

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Plan de mantenimiento periódico del pavimento en el
tramo paradero Las Retamas – puente Los Ángeles**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autores:

Daniel Alexis Ramírez Medina
Luis Segundo Valenzuela Robles

Asesor:

Mg. Leonel Chahuares Paucar

Lima, febrero del 2023

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Yo, Leonel Chahuares Paucar, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: “**PLAN DE MANTENIMIENTO PERIÓDICO DEL PAVIMENTO EN EL TRAMO PARADERO LAS RETAMAS - PUENTE LOS ÁNGELES**” constituye la memoria que presentan los Bachilleres Daniel Alexis Ramírez Medina y Luis Segundo Valenzuela Robles, tiene un índice de similitud de 7% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, 17 de febrero del año 2023.



Leonel Chahuares Paucar

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **16** día(s) del mes de **febrero** del año 2023 siendo las **11:00 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Ing. Ferrer Canaza Rojas**, el secretario: **Dr. Leopoldo Choque Flores** y los demás miembros: **Mg. Reymundo Jaulis Palomino** y el asesor **Mg. Leonel Chahuares Paucar**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Plan de mantenimiento periódico del pavimento en el tramo paradero Las Retamas – puente Los Ángeles"

..... de el(los)/la(las) bachiller/es: a)..... **RAMIREZ MEDINA DANIEL ALEXIS**.....
b) **VALENZUELA ROBLES LUIS SEGUNDO**
conducente a la obtención del título profesional de.....
 **INGENIERO CIVIL**.....
 con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/a(la)(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **RAMIREZ MEDINA DANIEL ALEXIS**


CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	MUY BUENO	SOBRESALIENTE

Candidato (b): **VALENZUELA ROBLES LUIS SEGUNDO**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	16	B	BUENO	MUY BUENO

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

 Presidente
 Ing. Ferrer
 Canaza Rojas



 Secretario
 Dr. Leopoldo
 Choque Flores

 Asesor
 Mg. Leonel
 Chahuares Paucar

 Miembro
 Mg. Reymundo
 Jaulis Palomino

 Miembro

 Candidato/a (a)
 Daniel Alexis
 Ramirez Medina

 Candidato/a (b)
 Luis Segundo
 Valenzuela Robles

PLAN DE MANTENIMIENTO PERIÓDICO DEL PAVIMENTO EN EL TRAMO PARADERO LAS RETAMAS – PUENTE LOS ÁNGELES

PERIODIC MAINTENANCE PLAN FOR THE PAVEMENT IN THE BUSSTOP LAS RETAMAS – LOS ANGELES BRIDGE SECTION

Daniel Alexis Ramírez Medina

Bachiller de la Universidad Peruana Unión, Perú, danielramirez@upeu.edu.pe

Luis Segundo Valenzuela Robles

Bachiller de la Universidad Peruana Unión, Perú, luisrobles@upeu.edu.pe

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo general diseñar un plan de mantenimiento periódico para la prolongación de la vida útil del pavimento en el tramo Paradero Las Retamas – Puente Los Ángeles de la carretera Central, elaborado el 2021. Para ello se abordó una metodología de enfoque cuantitativo, descriptiva, no experimental de corte transversal, aplicada una muestra población de 1,900 km distribuida en 13 unidades de muestreo de 230.42 m², a las cuales se determinó el PCI según su propia metodología. Asimismo, se realizó un estudio de tráfico para determinar la composición y clasificación vehicular y se inspeccionó el sistema de drenaje para identificar las condiciones actuales del pavimento. En conjunto, se analizaron propiedades físicas mediante ensayos de laboratorio a fin de determinar el IRI y el PSI, tomando en cuenta lo estipulado por el MTC. Por último, se procesó la información mediante el software HDM-4 para determinar las estrategias de mantenimiento periódico más adecuadas. De esta manera, se obtuvo un PCI general de 62, calificado como “bueno”, un IMDA 31,236 veh/día, que clasifica la vía como autopista de primer orden. Por su parte, la alternativa de mantenimiento más viable resultó el simple tratamiento superficial el cual viene acompañado de la aplicación uniforme de un ligante bituminoso sobre pavimento granulares, combinado con un óptimo mantenimiento de rutina y cuyos criterios de evaluación que muestran la rentabilidad del proyecto, obedecen a un VAN de 3.20 millones de soles y una TIR de 20%. Por último, se obtiene un impacto positivo en el PSI producto de la implementación de la alternativa.

PALABRAS CLAVES: PCI, IMDA, Carretera, HDM-4, Mantenimiento vial.

ABSTRACT

The general objective of this study was to design a periodic maintenance plan for the extension of the useful life of the pavement in the Las Retamas Stop - Los Angeles Bridge section of the Central road, 2021. For this, a quantitative, descriptive methodology was used, non-experimental cross-sectional, applied to a population sample of 1,900 km distributed in 13 sampling units of 230.42 m², to which the PCI was determined according to its own methodology. Likewise, a traffic study was carried out to determine the composition and vehicle classification and the drainage system was inspected to identify the current conditions of the pavement. As a whole, physical properties were analyzed through laboratory tests in order to determine the IRI and the PSI, taking into account the provisions of the MTC. Finally, the information was processed using the HDM-4 software to determine the most appropriate periodic maintenance strategies. In this way, a general PCI of 62 was obtained, classified as "good", an IMDA 31,236 veh/day, which classifies the road as a first-order motorway. For its part, the most viable maintenance alternative was the simple

surface treatment which is accompanied by the uniform application of a bituminous binder on granular pavement, combined with optimal routine maintenance and whose evaluation criteria show the profitability of the project, they obey a NPV of 3.20 million soles and an IRR of 20%. Finally, a positive impact on the PSI is obtained as a result of the implementation of the alternative.

