



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE



TESIS

**ANÁLISIS DE LAS FALLAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE, APLICANDO
LA METODOLOGÍA PAVEMENT CONDITION INDEX Y EVALUACIÓN DE
IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO: TRAMO DEL ÓVALO ZONA
SUR JULIACA A CARACOTO, 2023**

PRESENTADA POR:

JHOMAR MARCELINO TONCONI QUISPE

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTOR EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

PUNO – PERÚ

2024

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

ANÁLISIS DE LAS FALLAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE, APLICANDO LA METODOLOGÍA PAVEMENT CONDITION INDEX Y

AUTOR

Jhomar Marcelino Tonconi Quispe

RECuento DE PALABRAS

24034 Words

RECuento DE CARACTERES

131318 Characters

RECuento DE PÁGINAS

114 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

8.0MB

FECHA DE ENTREGA

Jun 20, 2024 11:58 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jun 20, 2024 12:00 PM GMT-5

● **14% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.


- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 10% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)


Juan Marcos Aro Ayo, Ph. D.
Ing. AGROINDUSTRIAL
C.I.P. N 52422




Jhoben Jared Luque Coyta
ING. ESTADÍSTICO E INFORMATICO
C.I.P. 116625

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE

TESIS

**ANÁLISIS DE LAS FALLAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE, APLICANDO
LA METODOLOGÍA PAVEMENT CONDITION INDEX Y EVALUACIÓN DE
IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO: TRAMO DEL ÓVALO ZONA
SUR JULIACA A CARACOTO, 2023**



PRESENTADA POR:

JHOMAR MARCELINO TONCONI QUISPE

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTOR EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:


PRESIDENTE


.....
D.Sc. TEÓFILO DONAIRES FLORES

PRIMER MIEMBRO


.....
D.Sc. JAVIER MAMANI PAREDES

SEGUNDO MIEMBRO


.....
D.Sc. LEÓNIDAS VILCA CALLATA

ASESOR DE TESIS


.....
Ph.D. JUAN MÁRCOS ARO ARO

Puno, 1 de febrero de 2024.

ÁREA: Ciencias de la ingeniería.

LÍNEA: Recursos naturales y medio ambiente.

TEMA: Análisis de las fallas en el pavimento flexible, aplicando la metodología pavement condition index y evaluación de impacto ambiental del proyecto: tramo del óvalo zona sur Juliaca a Caracoto, 2023.



DEDICATORIA

A mis padres Hilario y Emiliana, por darme la vida y haberme guiado en el camino a seguir hacia adelante mediante el estudio; a mis hermanos Sabina, Cecilia, Patricia, Florencia, Wilmer Inocencio y Juan, por su apoyo incondicional y sobre todo motivación para la culminación satisfactoria de mis estudios.

A mi esposa Sandra y mi apreciada hija Alexandra La Rosa, por su aliento y comprensión para el cumplimiento de mis metas.

Jhomar Marcelino Tonconi Quispe



AGRADECIMIENTO

Expresar mi gratitud a los catedráticos del Doctorado en Ciencia Tecnología y Medio Ambiente de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, por sus enseñanzas en cada una de las asignaturas del programa.

Expreso mi reconocimiento a los miembros del jurado D.Sc. Teófilo Donaires Flores, D.Sc. Javier Mamani Paredes y D.Sc. Leónidas Vilca Callata por sus contribuciones y aportes en el presente trabajo de investigación.

A mi asesor, Ph.D. Juan Marcos Aro Aro, por su valiosa orientación, sugerencia y dedicación para la culminación del presente trabajo.

Jhomar Marcelino Tonconi Quispe



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1	Marco teórico	4
1.1.1	Fallas de los pavimentos	4
1.1.2	La metodología de Pavement Condition Index (PCI)	6
1.1.3	Evaluación del estado de los pavimentos flexibles	6
1.1.4	Mantenimiento y/o rehabilitación de pavimentos	7
1.1.5	Diseño de pavimento flexible en caliente	8
1.1.6	Estudio de tráfico	8
1.1.7	Evaluación de Impacto Ambiental	9
1.1.8	Pasos de una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)	9
1.1.9	Métodos para proyectar impactos	11
1.2	Antecedentes	11
1.2.1	Internacionales	11
1.2.2	Nacionales	17
1.2.3	Locales	19

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1	Identificación del problema	22
2.2	Enunciados del problema	23
2.2.1	Problema general	23
2.2.2	Problemas específicos	23



2.4	Objetivos	25
2.4.1	Objetivo general	25
2.4.2	Objetivos específicos	25
2.5	Hipótesis	25
2.5.1	Hipótesis general	25
2.5.2	Hipótesis específicas	25
CAPÍTULO III		
MATERIALES Y MÉTODOS		
3.1	Lugar de estudio	27
3.2	Población	28
3.3	Muestra	28
3.4	Método de investigación	30
3.5	Descripción detallada de métodos	30
CAPÍTULO IV		
RESULTADOS Y ANÁLISIS		
4.1	Resultados	40
4.1.1	Análisis de los tipos de fallas en pavimento flexible	40
4.1.2	Nivel de mejoramiento del pavimento flexible mediante la mezcla asfáltica	45
4.1.3	Impactos ambientales negativos y positivos con la ejecución del proyecto	57
4.2	Discusión	68
CONCLUSIONES		71
RECOMENDACIONES		72
BIBLIOGRAFÍA		73
ANEXOS		79

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Tipos de fallas presentes en los pavimentos	6
2. Clasificación del estado del pavimento.	7
3. Longitudes de unidades de muestreo asfáltico	31
4. Intervención de acuerdo al PCI	32
5. Componentes Ambientales	37
6. Importancia del impacto ambiental	38
7. Tipos de fallas según las progresivas y el grado de severidad	41
8. Resultados del PCI según progresivas y condición de conservación.	44
9. Tipo de intervención de la vía según rango de PCI	45
10. Índice medio diario anual, según tipo de vehículos	47
11. Tasa crecimiento promedio ponderado, según tipos de vehículos	48
12. Determinación del tránsito medio diario anual, según tipos de vehículos	49
13. Determinación de parámetros del diseño de pavimento flexible	50
14. Numero estructural requerido en el diseño del pavimento flexible	51
15. Coeficientes estructurales de las capas	52
16. Cálculo de espesores de las capas	53
17. Coeficientes de drenaje no tratadas en pavimentos flexibles	53
18. Análisis comparativo entre SN requerido y resultado	54
19. Resumen de costo total del mantenimiento correctivo.	56
20. Identificación e inventario del impacto ambiental, según factores ambientales y unidad de importancia.	59
21. Identificación de impactos por factores ambientales, según las actividades de mantenimiento correctivo.	60
22. Matriz de importancia de impactos ambientales.	62
23. Regla de decisión para impactos ambientales	63
24. Regla de decisión para impactos ambientales	64
25. Clasificación de los residuos sólidos, según color y clase	66



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. El proceso de la Evaluación de Impacto Ambiental	10
2. Ubicación del lugar de investigación	27
3. Evolución de los valores del PCI según progresiva de la vía.	44
4. Identificación de la capa superficial, base y subbase.	54



