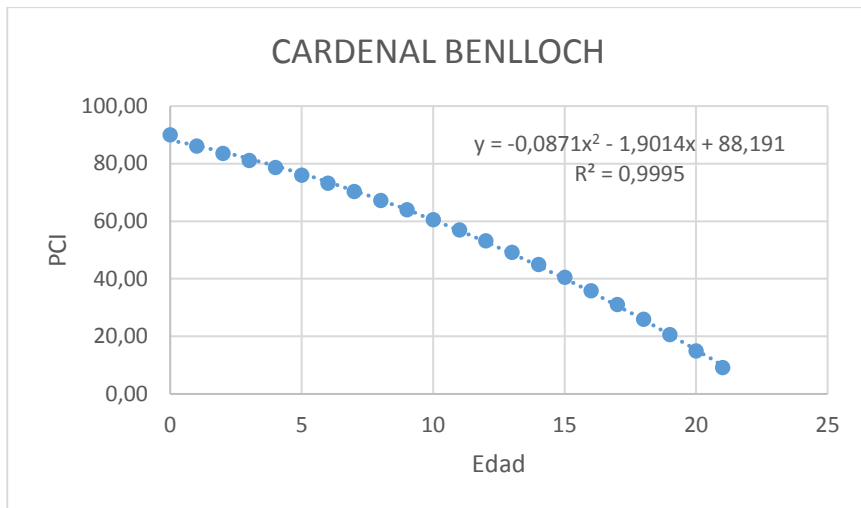


Imagen 23. Curva de deterioro teórica vía: CARDENAL BENLLOCH

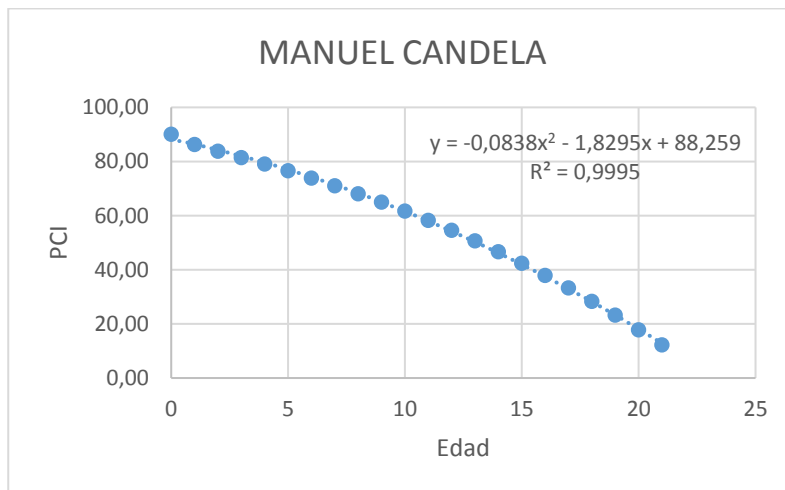


Imagen 24. Curva de deterioro teórica vía: MANUEL CANDELA

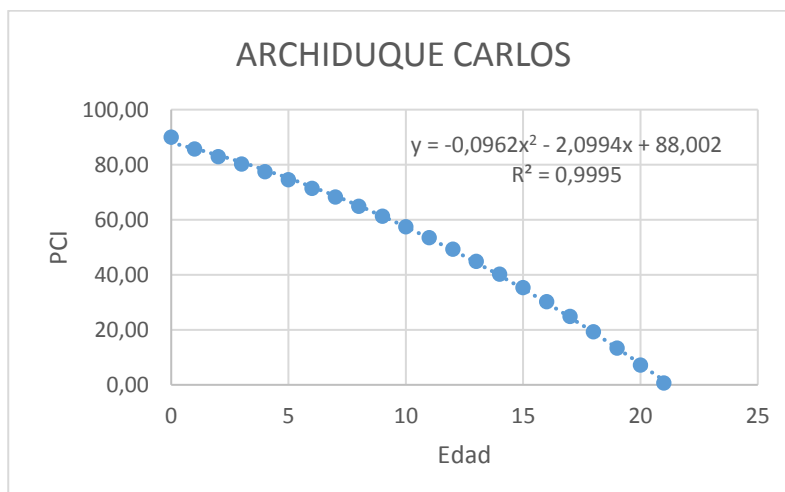


Imagen 25. Curva de deterioro teórica vía: ARCHIDUQUE CARLOS

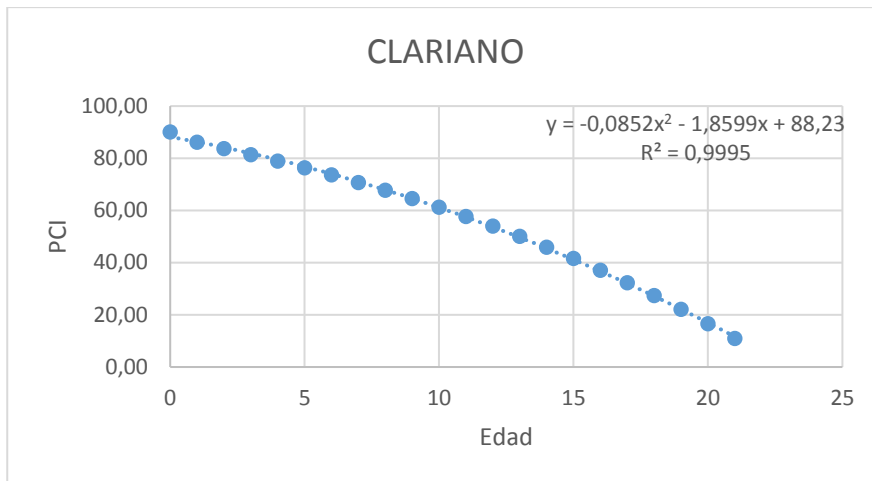


Imagen 26. Curva de deterioro teórica vía: CLARIANO

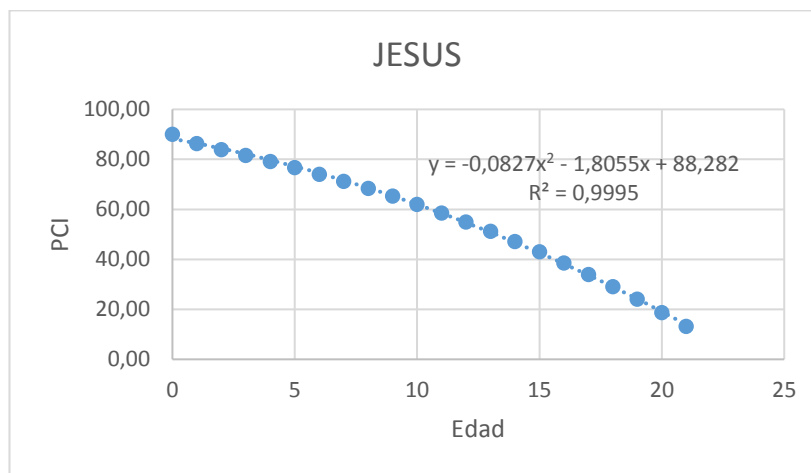


Imagen 27. Curva de deterioro teórica vía: JESUS

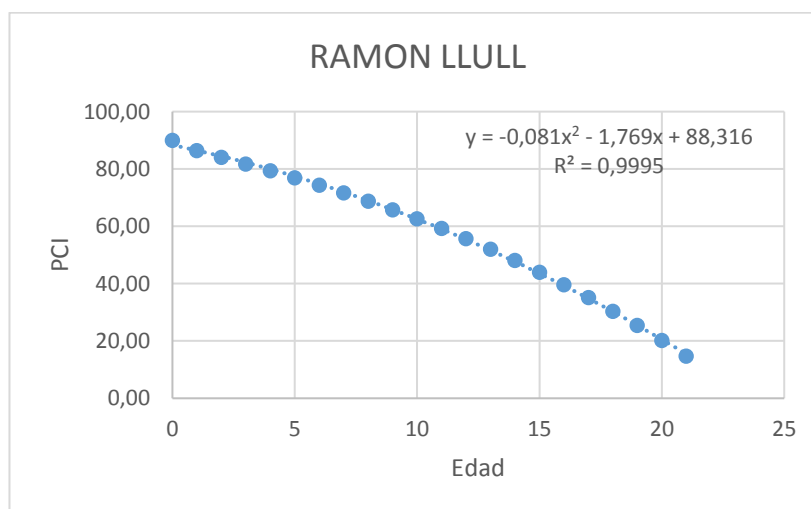


Imagen 28. Curva de deterioro teórica vía RAMON LLULL

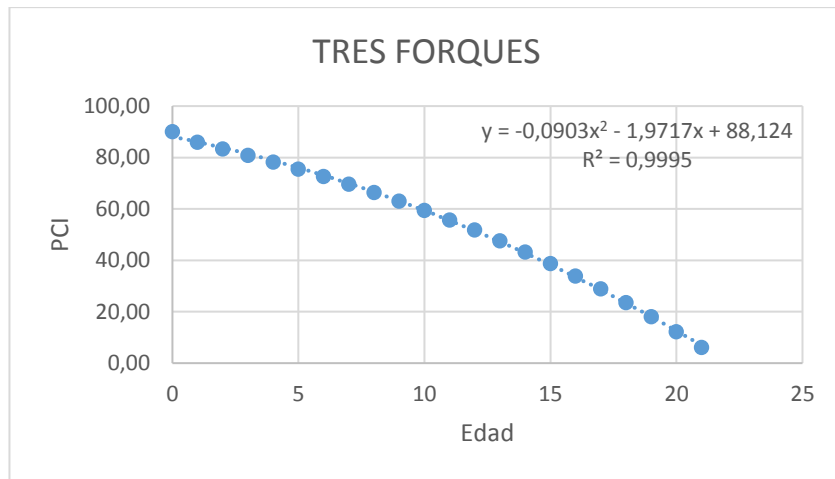