KEYWORDS: PCI, IMDA, Highway, HDM-4, Road maintenance.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, no existe alguna duda referente a la importancia de la red vial en el desarrollo de un país, por lo que se ha configurado como uno de los más importantes bienes patrimoniales (Pellicer et al., 2020). A través de esta red, se realiza una de las actividades humanas más importantes, como lo es el transporte (tanto de personas como de cargas), el cual permite la interconexión e interacción socioeconómica entre comunidades, por lo que una mala calidad de las vías, se traduce en costos para cada habitante, bien sea en tiempo de traslado, en pérdidas materiales o en oportunidades de mejora (Nwafor y Onya, 2019). Sin embargo, para garantizar la sostenibilidad del pavimento de las carreteras se requieren de grandes inversiones de capital; así como del pago por costos operativos futuros y por labores de mantenimiento; razón por la cual, las autoridades responsables a nivel mundial han comenzado a utilizar distintas herramientas de gestión, estrategias y enfoques que permitan mantener y rehabilitar los pavimentos en aras de satisfacer la demanda de los usuarios y los tipos y volúmenes de tráfico, prolongando su vida útil al menor costo posible (Hamim et al., 2021). Esta nueva corriente se contrapone al enfoque tradicional de mantenimiento de pavimentos donde los presupuestos eran ajustados, los tratamientos reactivos y se afectaba en gran medida al medioambiente, mediante el consumo de más energía y las emisiones de gases de efecto invernadero (Zhang y Mohsen, 2018).

En el caso del Perú, el Instituto Peruano de Economía (IPE) señala que a pesar que el porcentaje de vías pavimentadas creció de 51% a 70% durante los años 2001 y 2015; persisten dos problemas centrales en la gestión de infraestructura de transporte; en primer lugar, el bajo porcentaje de vías pavimentadas en la Red Vial Departamental con 86% y en la Vecinal con 98% y en segundo lugar, la pobre gestión de calidad, destacando las inapropiadas estrategias de mantenimiento empleadas, que incide en la vida útil del pavimento de las carreteras (IPE, 2017). Uno de estos ejemplos, lo configura la “Carretera Central”, la cual es una vía de dos direcciones con una sola calzada que conecta a Lima con la ciudad de La Oroya (Junin), cuya tráfico máximo debiera ser 4,000 vehículos por día; sin embargo se estima que diariamente en el punto de Corcona transitan no menos de 6,000 unidades de transporte, con una movilización basada en materiales de construcción y alimentos no percederos y con pocas vías alternativas que permitan la circulación de vehículos y buses de más de tres ejes (Alarcón, 2016). Esta carretera además, es la principal vía de acceso interdistrital uniendo a Lima Centro con Lima Este hasta la sierra peruana (Municipalidad de Chaclacayo, 2016).

A pesar de su importancia, se observa que la gestión de mantenimiento en el tramo que se ubica en el distrito de Chaclacayo es deficiente, observándose que en caso de precipitaciones las vías colapsan y permanecen bloqueadas, requiriéndose acciones correctivas como el llenado con arena, que inciden negativamente en el rendimiento del pavimento, afectando el tránsito y poniendo en riesgo a las viviendas a su alrededor (El Comercio, 2020). En tal sentido, el estudio centra la importancia de la gestión del pavimento para lograr un rendimiento óptimo en su desempeño, mediante un plan de mantenimiento preventivo que considere la condición del pavimento actual y aspectos climáticos en el tramo de influencia; lo cual busca reducir los costos asociados a estrategias de mantenimiento inefectivas; y por consiguiente, su efecto en el nivel de

servicialidad que influye en las actividades propias del desarrollo de la población que hace uso de ello.

En este contexto, Keegan y Wolff (2015) propusieron una planificación de mantenimiento y rehabilitación de 415 millas de pavimentos de carreteras urbanas para una ciudad en New Hampshire, EE. UU, el cual pudiese aplicarse en Sudáfrica, evaluando datos compilados por un vehículo con un sistema de medición de grietas por láser (LCMS) a bordo, midiéndose el índice de condición de pavimentos, que permitió determinar un plan de mantenimiento para cada sección por un tiempo de 40 años considerando el tiempo de construcción, el tráfico y el uso. Así, Del Rosario (2017) propuso un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para la carretera El Seibo – Hato Mayor de la República Dominicana, seleccionándose factores como el tráfico, el historial de accidentabilidad, el estado en el que se encuentra actualmente, aspectos económicos e institucionales. De allí que, se planteó como mantenimiento correctivo el sellado de fisuras y grietas, el bacheo con mezcla previa, la restauración del material faltante con motoniveladora y la nivelación. También, Khan et al. (2017) presentaron una propuesta de estrategias de mantenimiento de 27 carreteras de Australia, las cuales fueron clasificadas en función del tipo de pavimento, carga y nivel de deterioro; así, usando el software HDM-4 propusieron 36 alternativas de solución con un costo aproximado de USD 17.8 miles de millones en un lapso de 20 años.