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Matriz de consistencia	79
2. Panel fotográfico	80
3. Índice de condición del pavimento (PCI)	84
4. Tasa de crecimiento de la población intercensal y del PBI, departamento de Puno	98
5. Correlación estadística entre PCI, presencia de fallas y el grado de severidad alta	99
6. Formato de tráfico vehicular	100
7. Identificación e inventario de impactos ambientales	101
8. Análisis de costos unitarios para la reparación de la superficie del pavimento	102

RESUMEN

En el departamento de Puno, la infraestructura vial local, regional y nacional en su mayoría se encuentra deteriorada afectando el adecuado tránsito de vehículos y peatones; siendo el objetivo del presente estudio, analizar las fallas en pavimento flexible aplicando la metodología PCI en el Tramo del Óvalo Zona Sur Juliaca a Caracoto, y evaluar los impactos negativos y positivos durante la etapa de ejecución del proyecto, a través del método de matrices de causa-efecto de Leopold. Los resultados de los reportes del campo, considerando 14 unidades de muestra, indican que hay presencia de 9 tipos de fallas, siendo las grietas longitudinales y transversales presente en todas las unidades muestrales, seguido por las fallas como la piel de cocodrilo, agrietamiento en bloque, parchado y acometida de servicios públicos, grieta de borde, pulimiento de agregado, huecos, corrugación y depresión en 12, 11, 9, 7, 4, 3, 1, 1 unidades muestrales respectivamente; obteniéndose un PCI de 41.73%, que corresponde a una clasificación de estado regular; frente a ello, se determinó una intervención a nivel de mantenimiento correctivo, con recapado asfáltico en caliente de 5 cm, y un espesor de las capas de base y de subbase de 30 cm cada uno; para lo cual, se ha identificado 6 principales actividades que generan 12 impactos ambientales, siendo la generación de los residuos sólidos el de mayor impacto negativo y severo, con un valor de importancia del impacto igual a -48, y la generación de puestos de trabajo temporal el de mayor impacto positivo.

Palabras clave: Evaluación de impacto ambiental, evaluación funcional y estructural, pavement condition index, mantenimiento rutinario y periódico.

ABSTRACT

In the department of Puno, the local, regional and national road infrastructure is mostly deteriorated, affecting the adequate transit of vehicles and pedestrians; The objective of this study is to analyze the failures in flexible pavement by applying the PCI methodology in the stretch of the South Zone Oval Juliaca to Caracoto, and to evaluate the negative and positive impacts during the execution stage of the project, through the method of Leopold's cause-effect matrices. The results of the field reports, considering 14 sample units, indicate that there is the presence of 9 types of faults, being longitudinal and transverse cracks present in all sample units, followed by faults such as crocodile skin, block cracking, patching and utility connection, edge cracking, aggregate polishing, gaps, corrugation and depression in 12, 11, 9, 7, 4, 3, 1, 1 sample units respectively; obtaining a PCI of 41.73%, which corresponds to a regular status classification; In view of this, an intervention was determined at the level of corrective maintenance, with hot asphalt recapping of 5 cm, and a thickness of the base and subbase layers of 30 cm each; for which, 6 main activities have been identified that generate 12 environmental impacts, with the generation of solid waste being the one with the greatest negative and severe impact, with an impact importance value equal to -48, and the generation of temporary jobs the one with the greatest positive impact.

Keywords: Environmental impact assessment, functional and structural assessment, pavement condition index, routine and periodic maintenance.

INTRODUCCIÓN

En el Perú, la infraestructura vial local, regional y nacional se constituyen en un factor fundamental e indispensable para el desarrollo de la actividad económica y social, que permite la comunicación, transitabilidad vehicular y peatonal, además la interrelación entre los pueblos, transporte de bienes y servicios, y es también parte importante para el incremento de la actividad turística que trae consigo ingresos económicos. Con ese propósito, el sector transporte y comunicaciones establece como política nacional de forma general la conservación de la infraestructura vial, y de manera específica busca ampliar las actividades de mantenimiento y conservación de la red de carreteras mejorando el servicio de transporte de carga y pasajeros, así como garantizar la seguridad a la población; al contrario, en muchos casos la infraestructura vial se encuentra deteriorada afectando el adecuado tránsito de vehículos y peatones.

De manera similar, en la región de Puno, los pavimentos flexibles de las vías consideradas como red vial nacional, departamental y local, por lo general, tienen corta durabilidad, sus causas son diversas tales como: deficiente diseño del pavimento flexible, fallas en el proceso de la construcción, mayor tránsito vehicular, inadecuada construcción del drenaje, limitada e irregular mantenimiento del pavimento. Todo ello, condice que el pavimento se deteriore y se presenten varios tipos de fallas que afectan el estado de la carretera, el cual genera deficiente servicio y daños materiales de los vehiculares, y con ello aumenta los costos de reparación, así como el deterioro de los elementos ambientales en aspectos físico-químicos, bióticos y socioeconómicos, lo que ello conduce a empeorar el nivel de vida de la población afectada.

Frente a los problemas expuestos, se justifica la presente investigación que consiste en evaluar las fallas del pavimento aplicando el método PCI, para recomendar una intervención a nivel de mantenimiento mediante el recapado asfáltico en caliente del Tramo desde el Óvalo Zona Sur Juliaca hasta Caracoto de la vía de Juliaca a Puno.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico

1.1.1 Fallas de los pavimentos

El pavimento asfáltico experimenta varios tipos de deterioro a lo largo de su vida útil debido a la carga del tráfico y las condiciones ambientales, entre los que se incluyen grietas, surcos, desmoronamientos y baches (Zhang et al. 2019).

El pavimento de las vías, está representado por capas estructurales, que tienen la finalidad de brindar a los usuarios la seguridad y comodidad; las fallas surgen por el deterioro de la infraestructura vial que afecta el adecuado tránsito de vehículos y peatones, y pueden clasificarse, por un lado en fallas funcionales que representan a un desperfecto en la superficie del pavimento, afectando al normal circulación del tránsito vehicular, sin que se imposibilite su uso diario, por otro lado en fallas estructurales, corresponden a una deficiencia del pavimento que provoca una reducción de la capacidad de carga del mismo. Entonces las fallas pueden catalogarse como deficiencias que imposibilitan el uso correcto del pavimento, pueden presentarse tanto en la superficie de rodamiento como en la base, en la subbase o en la subrasante (Sotil, 2016).

Los factores que determinan las fallas en los pavimentos son diversas tales como el deficiente diseño del pavimento flexible, fallas en el proceso de la construcción, tráfico vehicular mayores al habitual, inadecuado sistema de drenaje, limitada e irregularidad en el mantenimiento del pavimento; según Huilcapi et al. (2015) existen tres factores que intervienen en las fallas de un pavimento flexible: el factor tránsito que comprende la carga por rueda, el modo de unión de las ruedas, la presión de inflado de los neumáticos, el número y frecuencia de pasos de cargas; el factor suelo en el caso de pavimentos flexibles, está caracterizado por las constantes geotécnicas del lugar considerado, y por las variaciones en su comportamiento; y el factor materiales que engloba a la vez espesores y características físicas de las diversas capas de la calzada. Estos factores conllevan a que el pavimento se deteriore y se presenten varias fallas

afectando directamente el estado de la vía, aumentando daños vehiculares y sus costos de reparación (Sotil, 2016).