Imagen 29. Curva de deterioro teórica vía: TRES FORQUES

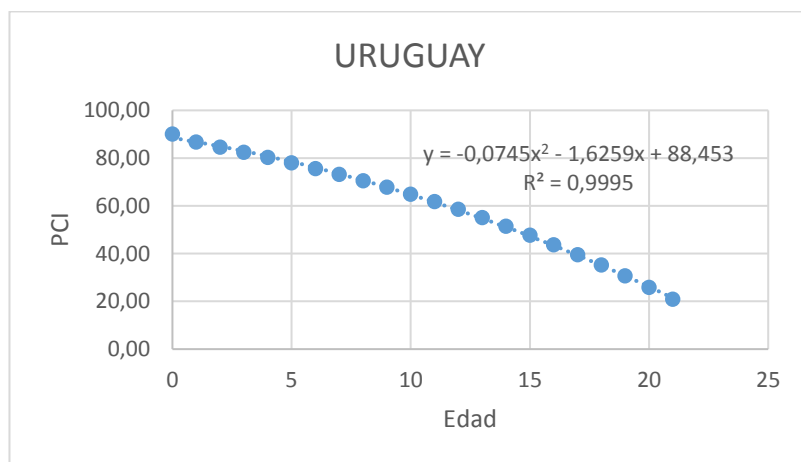


Imagen 30. Curva de deterioro teórica vía: URUGUAY

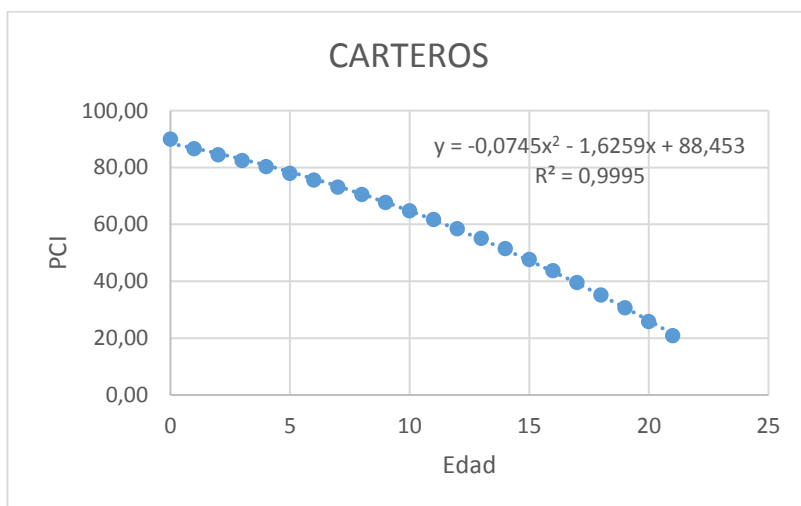


Imagen 31. Curva de deterioro teórica vía: CARTEROS

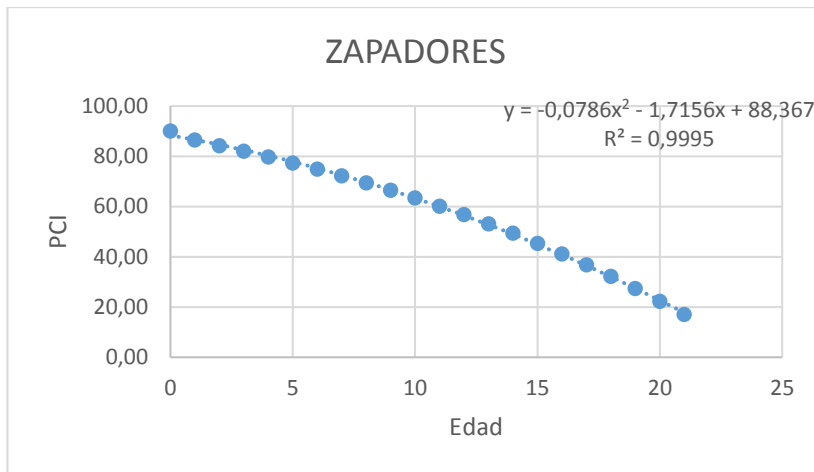


Imagen 32. Curva de deterioro teórica vía: ZAPADORES

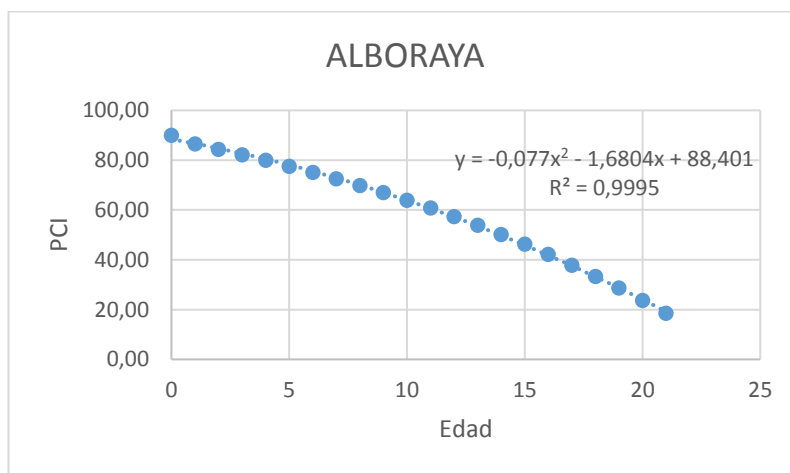


Imagen 33. Curva de deterioro teórica vía: ALBORAYA

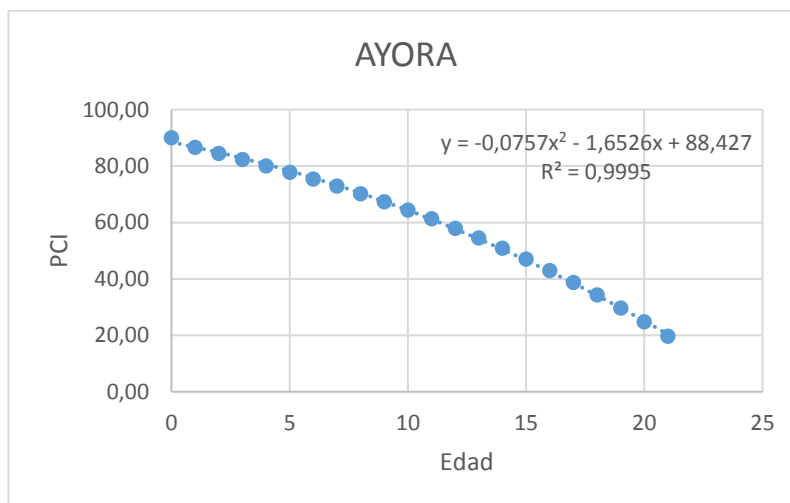


Imagen 34. Curva de deterioro teórica vía: AYORA

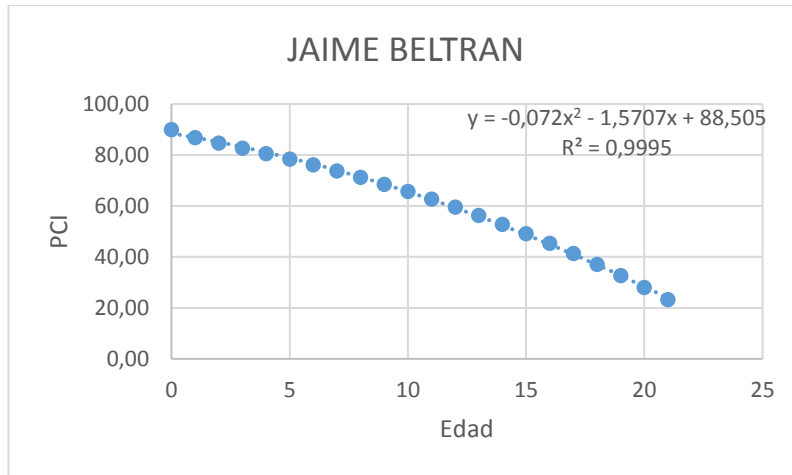


Imagen 35. Curva de deterioro teórica vía: JAIME BELTRÁN

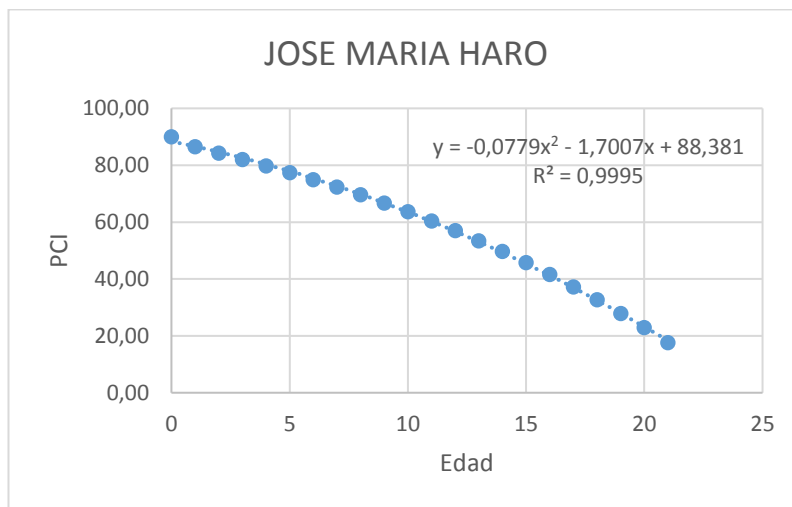