Por su parte, Sandoval (2018) usó el software HDM-4 para calcular la rentabilidad de un programa de mantenimiento periódico de la carretera Pucará km 13+542 al Dv. Pampas km 39+842”, con el propósito de mejorar la vida útil del pavimento, considerando el volumen vehicular y las condiciones climáticas. Al respecto, se determinó que las precipitaciones son el factor que más incide en el deterioro de la vía, dada las malas condiciones del drenaje, lo que genera que la servicialidad en la carretera sea muy mala asociada un alto Índice de Rigurosidad Internacional (IRI). Por otro lado, Rimaicuna (2018) evaluó el estado del tramo de la carretera nacional, EMP.PE-1NL desde Sajino (km. 0+000) - C.P. La Saucha (km. 5+600) en Piura (Perú), aplicando del Índice de Condición del Pavimento (PCI). Así, se establece que el tramo requiere de un mantenimiento de rutinario, visto que se determinaron fallas de ahuellamientos, baches y grietas en bloque (piel de cocodrilo), estando el PCI en un rango de 71-100. Finalmente, se presentó un plan de mantenimiento periódico con un presupuesto de S/ 883,634.80, concentrado en labores curado de concreto, reposición de pavimento, sellado, etc.

En el estudio, se plantearon una serie de objetivos específicos los cuales fueron: Analizar el estado actual de la Carretera Central a través del índice de condición de pavimento (PCI) y el índice medio diario anual (IMDA); determinar alternativas de conservación periódica mediante el software HDM-4 del tramo Paradero Las Retamas – puente Los Ángeles de la carretera Central; y por último evaluar el impacto del plan de mantenimiento periódico en el índice de servicialidad del pavimento del tramo Paradero Las Retamas – puente Los Ángeles de la carretera Central; resumiéndose todo en el siguiente objetivo general: “Diseñar un plan de mantenimiento periódico para la prolongación de la vida útil del pavimento en el tramo Paradero Las Retamas – Puente Los Ángeles de la carretera Central, 2021”

METODOLOGÍA

Diseño Metodológico

El estudio parte de un enfoque cuantitativo tipo observacional, de nivel descriptivo y diseño no experimental – transversal, puesto que el factor de estudio no fue controlado por los investigadores, habiéndose limitado a la observación, describiendo la caracterización de las condiciones del pavimento para plantear alternativas de mantenimiento rentables (Palomino et al., 2017). Asimismo, el diseño se correspondió con la intencionalidad de no manipular alguna de las variables, para medir su efecto en la otra variable, tampoco se definieron grupos experimentales ni de control; de igual modo, la recolección de datos solo se realizó en un momento determinado (Hernández et al., 2014).

Diseño Muestral

La población estuvo compuesta por el tramo que va desde el paradero Las Retamas hasta el puente Los Ángeles de la carretera Central en Chaclacayo, abarcándose una superficie de 1.9 km; conocida también, como tramo N° 2 del Corredor Vial Interoceánico Centro que conecta Lima, en el puente Ricardo Palma de la provincia de Huarochirí y La Oroya (Junín), la cual cuenta con una extensión de 135 km y un ancho de 6.60 m.

Para la determinación de las unidades muestrales, se emplearon los pasos para el cálculo manual del PCI (González et al., 2019). Como se muestra:

1. Determinación de la dimensión de la unidad de muestreo. Considerando que el pavimento de la carretera es flexible y su ancho es menor a 7.30 m, entonces cada unidad de muestreo debe tener un área entre el intervalo de $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$.
2. Identificación del número de unidades de muestreo. Considerando que la vía tiene un ancho de 6.60 m, se dividió en 54 unidades de muestreo, cada una con una longitud de 34.91 m (dado que el tramo mide 1,900 m), generando un área para cada unidad muestral de 230.42 m^2 , lo cual comprueba el paso 1.
3. Cálculo del mínimo de unidades de muestreo. En vista que la cantidad de unidades muestrales alta, lo cual eleva la cantidad de recursos y de tiempo para su ejecución, se aplicó la fórmula:

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

Con una confiabilidad de 95%, donde:

N: es la cantidad de unidades de muestreo en el tramo del pavimento.

n: es la cantidad mínima de puntos de muestreo a evaluar.

e: error que se admite en la estimación del PCI de la sección (5%).

σ : desviación estándar del PCI entre cada unidad muestral. La cual se asume en un valor de 10, visto que se considera como evaluación inicial.

Así, se tiene que:

$$n = \frac{54 \cdot 10^2}{\frac{5^2}{4}(54-1) + 10^2} = 13 \quad (2)$$

De esta manera, de las 54 unidades de muestreo inicialmente, se seleccionaron 13 para su evaluación.

4. Selección de las unidades de muestreo. Se determinó el intervalo de muestreo con la fórmula:

$$i = \frac{N}{n} = \frac{54}{13} = 4 \quad (3)$$

De este modo, se inspeccionaron los puntos muestrales 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 48 y 52. Finalmente, la unidad de análisis estuvo compuesta por las condiciones del pavimento y su nivel de servicialidad.