Entre estos problemas, los baches son ampliamente reconocidos por provocar interrupciones en el tráfico y problemas de seguridad. Se trata de depresiones en forma de cuenco en la superficie del pavimento asfáltico, generalmente causadas por grietas no selladas debido a la intrusión de humedad o al ciclo de congelación y descongelación, combinados con la carga del tráfico (Xiaochen, 2023).

Por lo tanto, existen diferentes tipos de fallas que pueden presentarse en los pavimentos flexibles, algunas de las fallas más comunes son las grietas por fatigamiento, grietas de borde, grietas longitudinales, grietas transversales, grietas de bloque, grietas de reflexión, las deformaciones se presentan bajo diferentes formas como ahuellamientos, ondulaciones y desplazamientos, depresiones y levantamientos, por desintegración son los baches y el desprendimiento y deformaciones, desintegración, exudaciones, y la pérdida de áridos (Huilcapi et al., 2015).

Del mismo modo, el mecanismo del daño por humedad ayuda al desprendimiento, el desmoronamiento y el ablandamiento debido a fallas de adhesión o cohesión pueden representar una pérdida económica significativa para la sociedad (Majidzadeh y Brovold, 1966).

Por otro lado, según la normatividad ASTM D6433, que consiste en una práctica estándar para la determinación de la condición del pavimento de carreteras, utilizando la metodología de Pavement Condition Index (PCI) para determinar la condición del pavimento flexible, dicha normatividad considera existencia de un total de 19 tipos de fallas, cuales se describen en la tabla siguiente.

Tabla 1

Tipos de fallas presentes en los pavimentos

Nro	Tipos de fallas	Unidad
01	Piel de cocodrilo	M ²
02	Exudación	M ²
03	Agrietamiento en bloque	M ²
04	Abultamiento y hundimiento	ML
05	Corrugación	M ²
06	Depresión	M ²
07	Grieta de borde	ML
08	Grieta de reflexión de junta	ML
09	Desnivel carril/berma	ML
10	Grietas longitudinales y transversales	ML
11	Parchado y acometida de servicios públicos	M ²
12	Pulimiento de agregado	M ²
13	Huecos	Und
14	Cruce de vía férrea	M ²
15	Ahuellamiento	M ²
16	Desplazamiento	M ²
17	Grietas parabólicas o por desplazamiento	M ²
18	Hinchamiento	M ²
19	Desprendimiento de agregados	M ²

Nota. Norma ASTM D6433-03, 2018.

1.1.2 La metodología de Pavement Condition Index (PCI)

Para la aplicación de la metodología de Pavement Condition Index (PCI) existe referencia nacional e internacional, que inicia con un inventario visual de las fallas en la superficie de la vía, que permite establecer el nivel de conservación del estado actual del pavimento, considerando el tipo, severidad y cantidad de cada daño o falla identificado. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie (Ali et al., 2023; Pinatt et al., 2020; Baque, 2020; Chávez y Peñarreta 2019; Arhin et al., 2015; Díaz, 2014; Vásquez, 2002).

1.1.3 Evaluación del estado de los pavimentos flexibles

La evaluación superficial de los pavimentos flexibles, según la Norma ASTM D6433-18, se realiza a través de la metodología del Índice de Condición del Pavimento (PCI) por ser un método adecuado para evaluar y calificar el estado

de conservación funcional y real de un pavimento, el cual consiste en una inspección visual al detalle en cada unidad de muestreo identificado, considerando las progresivas de la vía y estimando el valor del PCI, para luego clasificar en la escala numérica del PCI, que varía desde 0 a 100 puntos porcentuales, representando desde un estado fallado hasta un estado excelente respectivamente, el detalle se presenta en la siguiente tabla a continuación:

Tabla 2

Clasificación del estado del pavimento

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

Nota. Norma ASTM D6433-18.

1.1.4 Mantenimiento y/o rehabilitación de pavimentos

Para mantener el pavimento en buenas condiciones, considerando los costos financieros y la sostenibilidad, es fundamental desarrollar un plan integral de gestión del pavimento, incluye dos componentes esenciales: primero, prever la condición del pavimento en un período de tiempo determinado; y segundo, utilizar un algoritmo de optimización adecuado (Nazeri et al. 2024).

Luego de la evaluación del estado de conservación del pavimento mediante el PCI, se determina el tipo de intervención a realizar, esta puede ser a nivel de mantenimiento o a nivel de rehabilitación, según Sotil (2016) el mantenimiento busca la recuperación del leve deterioro de la capa de rodadura ocasionados por el tránsito vehicular y por los efectos adversos del clima, por lo que las actividades de mantenimiento preventivo están orientadas a proteger el pavimento y recuperar su deterioro; de manera similar, las actividades de un mantenimiento correctivo buscan corregir fallas específicas en el pavimento y/o

de las áreas deterioradas. Mientras, la rehabilitación conduce a un mejoramiento en la condición del pavimento, recuperando las condiciones iniciales de la vía (Núñez, 2018).

1.1.5 Diseño de pavimento flexible en caliente

Una vez definido el tipo de intervención sea mantenimiento o rehabilitación, se realizará el diseño de mezclas asfálticas modificadas en caliente, depende del estudio de tráfico vehicular, principalmente por la circulación de vehículos pesados por tener mayor exigencia. Además, para la determinación de los parámetros Marshall para cada contenido de asfalto, según la norma ASTM D1559, se obtienen del promedio de los resultados de tres probetas clasificadas, dichas probetas Marshall son producto de un proceso de preparación con energía de compactación de un promedio de 75 golpes por cada cara de molde. Normalmente se aplican 50 golpes por cara en la compactación de la mezcla proyectada para tráfico medio y 75 golpes para tráfico pesado (Chuman, 2017).

1.1.6 Estudio de tráfico

El tráfico vehicular, también conocido como tráfico vehicular o simplemente tráfico, se refiere al fenómeno generado por el flujo de vehículos en vías, calles o autopistas. En inglés, se distingue entre "transit" y "traffic": "transit" se relaciona con el concepto de "transportarse", mientras que "traffic" equivale aproximadamente a "tránsito vehicular". En español, "tránsito" suele describir el flujo de elementos en movimiento (pasar de un lugar a otro por una vía) mientras que "tráfico" se refiere a los elementos transportados por otro medio (Soto, 2017).

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) ente rector del sector transporte en el Perú, en su manual referido a suelos y pavimentos, sostiene que el objetivo del estudio de tráfico vehicular es proveer información relacionada al índice medio diario anual (IMDa) que permite determinar la demanda volumétrica y la clasificación según el tipo de vehículos. De esta manera, el estudio de tráfico vehicular está orientado al cálculo del IMDa en un tramo de la carretera, con el fin de conocer la demanda vehicular existente en cada sentido de tráfico de la vía.