Imagen 36. Curva de deterioro teórica vía: JOSE MARIA HARO

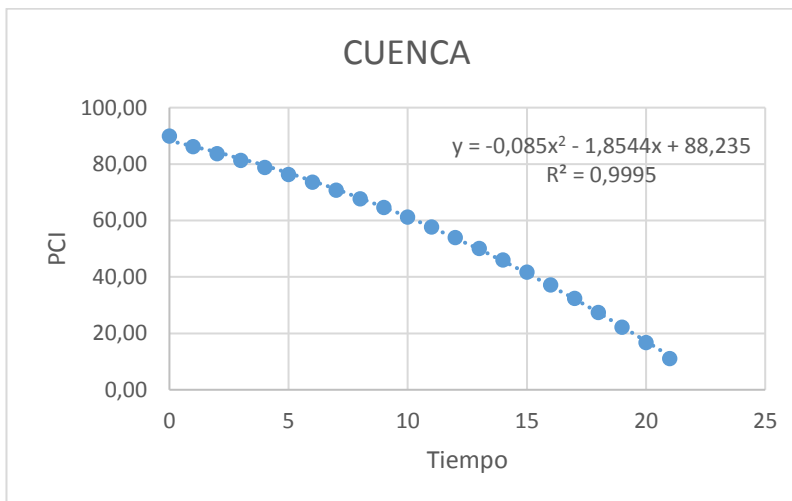


Imagen 37. urva de deterioro teórica vía: CUENCA

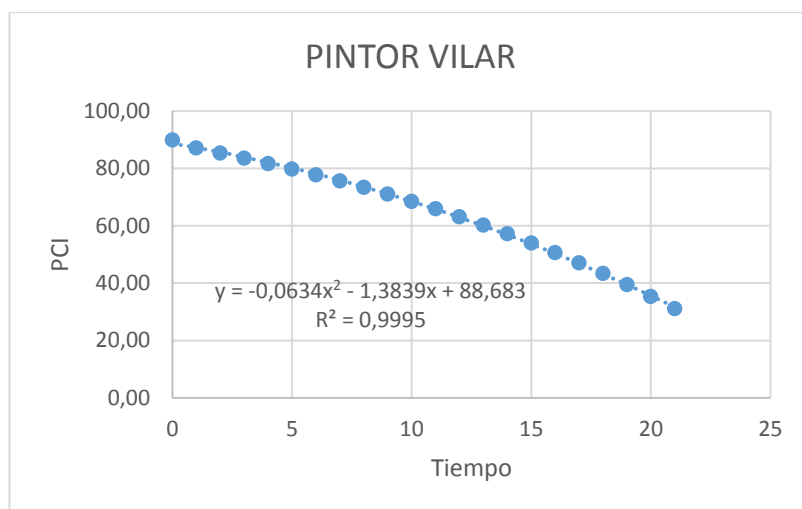


Imagen 38. Curva de deterioro teórica vía: PINTOR VILAR

7.4.5. Cálculo de la edad de pavimento de los datos obtenidos según Google Earth.

En la tabla siguiente se puede identificar el PCI inicial del primer año de toma de datos según las imágenes satelitales de Google Earth en las vías, posteriormente se aplica la ecuación teórica correspondiente a cada Índice de Condición de Pavimento para así obtener la edad teórica, dándonos el punto inicial de la curva de PCI vs Edad.