Por otro lado, para la el cálculo del PCI, se siguió el procedimiento:

Etapa 1. Cálculo de los valores deducidos

- a) Totalizar cada tipo y nivel de severidad de daño, medido en área, longitud o número según su tipo y registrarlo en la columna total del instrumento.
- b) Obtener la densidad del daño mediante el nivel de este, dividiendo la cantidad de cada tipo de daño para cada nivel de severidad (L, M, H), entre el área total de la unidad de muestreo, expresando el resultado como porcentaje.
- c) Determinar el valor deducido para cada tipo de daño y su nivel de severidad, utilizando las curvas denominadas valor “deducido del daño” (para el tipo que aplique) para pavimento flexible.

Etapa 2. Cálculo del “Máximo Valor Deducido Corregido” (CDV)

Debido a que más de uno de los valores deducidos individuales obtenidos en la etapa 1c, son mayores que 2, se aplicó el método del CDV, siguiendo el siguiente procedimiento:

- a) Determinar el número de valores deducidos (individuales) individuales, **q**, mayores que 2.0.
- b) Determinar el valor deducido total (de la serie de cada unidad de muestreo), sumando todos los valores deducidos individuales.
- c) Determinar el CDV con el valor de **q** y el valor deducido total empleando la curva de corrección para pavimento flexible.
- d) Reducir a 2.0, el menor de los valores deducidos individuales que sean mayor a 2.0, repitiendo los pasos de **a** hasta **c**, hasta que **q** sea 1.
- e) El máximo CDV para representa el mayor CDV obtenido en la serie del proceso.

Etapa 3. Cálculo del PCI

- a) Se determina el PCI de cada unidad, empleando la ecuación:

$$PCI = 100 - Máx. CDV \tag{4}$$

- b) El PCI general, se obtiene del promedio de todos los PCI de cada unidad de muestreo, cuya clasificación se determina a continuación (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación del PCI

Rango	Clasificación
100 - 85	Excelente
85 - 70	Muy bueno
70 - 55	Bueno
55 - 40	Regular
40 - 25	Malo
25 - 10	Muy malo
10 - 0	Fallado

Para el conteo y clasificación vehicular, se aplicó el siguiente procedimiento, de acuerdo con el MTC:

- a) Conteo según tipo de vehículo durante cada día de la semana, en un período de 12 horas para los 2 puntos de estudio: Paradero las Retamas y Puente Los Ángeles.
- b) Se determina el índice medio semanal, IMDS, el cual resulta del promedio de la semana, es decir, la suma del conteo de cada día (7 días) entre esta cantidad, por cada tipo de vehículo.
- c) Se obtiene el índice medio diario anual, IMDA, como producto del IMDS por el factor de corrección F_c , de acuerdo a la ecuación:

$$IMDA = IMDS * F_c. \quad (5)$$

El F_c es 0.996 para vehículos ligeros y 0.9079 para pesados.

Técnicas de Recolección de Datos

Para el levantamiento de las características técnicas de la carretera relativas al índice de condición de pavimento y condiciones de drenaje, se utilizó la técnica de la observación directa, que consiste en que el investigador se ponga en contacto de manera personal con el fenómeno a estudiar, observándolo atentamente para posteriormente tomar datos del mismo y registrarlo (Palomino et al., 2017). Para el registro de niveles de severidad y su densidad, se empleó la ficha de observación, en tanto, para la obtención de los valores deducidos individuales y valores deducidos corregidos, se emplearon las gráficas de daño. Para la determinación del índice medio diario anual (IMDA), se aplicó el formato de clasificación vehicular elaborado por el MTC, donde se registró la información del conteo vehicular, el cual se realizó en un lapso de una semana en los dos puntos que representan el paradero Las Retamas y el Puente Los Ángeles. Vista la naturaleza del instrumento de recolección de datos, se procedió solo a la validez o grado en el que instrumento midió a través de la validez de contenido por juicio de expertos (Hernández et al., 2014).

Técnicas Estadísticas para el Procesamiento de la Información

El análisis de la información se realizó de tres maneras:

1. En primer lugar, un análisis descriptivo de la información respecto a las condiciones del pavimento, aplicando el fundamento de la metodología del PCI y el conteo volumétrico y clasificación de los vehículos para la determinación del IMDA, cuyos resultados se presentaron en tablas y gráficos.
2. Luego, se analizó la información mediante el software HDM-4 con lo cual se obtuvo el comportamiento del de deterioro del a fin de determinar las alternativas de mantenimiento adecuadas a partir de la comparación del IRI.
3. Finalmente, se determinó el comportamiento del IRI para cada una de las alternativas evaluadas, con lo cual se obtuvo el Índice de Servicialidad del pavimento (PSI) utilizando la siguiente ecuación:

$$PSI = 5 * e^{-\frac{IRI}{5.5}} \quad (6)$$

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Análisis del Estado Actual del Tramo de Estudio

Índice de Condición del Pavimento Flexible (PCI)

A partir de los resultados obtenidos en el Cuadro 2, se obtuvo el PCI para cada una de las 13 unidades de muestreo estudiadas, encontrándose rangos diferentes de este indicador, representados mediante la Figura 1, en la cual se puede apreciar que la carretera predomina un PCI bueno con 46% de incidencia, seguido de un PCI muy bueno con 15% de representación, luego se tiene un 15% de carretera con PCI malo, también se tiene un 15% con PCI regular y, por último, 8% de carretera con PCI excelente. Esto dio como resultado un PCI promedio de 62%, el cual indica un pavimento en estado de conservación bueno. Esto puede ser lógico, ya que la densidad de los daños en la mayoría de los casos, no era representativa ni constante a lo largo de la superficie de rodadura, lo cual se puede apreciar en el comportamiento de los datos obtenidos. En este contexto, los resultados se asemejan a los de Rimaicuna (2018), quien determinó un PCI en el rango 71-100 influenciado principalmente, a baches, ahuellamientos y grietas de bloque (piel de cocodrilo).