Por otro lado, el estudio de tráfico permite determinar 07 indicadores necesarios para el diseño de asfalto para el pavimento, los cuales son: el volumen de tránsito de un carril y en periodo de tiempo específico; el índice medio diario (IMD) anual, semanal o mensual; pesos y medidas máximos permitidos por tipos de vehículos; periodo de diseño del pavimento para soportar el impacto acumulativo que tiene el tránsito en un periodo determinado; carril de diseño consiste en determinar la cantidad de vehículos que transitan en una o dos sentidos; cálculo de tasa de crecimiento y proyección; y estimación del número de ejes equivalentes (ESAL) muy útil para el diseño del pavimento.

1.1.7 Evaluación de Impacto Ambiental

El método de la evaluación de impacto ambiental (EIA) se utiliza para identificar, evaluar y pronosticar los impactos ambientales resultantes de un proyecto o actividad, que se generan en los recursos naturales y en el ambiente de las zonas afectadas; según Conesa (2010) la EIA es un proceso jurídico administrativo de identificación, clasificación y evaluación de los impactos ambientales de un programa o proyecto, que sirve como un instrumento para la toma de decisión sobre el pase o no de dicho programa o proyecto, por parte de la autoridad competente. Entonces, es de suma importancia la realización de la EIA antes de iniciar con las acciones de un proyecto.

En el Perú, el Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) del Ministerio del Ambiente, es el órgano rector de estudios de impactos ambientales, tiene por objetivo la identificación, prevención, supervisión y corrección anticipada de los impactos ambientales negativos significativos. Por lo tanto, un proyecto de mejoramiento de infraestructura vial, genera impactos positivos y negativos a lo largo de la vía, estas pueden ocurrir en la etapa de ejecución, como en la operación, en consecuencia, se necesita adoptar medidas de mitigación correctivas de los impactos negativos o su compensación con el fin de reducir una amenaza para el ambiente.

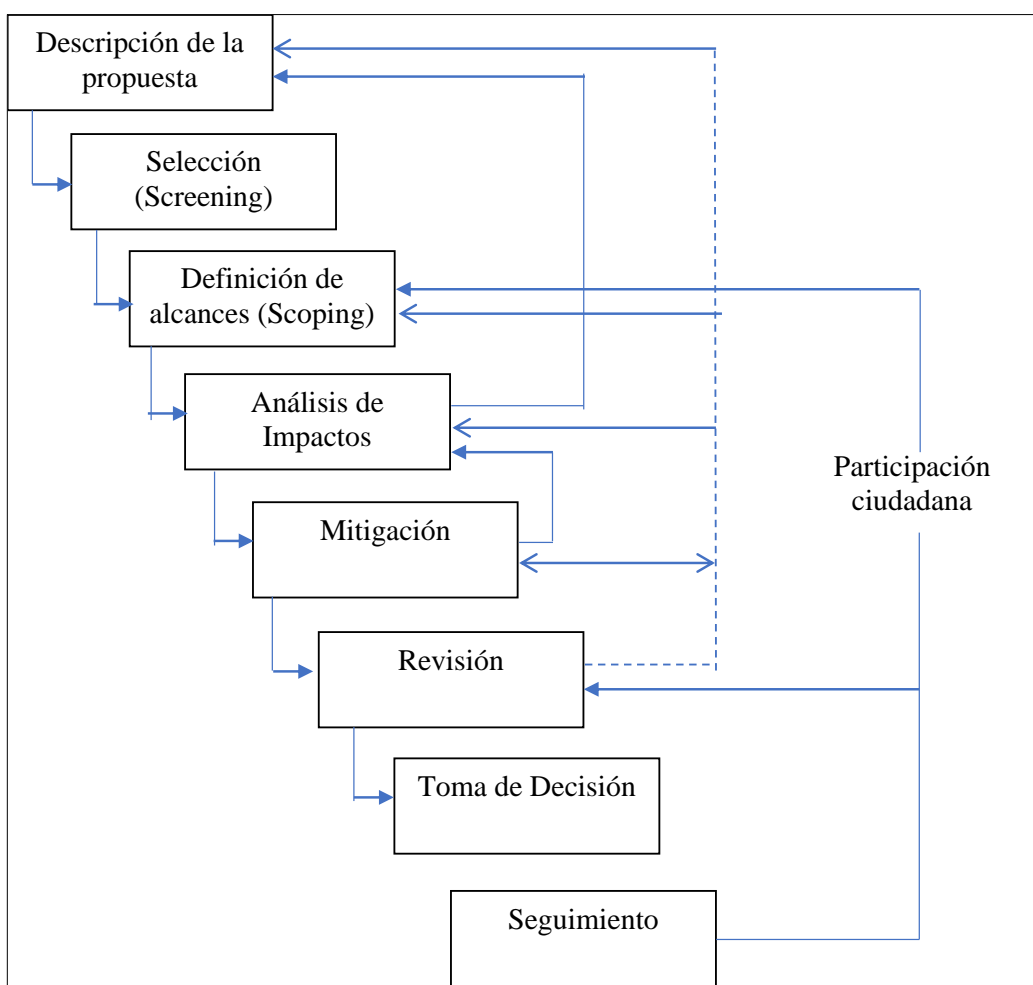
1.1.8 Pasos de una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)

La EIA es un proceso preventivo que identifica, cuantifica e implementa medidas correctivas sobre los impactos ambientales negativos, se realiza antes de

iniciar con la ejecución de las acciones de un proyecto. El procedimiento de EIA se rige por un conjunto de exigencias legales, procedimiento y metodologías dadas por la autoridad ambiental. Según Espinoza (2007) la EIA es un procedimiento iterativo, que contiene las medidas de retroalimentación, los cuales son diseñadas para revisar y reconsiderar los impactos ambientales de cualquier cambio acontecido. En la Figura posterior, se representa en un flujograma de procedimiento de la EIA.

Figura 1

El proceso de la Evaluación de Impacto Ambiental



Nota. Gestión y fundamentos de evaluación de impacto ambiental, Espinoza (2007).

La información del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) es pública y se distribuye en copias físicas y digitales a varias entidades. También se entrega un Resumen Ejecutivo, el cual se puede solicitar a las autoridades y se publica en el portal del MINEM junto con el Plan de Participación Ciudadana. Para talleres y

audiencias, así como la entrega del EIA, es obligatorio realizar anuncios radiales, publicaciones en diarios y carteles (Ministerio del Ambiente, 2023).

1.1.9 Métodos para proyectar impactos

Existen variedad de métodos para pronosticar los impactos ambientales como análogos, listas de verificación, análisis costo beneficio ambiental, opinión de expertos, índices ambientales, modelos a escala, matrices, redes, superposición de mapas, evaluación de riesgos, construcción de escenarios, entre otros; cada uno tiene diferentes teorías que permiten evaluar y predecir impactos, por lo tanto, el instrumento de EIA no solo es único para diferentes proyectos, sino se puede usar distintos instrumentos, incluso combinados las herramientas para determinados proyectos, siendo el más popular los matrices, modelo cualitativo que muestra efectividad en las etapas de descripción de ambientes afectados y predicción de los ambientes, el cual, es motivo para el presente estudio, la valoración de impactos de la intervención de mantenimiento vial.