Edad teórica del Pavimento según el PCI Inicial de la toma de datos			
Vía	PCI Inicial		
	Año	PCI	Edad
Gorgeta T1	2012	59,79	9,34
Gorgeta T2	2012	40,70	13,73
Ausias March	2012	62,78	16,93
Marqués del Turia	2012	59,15	9,62
General Avilés	2012	69,20	7,13
Pérez Galdós T1	2012	47,23	12,63
Pérez Galdós T2	2012	51,54	11,60
Antonio Ferrandis	2012	86,98	0,67
Av. De La Plata	2013	74,17	5,76
Eduardo Bosca	2012	75,29	5,32
Cardenal Belloch	2011	71,04	6,86
Dr. Manuel Candela	2011	62,42	9,76
Archiduque Carlos	2012	63,08	10,23
Clariano	2011	64,77	8,95
Jesús	2012	71,51	7,03
Ramón Llull	2012	78,35	4,65
Tres Forques	2012	69,86	7,01
Uruguay	2012	70,70	7,99
Carteros	2012	77,53	5,39

Zapadores	2013	65,21	9,43
Alboraya	2012	72,64	7,08
Ayora	2013	51,51	13,72
Jaime Beltrán	2012	59,11	12,05
José María Haro	2012	63,64	9,98
Cuenca	2012	69,91	7,38
Pintor Vilar	2012	37,18	19,61

Tabla 12. Edad teórica del Pavimento según el PCI Inicial de la toma de datos

Se puede identificar el PCI que tienen las vías al momento que se ha realizado el mantenimiento, y de igual manera se indica el año del mismo según lo visualizado en las imágenes de Google Earth, cabe indicar que en 17 vías del total de 24 evaluadas se ha realizado estas tareas para mejorar el servicio de las mismas, posterior al mantenimiento la edad del pavimento al igual que el PCI no seguirá la misma tendencia debido a que el deterioro será frenado por el tipo de rehabilitación efectuado, es por este motivo que se aplicó nuevamente la ecuación teórica correspondiente al Índice de Condición de Pavimento con mantenimiento, para así poder obtener la edad teórica que se tendrá una vez efectuada la rehabilitación vial y continuar generando la curva de deterioro PCI vs Edad.

Edad teórica del Pavimento según el PCI en las vías al momento de existido la rehabilitación			
Vía	PCI luego de mantenimiento		
	Año	PCI	Edad
Giorgeta T2	2016	36,50	14,60
Ausias March	2014	52,41	11,02
Marqués del Turia	2015	35,11	15,04
General Avilés	2014	57,36	10,42
Pérez Galdós T1	2014	65,07	8,14
Pérez Galdós T2	2016	38,93	14,39
Antonio Ferrandis	2014	90,00	0,00
Av. De La Plata	2015	64,00	8,92
Ramón Llull	2015	53,57	12,49
Tres Forques	2016	58,41	10,25
Uruguay	2014	64,38	10,12
Carteros	2014	70,88	7,93
Zapadores	2015	90,00	0,00
Alboraya	2014	66,54	9,16
Ayora	2017	90,00	0,00
José María Haro	2015	44,67	15,17
Cuenca	2016	65,58	8,73
Pintor Vilar	2015	90,00	0,00

Tabla 13. Edad teórica del Pavimento según el PCI en las vías al momento de existido la rehabilitación

7.4.6. Ajuste cuadrático de Curvas de deterioro de Google Earth

En este apartado se quiere obtener un ajuste cuadrático para cada vía con los puntos PCI- edad. Para ello, se utilizan los valores de PCI del apartado 7.4.2 y las edades del apartado 7.4.4. En primer lugar, se van a ajustar las vías con 3 puntos. Si el error es menos al 5%, se dará por válido el modelo. En caso contrario, se añadirán más puntos hasta conseguir un error menos al 5%

A continuación, se muestra un ejemplo de este procedimiento para la calle Manuel Candela:

- a. Se tomó tres puntos de datos por vía y se obtuvo una curva de deterioro y su respectiva ecuación (como vía tipo se toma Manuel Candela):

Manuel Candela						
AÑO	2011	2013	2014	2015	2016	2017
PCI	62,42	56,44	50,93	39,51	29,32	23,29
EDAD	9,76	11,92	12,75	13,91	15,16	16,07

Tabla 14. Puntos de datos para la vía Manuel Candela (tres primeros años)

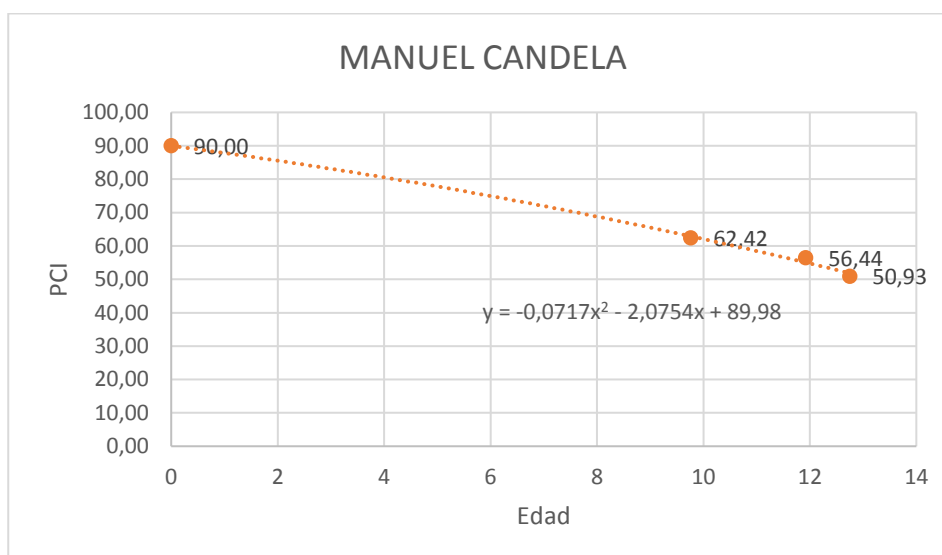


Imagen 39. Curva de deterioro y ecuación que rige la curva- vía: MANUEL CANDELA

- b. Una vez obtenida la ecuación de los tres primeros puntos reemplazo como dato edad que tendrá el pavimento y obtengo el PCI según la curva de deterioro de los 3 primeros datos de Google Earth.

PCI tendencia ecuación Google Earth = $-0,0717(\text{edad})^2 - 2,0754(\text{edad}) + 89,98$

PCI tendencia ecuación Google Earth = $-0,0717(13,91)^2 - 2,0754(13,91) + 89,98$

PCI tendencia ecuación Google Earth = 47,24

- c. Verifico que se siga la tendencia del cuarto dato de PCI según lo obtenido de las imágenes de Google Earth y el error que exista no debe ser mayor al 5% (que es el error que se maneja en el Método PCI) con respecto al valor PCI que me da la ecuación Google Earth

Manuel Candela						
AÑO	2011	2013	2014	2015	2016	2017
PCI	62,42	56,44	50,93	39,51	29,32	23,29
EDAD	9,76	11,92	12,75	13,91	15,16	16,07

Tabla 15. Puntos de datos para la vía Manuel Candela (Año 2015)

Error = PCI ecuación Google Earth ± PCI obtenido de imágenes Google Earth

Error = 47.24% ± 39.15%

Error = 7,73%

- d. Si el error es mayor al 5% debo tomar en cuenta el cuarto valor de PCI obtenido por imágenes para generar la nueva ecuación y compararlo con el quinto valor obtenido por imágenes para así poder verificar que el error este inferior al 5%.