Así mismo, los resultados se relacionan con los de Soto (2018) en cuyo estudio determinó un PCI regular a malo entre el rango de 35 – 44 para 3 carreteras diferentes en Lima; encontrándose influenciado en mayor medida, por fallas tipo piel de cocodrilo, grietas transversales y longitudinales en la superficie del pavimento flexible, lo cual sugiere que este tipo de mecanismos de fallas son muy comunes en las carreteras de la ciudad de Lima, lo cual afianza los resultados de la presente investigación.

Cuadro 2. Resultados de PCI para las unidades de muestreo

Unidad Muestra	PCI	Calificación
MU-1	36	Malo
MU-2	62	Bueno
MU-3	38	Malo
MU-4	58	Bueno
MU-5	76	Muy Bueno
MU-6	68	Bueno
MU-7	57	Bueno
MU-8	78	Muy Bueno
MU-9	60	Bueno
MU-10	94	Excelente
MU-11	69	Bueno
MU-12	50	Regular
MU-13	55	Regular
General Tramo:	62	Bueno

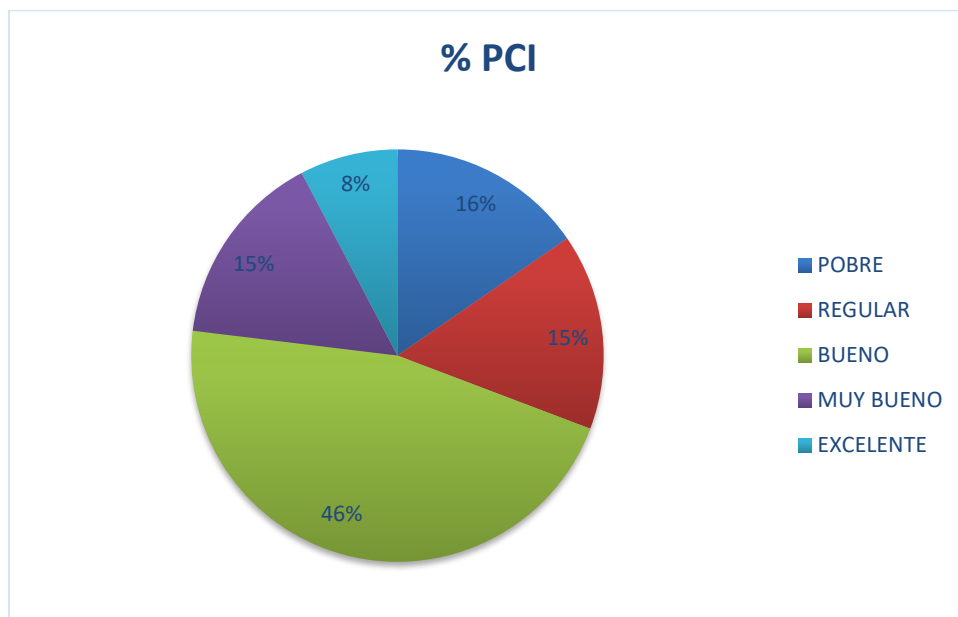


Figura 1. Índice del Pavimento en el Tramo de Estudio
Índice Medio Diario Anual (IMDA)

De acuerdo a los resultados obtenidos, se pudo determinar el IMDA por cada tipo de vehículo que transita por la carretera en estudio, encontrándose un IMDA > 6000 veh/día, calificando a la carretera como autopista de primer orden. Esto indica, que existe una alta demanda de vehículos en el tramo Las Retamas – Puente Los Ángeles, al determinarse IMDA 31236 veh/día; se observa que, el mayor aforo corresponde a autos con 12069 veh/día, seguido de microbuses con 5597 veh/día, luego se tienen combis y pick up con 2334 y 1640 veh/día, entre las clases con mayor incidencia en la carretera de estudio. A partir de ello, se pudo condensar el IMDA por tipo carga vehicular, representando un 92% de IMDA por vehículos ligeros y un 8%, por vehículos pesados (ver Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados del IMDA

Vehículo	IMDS	IMDA
Auto	12069.1429	12022.06
Station W	4950.9	4931.5
Pick up	1647.0	1640.6
Panel	228.4	227.5
Combi	2343.0	2333.9
Micro	5618.9	5596.9
Bus 2E	254.3	230.9
Bus 3E	479.1	435.0
Camión 2E	1607.6	1459.6
Camión 3E	765.1	694.7
Camión 4E	148.6	134.9
2S1/2S2	40.0	36.3
Semi tráiler 2S3	49.6	45.0
Semi Tráiler 3S1/3S2	62.7	56.9
Semi tráiler >= 3S3	1457.1	1323.0
Tráiler 2T2	5.7	5.2
Tráiler 2T3	10.7	9.7
Tráiler 3T2	25.9	23.5