Finalmente, Dueñas (2012) indica que la etapa de predicción de los impactos ambientales tiene bastante compatibilidad con las metodologías existentes de la evaluación de impacto ambiental, por lo que, la elección de uno u otro método dependerá de los datos existentes y el tipo de intervención de proyecto que se desea evaluar y valorar.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Internacionales

A nivel internacional existen estudios que respaldan la aplicación de la metodología Pavement Condition Index (PCI) para evaluar el estado de pavimentos, Pinatt et al. (2020) analiza las evaluaciones objetivas y subjetivas del PCI, para una adecuada gestión de pavimentos urbanos en la ciudad de Maringá en Brasil, utilizando el Sistema de Información Geográfica (SIG) y el software ArcGIS 10.2, obtuvieron una correlación de Pearson de 0,95, un valor cercano a 1, lo que representa una fuerte correlación entre los datos, que permite concluir que PCI es una herramienta útil, rápida y simplificada para evaluar los pavimentos y obtener buenos resultados. De manera similar, Díaz (2014) sostiene que la metodología PCI tiende a ser una herramienta más rigurosa para la evaluación de

pavimentos flexibles, obteniendo información en in situ y siguiendo el procedimiento metodológico y normativo ASTM D6433.

Por su parte, para Estados Unidos de Norte América, Arhin et al. (2015) evalúan el estado de los pavimentos en el distrito de Columbia, mediante PCI para dos periodos 2009 y 2012. Los resultados por tipos de pavimentos, muestran que los pavimentos compuestos o combinados (asfalto y concreto) fueron con menos irregularidades frente al asfalto y concreto puro, con un valor promedio de PCI de 57.8% en el 2009 y de 57.2 en 2012; mientras en los pavimentos de asfalto y concreto, el valor promedio de PCI disminuye de 55% a 52% y de 55% a 50%, para los 2009 y 2012 respectivamente. Además, el uso combinado de los indicadores de condición de deterioro, rugosidad del estado, capacidad estructural y resistencia al deslizamiento del pavimento, es mucho más fiable y eficiente para el tratamiento adecuado, que permite restaurar completamente la calidad de la vía y la integridad estructural (Shah et al., 2013).

Por otro lado, Ali et al. (2023) evalúa la predicción de los valores de PCI en la ciudad de St. John's de Canadá, utilizando modelos de regresión lineal múltiple (MLR) redes neuronales artificiales (ANN) y la inferencia lógica difusa (FIS) considerando ocho fallas en el pavimento flexibles como surcos, agrietamiento por fatiga, agrietamiento de bloques, agrietamiento longitudinal, agrietamiento transversal, parches, baches y delaminación. Los principales hallazgos a los arribó muestran que los valores de R^2 de los modelos ANN aumentaron en 51,32% y 2,02%, en comparación con MLR y FIS para el año 2018, y en 36,55% y 3,02% para 2021, además el error en los valores de PCI bajo el modelo ANN fue significativamente inferior a los errores en la predicción de los modelos FIS y MLR. Por lo tanto, el modelo ANN funcionó mejor que los modelos MLR y FIS.

Para Ecuador, Baque (2020) en su estudio de investigación, analiza el estado de conservación del pavimento flexible mediante el método del PCI, en la carretera puerto-aeropuerto, ubicada en la provincia de Manabí. Concluye, que en el tramo evaluado, el índice de condición actual del pavimento dio un valor de 49%, lo que significa que la vía tiene una condición de conservación regular; además, aplicando la metodología de PCI, determinaron la presencia de 12 tipos

de fallas en el pavimento, de un total de 26 unidades muestrales, siendo la falla de mayor presencia el “desprendimiento de agregados” con valores mayores a 300 m², lo que permite incidir, que la vía necesita de un mantenimiento rutinario a nivel de la carpeta asfáltica; de manera similar para la Av. Loja en la ciudad de Cuenca, provincia del Azua, mediante PCI, el 45 y 35% de las secciones presentan una condición excelente y buena respectivamente; mientras que el 11 y 9% restante tiene una condición aceptable y mala; siendo las principales fallas, el agrietamiento lineal, parcheo largo y despedazamiento, afectan al estado funcional de la carretera (Chávez y Peñarreta, 2019).

Para la reparación de las fallas superficiales que presentan los pavimentos flexibles, se ha implementado el sistema conocido como “inyección neumática de mezclas asfálticas en frío” que permite solucionar los problemas que presenta actualmente la mayoría de las vías, Amado (2015) analiza las características específicas de las reparaciones efectuadas a pavimentos flexibles con el sistema Velocity Patching, teniendo en cuenta el modo de colocación de la mezcla y las propiedades físicas de la misma. Concluye que la mezcla asfáltica “Green Patcher” utilizada para reparaciones en pavimentos de parcheo cuenta con propiedades de una mezcla asfáltica abierta en frío, donde el material muestreado es bastante limpio, además el porcentaje promedio que pasa el tamiz # 200 durante el periodo analizado fue del 1.1%, proporción que ha sido confirmado en la granulometría efectuada en el laboratorio Contecon Urbar del estudio.

Por otro lado, para el país de Chile, Ruz (2006) muestra el procedimiento de aplicación de pavimentos delgados de hormigón sobre asfalto, que hace compatible al diseño del Método AASHTO, primero, una buena adherencia entre la capa de hormigón y la capa de asfalto existente es esencial para la aplicación exitosa del Whitetopping, además de todas las alternativas evaluadas en la preparación de la superficie asfáltica existente, la de mejores resultados fue la de fresar y limpiar profundamente antes de depositar el hormigón; segundo, para el espesor de la capa de asfalto se recomienda un espesor mínimo de 75 mm; tercero, el espaciamiento entre las juntas, se estima como máxima separación de 1,80 m para los pavimentos delgados, y en el caso de ultradelgados, las separaciones son menores, llegando incluso a los 60 cm.

En relación a la evaluación del impacto ambiental en los proyectos, Conesa (2010) desarrolla la guía metodológica para identificar y evaluar los impactos ambientales ocasionados por las actividades del proyecto, con la finalidad de diseñar las posibles medidas correctoras; por su parte, Morgan (2012) analiza el progreso por el cual la evaluación de impacto ambiental ha ido atravesando por los últimos 40 años, con el objetivo de explicar si este proceso se encuentra preparado para enfrentar futuros desafíos, además, analiza los actuales conflictos que surgen durante la elaboración de la EIA en tres aspectos principales: teoría, limitaciones y efectividad. Por su parte, Arce (2013) en su libro de Evaluación Ambiental en la Ingeniería Civil, muestra la teoría y la práctica de la Evaluación de Impacto Ambiental centrándose en las aplicaciones de proyectos de obras de la Ingeniería Civil como son las carreteras, autopistas y autovías; además, se realiza una descripción de las fases de la EIA y una revisión de los métodos más utilizados actualmente. Finalmente, señala la importancia de las medidas de preventivas y correctivas para los impactos generados en proyectos viales.