Manuel Candela						
AÑO	2011	2013	2014	2015	2016	2017
PCI	62,42	56,44	50,93	39,51	29,32	23,29
EDAD	9,76	11,92	12,75	13,91	15,16	16,07

Tabla 16. Análisis de datos con el porcentaje de error para la vía: Manuel Candela

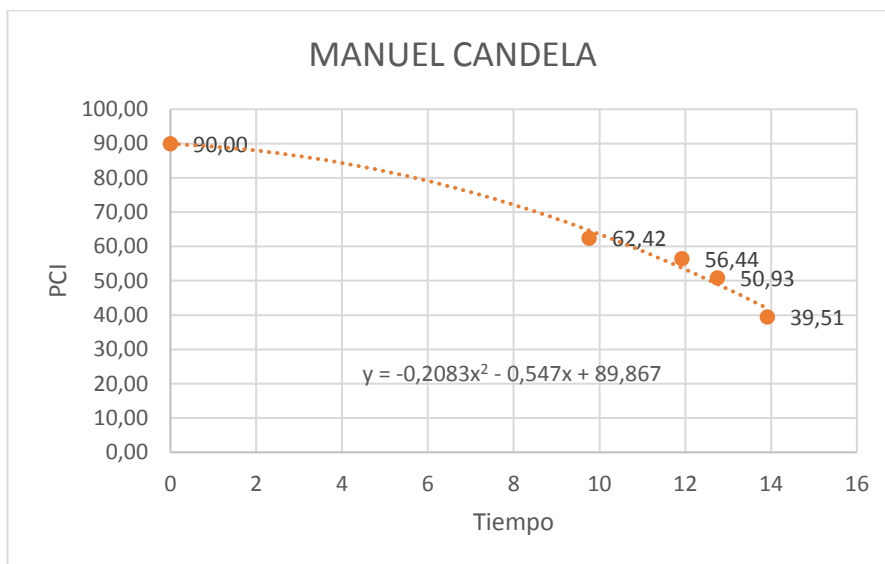


Imagen 40. Curva de deterioro analizada el porcentaje de error de los valores del PCI vía: Manuel Candela

PCI tendencia ecuación Google Earth = $-0,2083(\text{edad})^2 - 0,547(\text{edad}) + 89,867$

PCI tendencia ecuación Google Earth = $-0,2083(15,16)^2 - 0,547(15,16) + 89,867$

PCI tendencia ecuación Google Earth = 33,70

Error = PCI ecuación Google Earth ± PCI obtenido de imágenes Google Earth

Error = 33,70% ± 29,32%

Alboraya	PCI = -0,0115(Edad) ² - 2,5346(Edad) + 90,03	10,16	63,08	59,15	3,94
Ayora	PCI = 0,0142(Edad) ² - 3,0704(Edad) + 90,006	16,71	42,66900387	44,44	1,77
Jaime Beltrán	PCI = -0,2163(Edad) ² + 0,059(Edad) + 89,998	15,13	16,03415717	42,43	26,40
	PCI = -0,1935(Edad) ² - 0,2342(Edad) + 90,003	16,04	36,4624424	37,54	1,08
José María Haro	PCI = -0,001(Edad) ² - 3,0829(Edad) + 90,219	16,17	40,11908752	35,63	4,49
Cuenca	PCI = -0,4725(Edad) ² + 0,7823(Edad) + 89,997	10,29	47,98781721	47,77	0,22
Pintor Vilar	PCI = -0,074(Edad) ² - 1,2358(Edad) + 89,999	4,424	83,08373902	81,32	1,76

Tabla 18. Validación de Ecuaciones para curva de PCI de 24 vías analizadas

7.5. Aplicación del Modelo de Predicción a la ciudad de Valencia

Una vez que tengo las ecuaciones, se utilizan dichas curvas para encontrar el PCI de las vías en 2018. La comparación de los valores obtenidos con el modelo y los reales en 2018, permitirá verificar el modelo propuesto.

APLICACIÓN DEL MODELO DE PREDICCIÓN A LAS VÍAS DE VALENCIA

VÍA	Edad	PCI G. Earth	Estado G. Earth	Observaciones
Giorgeta	0,00	90,00	EXCELENTE	Hubo Rehabilitación
Ausias March	15,42	21,21	MUY MALO	
Marqués del Turia	17,78	29,40	MALO	
General Avilés	0,00	90,00	EXCELENTE	Hubo Rehabilitación
Pérez Galdós	12,31	46,93	REGULAR	
Antonio Ferrandis	7,39	55,44	BUENO	
Av. De La Plata	12,33	26,14	MALO	
Eduardo Bosca	12,10	48,05	REGULAR	
Cardenal Belloch	14,19	48,44	REGULAR	
Dr. Manuel Candela	18,07	11,97	MUY MALO	
Archiduque Carlos	16,22	35,66	MALO	
Clariano	1,08	89,60	EXCELENTE	
Jesús	13,03	51,82	REGULAR	
Ramón Llull	15,58	31,65	MALO	
Tres Forques	12,42	29,86	MALO	
Uruguay	0,00	90,00	EXCELENTE	Hubo Rehabilitación
Carteros	12,33	45,94	REGULAR	
Zapadores	3,71	82,57	MUY BUENO	
Alboraya	13,41	53,97	REGULAR	
Ayora	1,00	86,95	EXCELENTE	
Jaime Beltrán	18,20	21,65	MUY MALO	
José María Haro	18,50	32,86	MALO	
Cuenca	10,63	44,96	REGULAR	
Pintor Vilar	5,42	81,12	MUY BUENO	

Tabla 19. Aplicación del modelo de predicción a las vías de Valencia

Existe tres vías en las que ha existido rehabilitación, se ha realizado un recapeo de la carpeta asfáltica, razón por la cual la edad del pavimento será de cero años, al no presentar ningún daño, y de esta manera el Índice de condición de pavimento será excelente.

7.6. Análisis de resultados y discusión de resultados

Los valores obtenidos de PCI son graficados en la curva de acuerdo a la edad que cada uno de ellos. Es importante la obtención de este tipo de valores para obtener la curva de deterioro a través de los datos tomados de Google Earth.

A continuación, se muestra un ejemplo de este procedimiento para la calle Manuel Candela. (Las curvas para cada vía analizada se encuentran en el anexo V)

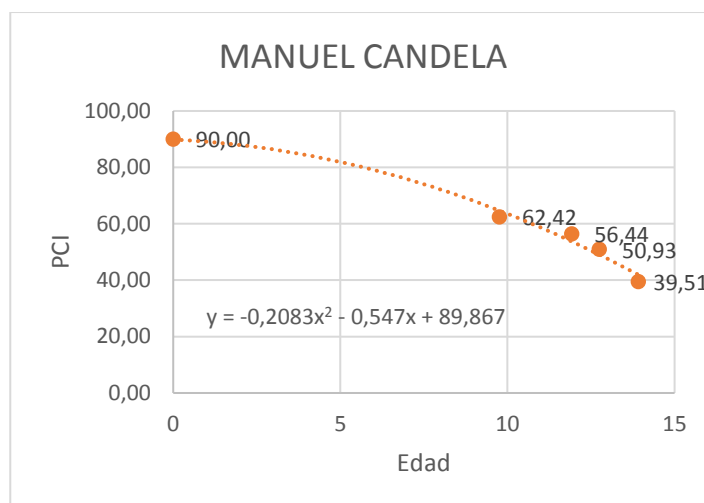


Imagen 41. Curva PCI VS EDAD vía: MANUELA CANDELA

7.6.1. Ecuación de Google Earth para la predicción del deterioro en vías de la ciudad de Valencia.

En esta tabla se ve la ecuación de Google Earth final por vía, una vez finalizado con el porcentaje de desviación requerido para validar como tendencia del deterioro que tendrá el pavimento a través del tiempo.