Vehículo	IMDS	IMDA
Tráiler 3T3	31.4	28.5
Total	31795	31236
Clasificación	IMDA>6000 veh/día	
	Autopista de Primera Clase	

Alternativas de Conservación Periódica mediante Software HDM-4

Evaluación de las Alternativas de Conservación Periódica

Para evaluar el deterioro del pavimento, se utilizó como métrica el IRI, puesto que es el indicador más usado en los contratos de concesión y los acuerdos de nivel de servicio (PSI), considerándose como parámetro principal de evaluación. De esta manera, se aplicaron las distintas políticas de mantenimiento periódico y rutinario en 3 alternativas: pavimento bacheo, pavimento con fresado y reposición; y simple tratamiento superficial, obteniéndose mediante el software HDM-4, la frecuencia promedio por opción de proyecto (ver Figura 2). Como se puede observar, la regularidad de las alternativas del pavimento con fresado y reposición, y del simple tratamiento superficial (incluyen políticas de mantenimiento periódico) no supera los 3.2 m/km. Asimismo, se puede apreciar que el IRI de la alternativa pavimento bacheo, mostró una condición creciente a lo largo del período de evaluación hasta alcanzar el umbral 8.7 m/km. Por otro lado, se analizó la frecuencia IRI medio, por tramo de estudio, considerando el tramo de las Retama – Puente Los Ángeles con longitud de 1.90 km y ancho de 6.2 m, rampa y pendiente de 4 m/km y curvatura de 12°/km, cuyo comportamiento para las tres alternativas se puede ver en la figura 6; donde la alternativa de pavimento bacheo, que corresponde a realizar únicamente el mantenimiento de rutina durante todo el período de evaluación, presenta un IRI en aumento gradual hasta alcanzar el umbral de 8.2 m/km para el año 2036.

En cambio, la alternativa pavimento con fresado y reposición observó que se introduce la necesidad de mantenimiento periódico para el año 2026, mejora el IRI a 2.8 m/km, creando el trabajo de mantenimiento periódico recomendado, a partir de este año se afecta el estado funcional del pavimento produciéndose un deterioro gradual hasta alcanzar un IRI de 3.4 m/km en el año 2034, donde se realizarán obras de refuerzo asfáltico de 25 mm establecidas en el mantenimiento con el fin de mantener el nivel de servicio establecido. Por su parte, la alternativa simple tratamiento superficial que no requiere mantenimiento periódico, solo se debe realizar hasta que las mediciones de IRI alcancen los 3.5 m/km para 2025, se deben realizar trabajos de pavimentación con el simple tratamiento superficial, mejorando el IRI a 1.0 m/km gracias a los trabajos de mantenimiento periódico propuestos, a partir de ese año la condición funcional del pavimento se va deteriorando paulatinamente hasta alcanzar un IRI de 3.9 m/km durante el año. En el año 2032 se realizarían los trabajos de refuerzo de asfalto de 25 mm, que se han establecido para mantener los niveles de servicio.

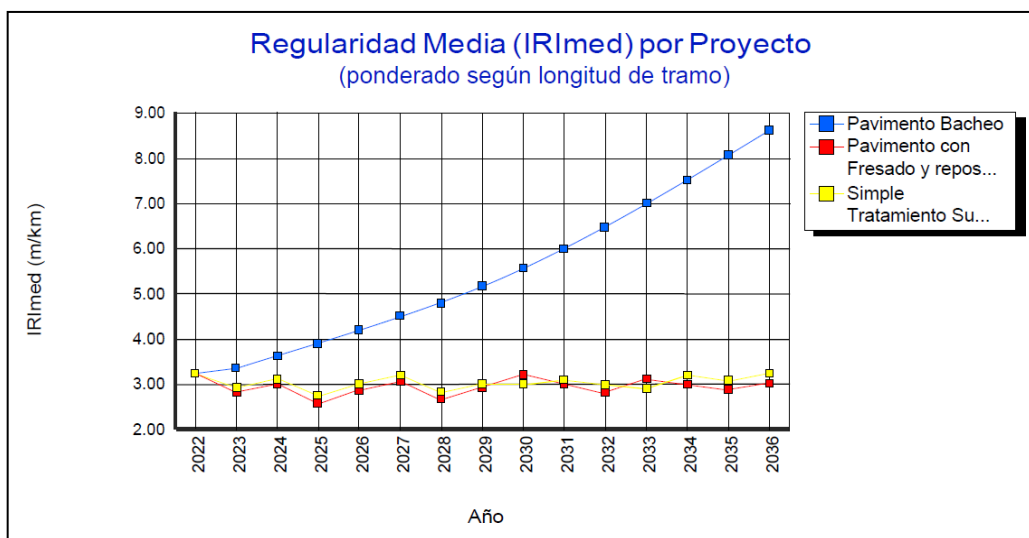


Figura 2. Frecuencia promedio (IRI) por proyecto. Nota: ponderado según longitud de tramo.