A nivel internacional existen estudios que respaldan la aplicación de la metodología Pavement Condition Index (PCI) para evaluar el estado de pavimentos, Pinatt et al. (2020) analiza las evaluaciones objetivas y subjetivas del PCI, para una adecuada gestión de pavimentos urbanos en la ciudad de Maringá en Brasil, utilizando el Sistema de Información Geográfica (SIG) y el software ArcGIS 10.2, obtuvieron una correlación de Pearson de 0,95, un valor cercano a 1, lo que representa una fuerte correlación entre los datos, que permite concluir que PCI es una herramienta útil, rápida y simplificada para evaluar los pavimentos y obtener buenos resultados. De manera similar, Díaz (2014) sostiene que la metodología PCI tiende a ser una herramienta más rigurosa para la evaluación de pavimentos flexibles, obteniendo información en in situ y siguiendo el procedimiento metodológico y normativo ASTM D6433.

Por su parte, para Estados Unidos de Norte América, Arhin et al. (2015) evalúan el estado de los pavimentos en el distrito de Columbia, mediante PCI para dos periodos 2009 y 2012. Los resultados por tipos de pavimentos, muestran que los pavimentos compuestos o combinados (asfalto y concreto) fueron con menos irregularidades frente al asfalto y concreto puro, con un valor promedio de PCI de

57.8% en el 2009 y de 57.2 en 2012; mientras en los pavimentos de asfalto y concreto, el valor promedio de PCI disminuye de 55% a 52% y de 55% a 50%, para los 2009 y 2012 respectivamente. Además, el uso combinado de los indicadores de condición de deterioro, rugosidad del estado, capacidad estructural y resistencia al deslizamiento del pavimento, es mucho más fiable y eficiente para el tratamiento adecuado, que permite restaurar completamente la calidad de la vía y la integridad estructural (Shah et al., 2013).

Por otro lado, Ali et al. (2023) evalúa la predicción de los valores de PCI en la ciudad de St. John's de Canadá, utilizando modelos de regresión lineal múltiple (MLR) redes neuronales artificiales (ANN) y la inferencia lógica difusa (FIS) considerando ocho fallas en el pavimento flexibles como surcos, agrietamiento por fatiga, agrietamiento de bloques, agrietamiento longitudinal, agrietamiento transversal, parches, baches y delaminación. Los principales hallazgos a los arribó muestran que los valores de R^2 de los modelos ANN aumentaron en 51,32% y 2,02%, en comparación con MLR y FIS para el año 2018, y en 36,55% y 3,02% para 2021, además el error en los valores de PCI bajo el modelo ANN fue significativamente inferior a los errores en la predicción de los modelos FIS y MLR. Por lo tanto, el modelo ANN funcionó mejor que los modelos MLR y FIS.

Para Ecuador, Baque (2020) en su estudio de investigación, analiza el estado de conservación del pavimento flexible mediante el método del PCI, en la carretera puerto-aeropuerto, ubicada en la provincia de Manabí. Concluye, que en el tramo evaluado, el índice de condición actual del pavimento dio un valor de 49%, lo que significa que la vía tiene una condición de conservación regular; además, aplicando la metodología de PCI, determinaron la presencia de 12 tipos de fallas en el pavimento, de un total de 26 unidades muestrales, siendo la falla de mayor presencia el “desprendimiento de agregados” con valores mayores a 300 m², lo que permite incidir, que la vía necesita de un mantenimiento rutinario a nivel de la carpeta asfáltica; de manera similar para la Av. Loja en la ciudad de Cuenca, provincia del Azua, mediante PCI, el 45 y 35% de las secciones presentan una condición excelente y buena respectivamente; mientras que el 11 y 9% restante tiene una condición aceptable y mala; siendo las principales fallas, el

agrietamiento lineal, parcheo largo y despedazamiento, afectan al estado funcional de la carretera (Chávez y Peñarreta, 2019).

Para la reparación de las fallas superficiales que presentan los pavimentos flexibles, se ha implementado el sistema conocido como “inyección neumática de mezclas asfálticas en frío” que permite solucionar los problemas que presenta actualmente la mayoría de las vías, Amado (2015) analiza las características específicas de las reparaciones efectuadas a pavimentos flexibles con el sistema Velocity Patching, teniendo en cuenta el modo de colocación de la mezcla y las propiedades físicas de la misma. Concluye que la mezcla asfáltica “Green Patcher” utilizada para reparaciones en pavimentos de parcheo cuenta con propiedades de una mezcla asfáltica abierta en frío, donde el material muestreado es bastante limpio, además el porcentaje promedio que pasa el tamiz #200 durante el periodo analizado fue del 1.1%, proporción que ha sido confirmado en la granulometría efectuada en el laboratorio Contecon Urbar del estudio.

Por otro lado, para el país de Chile, Ruz (2006) muestra el procedimiento de aplicación de pavimentos delgados de hormigón sobre asfalto, que hace compatible al diseño del Método AASHTO, primero, una buena adherencia entre la capa de hormigón y la capa de asfalto existente es esencial para la aplicación exitosa del Whitetopping, además de todas las alternativas evaluadas en la preparación de la superficie asfáltica existente, la de mejores resultados fue la de fresar y limpiar profundamente antes de depositar el hormigón; segundo, para el espesor de la capa de asfalto se recomienda un espesor mínimo de 75 mm; tercero, el espaciamiento entre las juntas, se estima como máxima separación de 1,80 m para los pavimentos delgados, y en el caso de ultradelgados, las separaciones son menores, llegando incluso a los 60 cm.

En relación a la evaluación del impacto ambiental en los proyectos, Conesa (2010) desarrolla la guía metodología para identificar y evaluar los impactos ambientales ocasionados por las actividades del proyecto, con la finalidad de diseñar las posibles medidas correctoras; por su parte, Morgan (2012) analiza el progreso por el cual la evaluación de impacto ambiental ha ido atravesando por los últimos 40 años, con el objetivo de explicar si este proceso se encuentra preparado para enfrentar futuros desafíos, además, analiza los actuales

conflictos que surgen durante la elaboración de la EIA en tres aspectos principales: teoría, limitaciones y efectividad. Por su parte, Arce (2013) en su libro de Evaluación Ambiental en la Ingeniería Civil, muestra la teoría y la práctica de la Evaluación de Impacto Ambiental centrándose en las aplicaciones de proyectos de obras de la Ingeniería Civil como son las carreteras, autopistas y autovías; además, se realiza una descripción de las fases de la EIA y una revisión de los métodos más utilizados actualmente. Finalmente, señala la importancia de las medidas de preventivas y correctivas para los impactos generados en proyectos viales.