ECUACION DE GOOGLE EARTH PARA LA PREDICCIÓN DEL DETERIORO EN VÍAS DE LA CIUDAD DE VALENCIA	
Vía	Ecuación Google Earth
P.E. AV. GIORGETA Entre San Vicente y Ausias March	$PCI = -0,3428(edad)^2 - 0,4304(edad) + 90,168$
AUSIAS MARCH Entre Boulevard Sur y Hermanos Maristas	$PCI = -0,1649(edad)^2 - 1,9154(edad) + 89,96$
MARQUES DEL TURIA Entre Puente Aragón y Hernán Cortés	$PCI = 0,1166(edad)^2 - 5,5096(edad) + 90,507$
GENERAL AVILES Entre Pío XII y Av. Burjasot	$PCI = 0,0215(edad)^2 - 3,4393(edad) + 90,099$
PEREZ GALDOS Entre Jesús y Cuenca	$PCI = -0,0161(edad)^2 - 3,3173(edad) + 90,205$
P.I. ANTONIO FERRANDIS Entre Ausias March y Autopista del Saler	$PCI = -0,6664(edad)^2 + 0,4213(edad) + 88,706$
AV. DE LA PLATA Entre Autopista del Saler y General Urrutia	$PCI = -0,4087(edad)^2 - 0,0876(edad) + 89,315$
EDUARDO BOSCA Entre Nueva Alameda y Av. Del Puerto	$PCI = 0,0238(edad)^2 - 3,7865(edad) + 90,379$
CARDENAL BENLLOCH Entre Santos Justo y Pastor a Blasco Ibáñez	$PCI = -0,0327(edad)^2 - 2,4612(edad) + 89,963$
DOCTOR MANUEL CANDELA Entre Santos Justo y Pastor y Blasco Ibáñez	$PCI = -0,2083(edad)^2 - 0,547(edad) + 89,867$
ARCHIDUQUE CARLOS Entre Fontanares y Tres Forques	$PCI = -0,1104(edad)^2 - 1,5595(edad) + 90,008$
CLARIANO Entre Blasco Ibáñez y ALBALAT DELS TARONGERS	$PCI = -0,3108(edad)^2 - 0,0366(edad) + 89,999$
JESUS De G.V. Ramón y Cajal a Pérez Galdós	$PCI = -0,2772(edad)^2 - 0,6805(edad) + 90$
RAMON LLULL Entre Blasco Ibáñez y Camino el Cabañal	$PCI = -0,1305(Edad)^2 - 1,6621(Edad) + 89,207$

TRES FORQUES Entre Pérez Galdós y Archiduque Carlos	PCI = -0,2243(edad) ² - 2,0832(edad) + 90,37
URUGUAY. Entre Gaspar Aguilar y Jaime Beltran	PCI = -0,401(edad) ² + 1,1772(edad) + 89,848
CARTEROS Entre Uruguay y Dr. Tomas Sala	PCI = -0,183(edad) ² - 1,3094(edad) + 89,894
ZAPADORES De Av. De la Plata a Peris y Valero	PCI = -0,2097(edad) ² - 1,1361(edad) + 89,658
ALBORAYA De San Pío V a Molinell	PCI = -0,0115(edad) ² - 2,5346(edad) + 90,03
AYORA De Tres Forques a Av. Del Cid	PCI = 0,0142(edad) ² - 3,0704(edad) + 90,006
JAIME BELTRAN Entre Gaspar Aguilar y Uruguay	PCI = -0,1935(edad) ² - 0,2342(edad) + 90,003
JOSE M ^a HARO Entre Justo y Pastor y Pedro de Valencia	PCI = -0,001(edad) ² - 3,0829(edad) + 90,219
CUENCA De San José de Calasanz a Fernando el Católico	PCI = -0,4725(edad) ² + 0,7823(edad) + 89,997
PINTOR VILAR	PCI = -0,074(edad) ² - 1,2358(edad) + 89,999

Tabla 20. Ecuación de Google Earth para la predicción del deterioro en las vías de la ciudad de Valencia

Los modelos de gestión de pavimentos que han ido apareciendo con el tiempo, los cuales buscan obtener resultados lo más cercanos a la realidad e impedir que el pavimento llegue a su completo deterioro. En consecuencia, la detección y clasificación de deterioro en el pavimento completamente automatizada e integral en un entorno en tiempo real ha seguido siendo un desafío. Además, no existe un método integral y robusto disponible para determinar el nivel de gravedad de la dificultad para la evaluación de defectos y condiciones de los pavimentos de asfalto. (Koch, Georgieva, Kasireddy, Akinci, & Fieguth, 2015)

Los sistemas que permitan la gestión eficiente del pavimento a través de su metodología hacen que los procesos se puedan automatizar y así obtener programas computarizados que sirvan para un trabajo más eficiente. (Porrás, Sanabria, & Mejía, 2013)

La obtención de una curva de deterioro para cada vía que se ha analizado para la ciudad de Valencia es una realidad importante para poder obtener el valor de la predicción de deterioro tomando en cuenta que la gestión se basa en la experiencia de los ingenieros y es a menudo limitado por presupuestos bajos y una variedad de requisitos ambientales y externos (Salvatore Cafiso & Battiato, 2006)

Algunos de los sistemas son el resultado del nivel de información, recursos y medios actualmente disponibles. Conociendo que éstos son limitados y lo seguirán siendo durante algún tiempo más. Cuando los países hayan progresados más, entonces se podrá elaborar una metodología más refinada. (Al, 1992)

Las curvas obtenidas como resultado para obtener un correcto sistema de gestión se fundamentan en un cálculo adecuado tomando en cuenta que se obtiene ecuaciones teóricas que rigen la curva de deterioro.

Es importante obtener curvas propias de cada lugar para que las mismas entreguen una ecuación específica la cual sea utilizada cuando se desee sin importar el tiempo o la fecha en que se analiza. Dicha metodología frente a los métodos sencillos propuestos anteriormente es mucho más completa y cercana a la realidad.

8. Validación del método

8.1. Resultados In Situ

En esta tabla se puede apreciar los valores de Índice de condición de pavimento que fueron tomados in situ en junio de 2018, es decir estos serán los valores serán comparados con los valores obtenidos de la ecuación de Google Earth con lo cual se obtendrá la validez al modelo de predicción.

Vía	PCI In Situ Junio de 2018	Estado
Gorgeta	90,00	EXCELENTE
Ausias March	26,08	MALO
Marqués del Turia	32,40	MALO
General Avilés	90,00	EXCELENTE
Pérez Galdós	47,09	REGULAR
Antonio Ferrandis	57,55	BUENO
Av. De La Plata	30,74	MALO
Eduardo Bosca	47,06	REGULAR
Cardenal Belloch	48,48	REGULAR
Dr. Manuel Candela	16,50	MUY MALO
Archiduque Carlos	32,23	MALO
Clariano	88,21	EXCELENTE
Jesús	51,41	REGULAR
Ramón Llull	35,19	MALO
Tres Forques	33,25	MALO
Uruguay	90,00	EXCELENTE
Carteros	50,56	REGULAR
Zapadores	82,46	MUY BUENO
Alboraya	53,96	REGULAR
Ayora	87,27	EXCELENTE
Jaime Beltrán	23,72	MUY MALO
José María Haro	27,91	MALO
Cuenca	49,29	REGULAR
Pintor Vilar	81,08	MUY BUENO

Tabla 21. Valores de PCI in situ (junio 2018)

8.2. Comparación de Valores Teóricos y Modelo de Google Earth respecto a los datos reales tomados In Situ 2018.

La comparativa que se muestra en la siguiente tabla entre los valores obtenidos según la ecuación final de Google Earth y los valores reales tomados in situ, son necesarios para poder verificarlos y poder aseverar que el modelo de predicción es el adecuado para poder realizar una mejor gestión de los pavimentos urbanos en la ciudad de Valencia en base anticipada al comportamiento de deterioro que tendrá a través del tiempo.