Evaluación Económica de las Alternativas

De la evaluación económica para la conservación del tramo Las Retamas – Puente los Ángeles de la carretera central, realizada con el modelo HDM-4, como se puede apreciar en el Cuadro 4, la alternativa de simple tratamiento superficial es la más conveniente técnica y económicamente, el mismo método incluye la aplicación uniforme de un ligante bituminoso sobre pavimento granulares, combinado con un óptimo mantenimiento de rutina. Los criterios de evaluación que muestran la rentabilidad del proyecto tienen los siguientes valores: VAN = 3.20 millones de soles y TIR = 20%. En el análisis económico realizado con el modelo HDM-4, se encontró que la opción de costo operativo vehicular más económica, es la opción de Simple tratamiento Superficial con una reducción de 5.16 millones de soles, en comparación con el estado actual de la vía en estudio para un período de evaluación de 15 años.

Cuadro 4. Resumen comparativo de la relación costo – beneficios de las alternativas

Aspectos a comparar	Alternativas		
	Pavimento bacheo	Pavimento con fresado y reposición	Simple tratamiento superficial
Valor actual de los costos totales de la administración (RAC)	1.71	7.50	5.73
Valor actual de los costos de capital de la administración (CAP)	0.00	5.99	4.72
Incremento en Costes de la Administración ('C)	0.00	5.84	4.61
Beneficios Exógenos Netos (E)	0.00	0.00	0.00
Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	0.00	4.37	3.20
Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	0.00	0.63	0.56
Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	0.00	0.79	0.67
Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)	0.00	18.00**	20.00**

Nota: ** número de soluciones de la TIR en el rango -90 a +90

Por otro lado, en el Cuadro 5, se hace un resumen de los costos anuales que representan cada una de las alternativas evaluadas, en un período de 15 años, donde se ha determinado que el costo económico del mantenimiento del tramo Las Retamas –Puente los Ángeles de la carretera central, para el período mencionado de evaluación, es de S/. 976,542.80 de la alternativa pavimento bacheo comparado con la alternativa de Simple tratamiento Superficial, el costo económico es de S/. 1'669,802.28. Así, los costos financieros de mantenimiento del tramo en estudio para los 15 años de evaluación, es de S/. 1'253,099.72 soles de la alternativa pavimento bacheo, en comparación con la alternativa de simple tratamiento superficial los costos económicos son de S/. 2'142,690.29. También se ha determinado que existe una diferencia en los costos de mantenimiento vial entre la alternativa de simple tratamiento superficial sobre la alternativa pavimento con fresado y reposición, estimándose el ahorro en S/. 2'154,400.00.

Cuadro 5. Resumen de los costos anuales de las alternativas

Año	Bacheo	Fresado y reposición	Trata. Superficial
2022	700.00	6421.10	1321.09
2023	0.00	326437.25	16337.27
2024	2651.20	226481.37	26281.40
2025	8074.10	204362.00	124262.00
2026	17153.00	226446.18	126346.07
2027	25219.60	206262.00	80162.00
2028	31571.10	200361.08	99261.10
2029	34674.02	202981.36	102781.36
2030	42806.30	206564.00	96424.00
Año	Bacheo	Fresado y reposición	Trata. Superficial
2031	71586.26	236264.00	136164.00
2032	96055.19	256426.76	136223.77
2033	102254.17	306400.00	106200.00
2034	121204.25	306424.17	106124.27
2035	205446.19	435426.00	235326.00
2036	217,147.25	476,987.66	276,587.68
Total 15 años:	S/976,542.63	S/3,824,244.93	S/1,669,802.01

De igual manera, el estudio se coteja con el de Sandoval (2018), quien también aplicó el software HDM-4 para calcular la rentabilidad de un programa de mantenimiento periódico de una carretera, para lo cual consideró el volumen vehicular y aspectos climáticos, encontrándose que las precipitaciones son el factor que mayor incidencia tiene sobre el deterioro de la vía debido a las malas condiciones de drenaje, provocando un índice de servicialidad malo en la carretera asociado a un índice de rugosidad internacional (IRI); tras lo cual planteó como opciones, el Tratamiento Superficial Bicapa y el Tratamiento Superficial Slurry Seal para los tramos I y II respectivamente, los cuales resultaron ser rentables ($VAN > 0$) tal cual los resultados obtenidos en la presente investigación, donde resultó viable técnica y económicamente, el tratamiento superficial con aplicación de bitumen y una rentabilidad dada por un VAN positivo.

Impacto del Plan de Mantenimiento en el Índice de Servicialidad del Pavimento

Los resultados que indican el impacto de las alternativas de mantenimiento sobre el PSI del pavimento, se pueden encontrar en la tabla 8, de los cuales se obtuvo un comportamiento similar al IRI en las alternativas, resultando un declive exponencial para la alternativa de bacheo hasta alcanzar el valor de 1.03 al año 2036; mientras que el valor se mantiene prácticamente constante, en las alternativas de fresado y reposición y tratamiento superficial variando muy gradualmente entre 2.74 y 3.12. Por tanto, el PSI del pavimento, tiene un comportamiento inverso al Índice de Regularidad Internacional.