1.2.2 Nacionales

En el Perú, también existen estudios sobre la evaluación de las fallas en pavimento flexible aplicando la metodología PCI, es el caso de Cuba (2017) para un tramo de la Av. República de Polonia, localizada en el distrito de San Juan de Lurigancho, Lima, logra identificar 7 tipos de fallas agrupadas en 3 niveles de severidad como alta, media y baja; encontrando en la sección 1 del tramo un valor de PCI de 26%, clasificada en una condición de conservación como “Malo”; mientras la sección 2 del tramo el PCI fue de 61%, que representa como “Bueno”. De manera similar, Avalos y Haro (2019) para la Av. José Quiñones, distrito de Chiclayo, Lambayeque, obtienen valor de PCI de 50.06 y 49.27, para el carril izquierdo y carril derecho respectivamente; calificándola ambos carriles en un estado “regular”, por lo que recomienda, realizar actividades de limpieza y parchado de las grietas, uso del riego pulverizado y la aplicación de asfalto para el tratamiento de la carretera.

Una vez identificado las fallas en el estado del pavimento, se debe determinar el tipo de intervención a realizar, ya sea mantenimiento o rehabilitación, Núñez (2018) frente a un pavimento de una vía en Cajamarca, con resultado “Malo”, plantea dos alternativas de presupuestos, uno para la rehabilitación y otro para la reconstrucción del pavimento, optando por la reconstrucción debido a que más del 60% de la avenida se encuentra en estado “malo”, los presupuestos indican una mayor inversión para la reconstrucción de la vía (pavimento rígido) en la etapa inicial, pero con proyección a futuro resulta más beneficioso por lo que no necesitaría de mucho mantenimiento, como lo es

para el pavimento asfáltico, además sugiere un espesor de pavimento de 5 pulgadas, concordante con Vega (2018) para Yurimaguas en Loreto, quien concluye que el espesor mínimo requerido de carpeta asfáltica por la metodología AASHTO y el Instituto de Asfalto son de 4 y de 5 pulgadas respectivamente.

Por su parte, Chuman (2017) evalúa la reutilización del pavimento flexible envejecido para reparar pavimentos en la ciudad de Huancayo - Perú, por lo que recomienda la utilización de material reciclable para el uso en mantenimiento de las vías, nuevas construcciones de pavimentos flexibles mediante la producción de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente, con el objetivo de reducir los costos, la contaminación ambiental y la depredación de las zonas de extracción de materiales, los cuales conducen a una solución adecuada de las vías.

En relación a la evaluación de impacto ambiental, Cusi (2012) para la carretera Pumamarca - Abra San Martín del distrito de San Sebastián, Cusco, indica que los factores ambientales más impactados serán el suelo y la calidad del paisaje; para el caso del suelo, durante la construcción del proyecto se producirán niveles altos de movimiento de tierras y compactación de suelos, sin embargo, se menciona que estos impactos son de carácter temporal y fácil de prevenir y mitigar con medidas adecuadas; en cuanto a la calidad del paisaje, también se verán afectadas con impacto negativo con la generación de residuos sólidos durante la ejecución el proyecto.

Por otro lado, con la ejecución del proyecto también se generarán los impactos positivos, principalmente sobre los factores sociales como la ampliación de la cobertura de los servicios básicos, considerada como impacto directo, que conlleva al uso más eficiente del recurso hídrico y mejor del nivel de salud de los usuarios (impacto indirecto) además señala que, con la intervención de proyecto se generarán también los puestos de trabajo para la población local, fundamentalmente durante la etapa de ejecución o construcción.

Por su parte, Vallejos (2016) para proyecto vial "carretera Satipo - Mazamari - desvío Pangoa - Puerto Ocopa", indica que en la etapa de construcción el factor ambiental más afectado es el suelo; mientras que en la etapa de operación el factor económico es el mayor beneficiado por la generación de puesto de trabajo; siendo el impacto negativo mayor en el tramo comprendido entre las

progresivas 14+700 – 47+400, por una mayor explotación de canteras y de las instalaciones auxiliares ubicadas en este sector. Frente a los impactos negativos, se plantean las medidas correctoras como segregación de los residuos sólidos en la fuente y entre otros, dichas medidas se detallan en el programa de manejo de residuos sólidos y en el programa de los servicios de salud local.

1.2.3 Locales

En el Perú, también existen estudios sobre la evaluación de las fallas en pavimento flexible aplicando la metodología PCI, es el caso de Cuba (2017) para un tramo de la Av. República de Polonia, localizada en el distrito de San Juan de Lurigancho, Lima, logra identificar 7 tipos de fallas agrupadas en 3 niveles de severidad como alta, media y baja; encontrando en la sección 1 del tramo un valor de PCI de 26%, clasificada en una condición de conservación como “Malo”; mientras la sección 2 del tramo el PCI fue de 61%, que representa como “Bueno”. De manera similar, Avalos y Haro (2019) para la Av. José Quiñones, distrito de Chiclayo, Lambayeque, obtienen valor de PCI de 50.06 y 49.27, para el carril izquierdo y carril derecho respectivamente; calificándola ambos carriles en un estado “regular”, por lo que recomienda, realizar actividades de limpieza y parchado de las grietas, uso del riego pulverizado y la aplicación de asfalto para el tratamiento de la carretera.

Una vez identificado las fallas en el estado del pavimento, se debe determinar el tipo de intervención a realizar, ya sea mantenimiento o rehabilitación, Núñez (2018) frente a un pavimento de una vía en Cajamarca, con resultado “Malo”, plantea dos alternativas de presupuestos, uno para la rehabilitación y otro para la reconstrucción del pavimento, optando por la reconstrucción debido a que más del 60% de la avenida se encuentra en estado “malo”, los presupuestos indican una mayor inversión para la reconstrucción de la vía (pavimento rígido) en la etapa inicial, pero con proyección a futuro resulta más beneficioso por lo que no necesitaría de mucho mantenimiento, como lo es para el pavimento asfáltico, además sugiere un espesor de pavimento de 5 pulgadas, concordante con Vega (2018) para Yurimaguas en Loreto, quien concluye que el espesor mínimo requerido de carpeta asfáltica por la metodología AASHTO y el Instituto de Asfalto son de 4 y de 5 pulgadas respectivamente.

Por su parte, Chuman (2017) evalúa la reutilización del pavimento flexible envejecido para reparar pavimentos en la ciudad de Huancayo - Perú, por lo que recomienda la utilización de material reciclable para el uso en mantenimiento de las vías, nuevas construcciones de pavimentos flexibles mediante la producción de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente, con el objetivo de reducir los costos, la contaminación ambiental y la depredación de las zonas de extracción de materiales, los cuales conducen a una solución adecuada de las vías.

En relación a la evaluación de impacto ambiental, Cusi (2012) para la carretera Pumamarca - Abra San Martín del distrito de San Sebastián, Cusco, indica que los factores ambientales más impactados serán el suelo y la calidad del paisaje; para el caso del suelo, durante la construcción del proyecto se producirán niveles altos de movimiento de tierras y compactación de suelos, sin embargo, se menciona que estos impactos son de carácter temporal y fácil de prevenir y mitigar con medidas adecuadas; en cuanto a la calidad del paisaje, también se verán afectadas con impacto negativo con la generación de residuos sólidos durante la ejecución el proyecto.