COMPARACION DE PCI TEORICO Y GOOGLE EARTH RESPECTO A IN SITU DE AÑO 2018						
VÍA	Edad	PCI In Situ	PCI Teórico	PCI G. Earth	Diferencia entre PCI in situ y teórico	Diferencia entre PCI in situ y G. Earth
Giorgeta	0,00	90,00	90,00	90	0,00	0,00
Ausias March	15,42	26,08	31,55	21,21	5,47	4,87
Marqués del Turia	17,78	32,40	20,82	29,40	11,57	2,99
General Avilés	0,00	90,00	90,00	90,00	0,00	0,00
Pérez Galdós	12,31	47,09	48,46	46,93	1,38	0,15
Antonio Ferrandis	7,39	57,55	68,66	55,44	11,11	2,11
Av. De La Plata	12,33	30,74	51,05	26,14	20,31	4,60
Eduardo Bosca	12,10	47,06	51,60	48,05	4,54	0,98
Cardenal Belloch	14,19	48,48	43,66	48,44	4,82	0,03
Dr. Manuel Candela	18,07	16,50	27,84	11,97	11,33	4,54
Archiduque Carlos	16,22	32,23	28,63	35,66	3,60	3,43
Clariano	1,08	88,21	86,12	89,60	2,08	1,39
Jesús	13,03	51,41	50,73	51,82	0,68	0,41
Ramón Llull	15,58	35,19	41,11	31,65	5,91	3,54
Tres Forques	12,42	33,25	49,69	29,86	16,44	3,38
Uruguay	0,00	90,00	90,00	90,00	0,00	0,00
Carteros	12,33	50,56	57,09	45,94	6,53	4,62
Zapadores	3,71	82,46	80,93	82,57	1,53	0,11
Alboraya	13,41	53,96	52,01	53,97	1,95	0,00
Ayora	1,00	87,27	86,70	86,95	0,58	0,32
Jaime Beltrán	18,20	23,72	36,07	21,65	12,34	2,08
José María Haro	18,50	27,91	30,27	32,86	2,37	4,95
Cuenca	10,63	49,29	58,93	44,96	9,64	4,33
Pintor Vilar	5,42	81,08	79,31	81,12	1,77	0,04

Tabla 22. Comparación de PCI teórico y Google Earth (Año 2018)

Los valores marcados de color verde son los que menor error tuvieron respecto al PCI real In situ a junio de 2018, de las 24 muestras la mayoría corresponden a los obtenidos por la ecuación de google Earth propuesta, a excepción de la Vía Jaime Beltrán, pero de igual manera el error de esta vía respecto al valor propuesto es inferior al 5% que es el error que maneja el método PCI, es decir la metodología propuesta es la correcta para el deterioro de la ciudad de Valencia.

8.3. Estado actual de las vías en la Ciudad de Valencia, a junio de 2018

En la tabla que se muestra a continuación se observa los valores de PCI in situ y de Google Earth con ello se puede identificar el estado y el mantenimiento que se recomienda para cada una de las vías. Es importante reconocer que el análisis y las visitas in situ de cada una de las vías se realizaron en junio de 2018.

EDAD Y PCI ACTUAL (JUNIO DE 2018) EN VÍAS DE LA CIUDAD VALENCIA					
Vía	Edad	PCI Google Earth	PCI In Situ	Estado	Mantenimiento
DOCTOR MANUEL CANDELA	18,07	11,97	16,50	MUY MALO	
JAIME BELTRAN	18,20	21,65	23,72	MUY MALO	
AUSIAS MARCH	15,42	21,21	26,08	MALO	

JOSE M^a HARO	18,50	32,86	27,91	MALO	Se recomienda
AV. DE LA PLATA	12,33	26,14	30,74	MALO	recapeo o
ARCHIDUQUE CARLOS	16,22	35,66	32,23	MALO	reconstrucción
MARQUES DEL TURIA	17,78	29,40	32,40	MALO	
TRES FORQUES	12,42	29,86	33,25	MALO	
RAMON LLULL	15,58	32,85	35,19	MALO	
EDUARDO BOSCA	12,10	48,05	47,06	REGULAR	
PEREZ GALDOS	12,31	46,93	47,09	REGULAR	Se recomienda
CARDENAL BENLLOCH	14,19	48,44	48,48	REGULAR	parchar los
CUENCA	10,63	44,96	49,29	REGULAR	baches y piel de
CARTEROS	12,33	45,94	50,56	REGULAR	cocodrilo
JESUS	13,03	51,82	51,41	REGULAR	
ALBORAYA	13,41	53,97	53,96	REGULAR	
ANTONIO FERRANDIS	7,39	55,44	57,55	BUENO	
PINTOR VILAR	5,42	81,12	81,08	MUY BUENO	
ZAPADORES	3,71	82,57	82,46	MUY BUENO	Se recomienda
AYORA	1,00	86,95	87,27	EXCELENTE	sellado de
CLARIANO	1,08	89,60	88,21	EXCELENTE	fisuras
P.E. AV. GIORGETA	0,00	90,00	90,00	EXCELENTE	
GENERAL AVILES	0,00	90,00	90,00	EXCELENTE	
URUGUAY	0,00	90,00	90,00	EXCELENTE	

Tabla 23. Edad y PCI actual (junio 2018) en vías de la ciudad de Valencia

9. Conclusiones

Los pavimentos urbanos en la ciudad de Valencia requieren de un sistema de gestión planificado para realizar mantenimientos viales adecuados. Esto se lo puede conseguir al conocer la evolución del deterioro que tendrán las vías, o lo que es lo mismo, la predicción del estado futuro. En este sentido, aparecen nuevas metodologías, como las curvas de regresión, las cadenas de Markov o las redes neuronales.

Para el análisis de 24 vías de la ciudad de Valencia y la predicción de su deterioro en el tiempo, se utilizó la metodología PCI. Se utilizaron imágenes obtenidas de Google Earth, para evaluar los daños más representativos que afectan a la condición de las vías en diferentes años. La representación de los valores del PCI del pavimento en el tiempo son importantes para la obtención del valor de la predicción del deterioro. En este trabajo, se obtuvieron las curvas PCI VS EDAD según las imágenes de Google Earth y se compararon con las curvas teóricas dependientes de la categorización del tráfico existentes. A partir de la curva teórica se realizó una proyección del PCI a junio 2018, lo cual sirvió para mostrar la diferencia existente con el PCI real evaluado in situ, y evaluar el error de las curvas teóricas. Se concluyó de las 24 muestras tomadas 9 vías están por encima del 5% de error que permite el método PCI. Por lo tanto, de esta manera la ecuación teórica no asevera que la proyección realizada de índice de condición de pavimento sea la más adecuada.