CONCLUSIONES

- El estudio permitió determinar el estado actual del pavimento flexible a través del PCI y del IMDA, encontrándose de manera general, en estado bueno con un PCI en el rango 70-55; atribuido a una mayor incidencia de fallas tipo piel de cocodrilo, huecos, grietas longitudinales y transversales; mientras que, el IMDA resultó mayor a 6000 veh/día, lo que clasifica a la carretera central, como una autopista de primer orden; lo cual parece lógico al ser una de las vías principales que conecta la ciudad de Lima con otros departamentos y provincias, promoviendo actividades económicas que la convierten en una conexión de gran importancia para el desarrollo del país.
- Para la evaluación del deterioro del pavimento, se aplicaron distintas políticas de mantenimiento periódico y rutinario en 3 alternativas, obteniéndose la frecuencia promedio por opción de proyecto mediante el software HDM-4; el IRI de la alternativa pavimento bacheo, mostró una condición creciente a lo largo del período de evaluación hasta alcanzar el umbral 8.7 m/km; la alternativa pavimento con fresado y reposición observó que se introduce la necesidad de mantenimiento periódico para el año 2026, mejora el IRI a 2.8 m/km; en tanto, la alternativa simple tratamiento superficial que no requiere mantenimiento periódico, solo se debe realizar hasta que las mediciones de IRI alcancen los 3.5 m/km para 2025.
- Finalmente, al evaluar el impacto de las alternativas de mantenimiento sobre el PSI del pavimento, se obtuvo un comportamiento inversamente proporcional al IRI; es decir, mientras más bajo fue la regularidad, el índice de servicialidad fue más alto y favorable.

REFERENCIAS

- Alarcón, F. (2016). *Informe N° 001-2016 / La importancia de la Carretera Central*. Lima, Perú: DGTT – MTC.
- Del Rosario, A. (2017). Diseño de un plan de mantenimiento para infraestructuras viales en la Republica Dominicana. Aplicación a la carretera El Seibo – Hato Mayor. *Trabajo de fin de Máster*. Valencia , España.
- El Comercio. (20 de enero de 2020). Chaclacayo: desbloquean Carretera Central tras huaico que dejó calles inundadas. *El Comercio*. <https://elcomercio.pe/lima/sucesos/chaclacayo-desbloquean-carretera-central-tras-huaico-que-dejo-calles-inundadas-noticia/>
- González-Fernández, H., Ruíz-Caballero, P., & Guerrero-Valverde, D. (2019). Propuesta de metodología para la evaluación de pavimentos mediante el índice de condición de pavimento (PCI). *Ciencia en su PC*, 1(4), 58-71. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/1813/181358738015/html/index.html>
- Hamim, O., Aninda, S., Hoque, M., & Hadiuzzaman, M. (2021). Suitability of pavement type for developing countries from an economic perspective using life cycle cost analysis.

- International Journal of Pavement Research and Technology*(14), 259-266. <https://doi.org/10.1007/s42947-020-0107-z>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. Ciudad de México: McGraw-Hill.
- IPE. (2017). ¿Hacia dónde va la infraestructura del transporte en el Perú? *Costos*, 22-26. <https://www.ipe.org.pe/portal/hacia-donde-va-la-infraestructura-del-transporte-en-el-peru/>
- Keegan, K., & Wolff, H. (2015). Modern pavement condition assesment methods for periodic maintenance and rehabilitation planning on a network level - a United States approach with possible application opportunities in South África. *Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa (CAPSA15), 11th, 2015, Sun City, South Africa* (págs. 1-8). Sun City: Sudáfrica.
- Khan, M., Mesbah, M., Ferreira, L., & Williams, D. (2017). Development of optimum pavement maintenance strategies for a road network. *Australian Journal of Civil Engineering*, 12(1), 85-96. doi:10.1080/14488353.2017.1362823
- Municipalidad de Chaclacayo. (2016). *Plan de Desarrollo Local Concertado Chaclacayo 2017-2021*. Chaclacayo, Perú: Municipalidad Distrital de Chaclacayo.
- Nwafor, M., & Onya, O. (2019). Road transportation service in Nigeria: Problems and prospects. *Advance Journal of Economics and Marketing Research*, 4(3), 104-115. <https://aspjournals.org/ajemr/index.php/ajemr/article/view/1/1>
- Palomino, J., Peña, J., Zevallos, G., & Orizano, L. (2017). *Metodología de investigación*. Lima: Editorial San Marcos.
- Pellicer, E., Paredes, R., Felipo, J., & Sánchez, J. (2020). *Sistema integral para el mantenimiento eficiente de pavimentos urbanos*. Madrid, España: Fundación Asociación Española de la Carretera.
- Rimaicuna, C. (2018). Mantenimiento periódico para el pavimento asfáltico del trampo de la carretera nacional, EMP.PE-1NL desde Sajino (KM. 0+000) - C.P. La Saucha (Km. 5+600), distrito de Paimas, provincia de Ayabaca, departamento de Piura. *Tesis de grado*. Piura, Perú.
- Sandoval, Y. (2018). Mantenimiento Periódico inicial en la mejora de vida útil del pavimento en la carretera: Pucará km 13+542 al Dv. Pampas km 39+842. *Tesis de grado*. Lima, Perú.
- Zhang, Y., & Mohsen, J. (2018). Project-Based Sustainability Rating Tool for Pavement Maintenance. *Engineering*(4), 200-208. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.03.001>