Por otro lado, se propone una metodología fundamentada en una ecuación cuadrática por cada vía, permitiendo identificar la tendencia de deterioro que tendrá el pavimento y de este modo predecir el PCI que poseerá cada vía a lo largo del tiempo. Se comprueba que las curvas planteadas con el análisis de las imágenes de Google Earth consiguen que el error respecto al estado actual in situ de las vías sea inferior al 5%. Aseverando que la propuesta realizada es la óptima para poder llegar a la predicción del deterioro del pavimento a lo largo del tiempo. Se concluye, por tanto, que la metodología propuesta permitirá gestionar de una mejor manera el mantenimiento a realizar y con ello conservar la vía con índices de servicio adecuados a lo largo de su vida útil.

10. Referencias

- Al-Zou'bi, M., Chang, C. M., Nazarian, S., Kreinovich, V., Al-zou, M. M., (2015). Enfoque estadístico sistemático para poblar datos de rendimiento faltantes en sistemas de gestión de pavimentos *Diario de Sistemas de Infraestructura*, 21(1), 4015002. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000247](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000247)
- Andrade Valle, A. I., & Brito Noboa, J. P. (2017). *Curvas de deducción del índice de condición del pavimento enfocadas a Ecuador basados en el índice de servicio de pavimento*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Beckley, M. E., Underwood, S., & Mamlouk, M. (2016). Modelado de deterioro del pavimento usando datos históricos de rugosidad, (April).
- Bermudes, V. (2006). Evaluación y Comparación de Metodologías Vizir y PCI sobre el tramo de vía en Pavimento Flexible y rígido de la vía: Museo Quimbaya - CRQ Armenia Quindío, 95.
- Borja Guaita, L., & Serra Santamaria, J. R. (2016). *Gestión del mantenimiento de pavimentos urbanos . Propuesta de implementación de un sistema de gestión de pavimentos en la ciudad*. Universitat Politècnica de Valencia.
- Chen, D. (University of N. C. at C., Cavalline, T. L. (University of N. C. at C., Thompson, D. S. (University of N. C. at C., & Ogunro, V. O. (University of N. C. at C. (2014). Desarrollo y validación de modelos de deterioro de pavimento y factores de peso de análisis para el sistema de gestión de pavimento NCDOT, (diciembre), 149.
- Chen, S., Asce, M., Rice, C., Boyle, C., & Hauser, E. (2011). Fotografía aérea en pequeño formato para la vigilancia de puentes de carreteras, 25(April), 105–112. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000145](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000145).
- Díaz Cárdenas, J. (2013). Evaluación de la metodología PCI como herramienta para la toma de decisiones en las intervenciones a realizar en los pavimentos flexibles. *Universidad Militar Nueva Granada*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Fernando, M. L., Gabriel, M. L., & Luis, M. (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>

- George, K. P., Rajagopal, A. S., & Lim, L. K. (1989). Modelos para predecir el deterioro del pavimento. *Junta de Investigación del Transporte*, 1215(1), 25–32.
- Gloria, I., Beltrán, C., Miguel, P., Romo, O., & Ingeniería, I. De. (2011). Estimación de módulos elásticos en pavimentos usando redes neuronales artificiales, 1–9.
- Gonzales, J., & Mexico, U. N. A. de. (2016). *T e s i n a - EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS EN MÉXICO*.
- Guaman, M., & Calero, O. (2012). *ESTUDIO DE LAS CAUSAS DEL DETERIORO PREMATURO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO DE LA AVENIDA CANÓNIGO RAMOS DESDE LA AVENIDA 11 DE NOVIEMBRE A LA AVENIDA MONSEÑOR LEONIDAS PROAÑO- BY PAS*.
- Gupta, A., Kumar, P., & Rastogi, R. (2011). Modelo de deterioro y mantenimiento de pavimentos para vías de bajo volumen. *Revista Internacional de Investigación y Tecnología de Pavimentos*, 4(4), 195–202.
- Muñoz, G. P. (2017). *Infraestructura Vial. Infraestructura Vial* (Vol. 18). Unspecified.
- NORMA ASTM. (2005). Índice De Condicion De Pavimentos En Aeropuertos Evaluación De Pavimentos De Concreto, 1–21.
- Palma, U. R., & Ingeniería, F. D. E. (2015). Cálculo Del Índice De Condición Del Pavimento (Pci) Barranco - Surco – Lima.
- Rahman, M. M., Uddin, M. M., & Gassman, S. L. (2017). Modelos de evaluación de desempeño de pavimento para carolina del sur. *KSCE Revista de Ingeniería Civil*, 21(7), 2695–2706. <https://doi.org/10.1007/s12205-017-0544-7>
- Ricardo, L., & Varela, V. (2002). *AUTOMATIZACIÓN DEL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO – PCI –*, 2002.
- Rodríguez Moreno, M., Thenoux Zeballos, G., & González Vaccarezza, A. (2013). Evaluación probabilística del agrietamiento de pavimentos asfálticos en carreteras de Chile. *Revista de La Construcción*, 12(2), 152–165. <https://doi.org/10.4067/S0718-915X2013000200012>
- Saba, R. G. (2006). Modelos de predicción de rendimiento para pavimentos flexibles: un informe de vanguardia, 62(Nr. 2477), 1–54. <https://doi.org/10.1093/sysbio/sys110>
- Salomón, D. (2004). Conservación de Pavimentos : Metodología y Estrategias, (208), 1–10.
- Shah, Y. U., Jain, S. S., Tiwari, D., & Jain, M. K. (2013). Desarrollo del Índice de Condición General del Pavimento para la Red de Vías Urbanas *Procedia - Ciencias Sociales y del Comportamiento*, 104, 332–341. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.126>
- Song, G., Yu, L., & Tu, Z. (2012). Características de distribución de la potencia específica del vehículo en vías de acceso restringido urbano *Revista de Ingeniería de Transporte*, 138(2), 202–209. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE)

- Sundin, S., & Braban-ledoux, C. (2001). 2001 Inteligencia artificial: tecnologías de apoyo a la toma de decisiones en la gestión de pavimentos., *16*, 143–157.
- Susanna, A., Crispino, M., Giustozzi, F., & Toraldo, E. (2017). Tendencias de deterioro de la fricción y la rugosidad del pavimento asfáltico de las inspecciones a medio plazo en las principales carreteras italianas *Revista Internacional de Investigación y Tecnología de Pavimentos*, *10*(5), 421–433.
<https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.07.002>
- Terzi, S. (2007). Modelado de la relación de servicio en el pavimento de pavimentos de carreteras flexibles por redes neuronales artificiales. *Material de construcción y construccions*, *21*(3), 590–593. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.11.001>
- Torres-Machi, C. (2015). *Optimización heurística multiobjetivo para la gestión de activos de infraestructuras de transporte terrestre*. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Vasquez Varela, L. R. (2002). *Pavement Condition Index (PCI) para Pavimentos Asfálticos y de Concreto en Carreteras*. Manizales, Colombia.
- Vera, I., Thenoux, G., Solminihac, H. ., & Echaveguren, T. (2010). Modelo de evaluación técnica del desempeño del mantenimiento de pavimentos flexibles, 76–88.
- Vial, M., Casco, E. N., Del, U., La, M. D. E., Mauricio, F., Rivillas, U., ... Medellín, U. D. E. (2012). IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN VIAL EN ALGUNOS TRAMOS.
- Villacorta, F. L. (2004). Metodología para el desarrollo modelos de deterioro para caminos vecinales de lastre y suelo.
- Zhang, A., Wang, K. C. P., Li, B., Yang, E., Dai, X., Peng, Y., ... Chen, C. (2017). Detección automatizada de grietas en el pavimento a nivel de píxeles en superficies de asfalto 3D mediante una red de aprendizaje profundo. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, *32*(10), 805–819. <https://doi.org/10.1111/mice.12297>



ANEXOS

Máster en Planificación y Gestión en Ingeniería Civil