Por otro lado, con la ejecución del proyecto también se generarán los impactos positivos, principalmente sobre los factores sociales como la ampliación de la cobertura de los servicios básicos, considerada como impacto directo, que conlleva al uso más eficiente del recurso hídrico y mejor del nivel de salud de los usuarios (impacto indirecto) además señala que, con la intervención de proyecto se generarán también los puestos de trabajo para la población local, fundamentalmente durante la etapa de ejecución o construcción.

Por su parte, Vallejos (2016) para proyecto vial "carretera Satipo - Mazamari - desvío Pangoa - Puerto Ocopa", indica que en la etapa de construcción el factor ambiental más afectado es el suelo; mientras que en la etapa de operación el factor económico es el mayor beneficiado por la generación de puesto de trabajo; siendo el impacto negativo mayor en el tramo comprendido entre las progresivas 14+700 – 47+400, por una mayor explotación de canteras y de las instalaciones auxiliares ubicadas en este sector. Frente a los impactos negativos, se plantean las medidas correctoras como segregación de los residuos sólidos en

la fuente y entre otros, dichas medidas se detallan en el programa de manejo de residuos sólidos y en el programa de los servicios de salud local.

En la macrorregión sur del Perú, también existen antecedentes sobre la evaluación de pavimentos, Ticona (2022) para un tramo de la avenida internacional, en Tacna, determino la calificación funcional del pavimento como MUY MALA, considerando las unidades de muestreo en el tramo de la subida valor PCI igual a 20.08%, y en el tramo de bajada un valor PCI de 16.19%, por lo que la condición de servicio no es óptima, además del tipo de falla encontrada, se registra un desprendimiento de agregados generalizado, lo cual se evidencia en una alta rugosidad que afecta a su condición de servicio. De manera similar, para la rehabilitación del pavimento en la playa Laguna Temporal de la ciudad de Juliaca Arcayo (2022) obtiene un valor de PCI promedio de 30.80, clasificándolo de estado MALO, por lo que recomienda la elaboración y ejecución de un plan de reparación mediante el recapeo asfáltico del pavimento.

En relación a la evaluación del diseño de las mezclas asfálticas, Chura (2022) para asfaltado de la vía Juliaca – Lampa, los resultados mediante la técnica de la deflectometría para la reparación y mantenimiento indican que la evaluación de la calidad de mezcla asfáltica efectuada en cinco puntos de la carretera, muestran que las granulométricas de los áridos son las adecuadas, sin embargo, las cuatro mezclas de parte superior oscura evaluadas en el porcentaje de promedio es del 3.34 %, el calculado por el método del Instituto de Asfáltico de 7.308 %, comparación que permite concluir que la cantidad de asfalto empleada en la mezcla asfáltica es deficiente.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema

En el Perú, al igual que a nivel internacional, la infraestructura vial nacional, regional y local se constituyen en un factor importante para el desarrollo económico y social, que permite la comunicación, transitabilidad vehicular y peatonal, además la interrelación entre los pueblos, servicio de transporte de bienes y servicios, así como para la promoción e incremento de la actividad turística. Asimismo, el sector transporte y comunicaciones establece como política nacional la conservación de la infraestructura vial de carreteras, y de manera específica busca ampliar las actividades de mantenimiento y conservación de la red de carreteras mejorando el servicio de transporte de carga y pasajeros, así como garantizar la seguridad a la población; sin embargo, en muchos casos la infraestructura vial se encuentra deteriorada afectando el adecuado tránsito de vehículos y peatones.

Por su parte, en el departamento de Puno, los pavimentos de la red vial nacional, departamental y local, por lo general, tienen corta durabilidad, sus causas son diversas tales como: deficiente diseño del pavimento flexible, fallas en el proceso de la construcción, aumento de tránsito vehicular en volúmenes mayor al promedio previsto, limitada e irregular en las actividades de mantenimiento en el pavimento, e inadecuado sistema de drenaje. Los cuáles, conllevan a que los pavimentos estén deteriorados y se presenten varios tipos de fallas, que afectan el estado de conservación de las carreteras, dañando los vehiculares, y con ello aumentando los costos de reparación, así como el deterioro de los elementos ambientales en aspectos físico-químicos, bióticos y socioeconómicos, con ello conduce a empeorar el nivel de vida de la población afectada.

Asimismo, según la Oficina de Inversiones del MTC (2023) en Puno el 21.3% de las vías que pertenecen a la red nacional se encuentran en condiciones inadecuadas, y el porcentaje de la red vial departamental y vecinal en estado inadecuado alcanzan a 8.8% y 40% respectivamente. Por esta razón, es fundamental el desarrollo de las actividades de mantenimiento rutinario, preventivo, y la rehabilitación periódica, según sea el estado de las carreteras; para poder elegir el nivel de mantenimiento y/o la rehabilitación adecuada

a ser aplicada, es necesario el análisis del estado actual y real de los pavimentos y las causas que lo producen.

Por lo tanto, el presente trabajo está orientado a evaluar las fallas del pavimento flexible aplicando la metodología de Pavement Condition Index (PCI) considerando el Tramo del Óvalo Zona Sur Juliaca a Caracoto, que permite evaluar el estado situacional del pavimento en relación al funcionamiento y serviciabilidad para los usuarios, luego de la evaluación de la vía mediante el PCI, podremos efectuar un diseño para el mejoramiento de la carpeta asfáltica en caliente. Además, frente al deterioro de los elementos ambientales sean, en aspectos físico, biológico y socioeconómico, se identificarán y se evaluarán los impactos ambientales negativos y positivos para la etapa de ejecución de las actividades de mantenimiento, con la finalidad de proponer un plan de manejo ambiental que permita mitigar los daños ambientales y/o de conservación.

A continuación, se formula las siguientes interrogantes para alcanzar la solución a dicho problema latente en la sección en estudio, Tramo del Óvalo Zona Sur Juliaca a Caracoto, parte de la vía asfaltada Juliaca – Puno.

2.2 Enunciados del problema

2.2.1 Problema general

- ¿Cuáles serán las fallas en pavimento flexible aplicando la metodología Pavement Condition Index en el Tramo del Óvalo Zona Sur Juliaca a Caracoto? y ¿Cuáles son los impactos negativos y positivos durante la etapa de ejecución y operación del proyecto?

2.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuáles son los tipos de fallas y el nivel del índice de condición de pavimento flexible aplicando la metodología PCI que afectan el estado de conservación, en el Tramo del Óvalo Zona Sur Juliaca a Caracoto?
- ¿Cuál es el nivel de mejoramiento del pavimento flexible mediante la carpeta asfáltica en caliente, en el Tramo del Óvalo Zona Sur Juliaca a Caracoto?
- ¿Cuáles son los impactos negativos y positivos durante la etapa de ejecución y operación del proyecto?

2.3 Justificación

La evaluación y análisis de los distintos tipos de fallas en el pavimento flexible del Tramo del Óvalo Zona Sur Juliaca a Caracoto de la ciudad de Juliaca, mediante el método de Pavement Condition Index, es de suma importancia para el estudio de la ingeniería especializada en carreteras y en transporte, porque permite determinar el estado de conservación actual y el tipo de intervención que se debe realizar para la reparación de la vía, sea esta, a través de mantenimiento y/o rehabilitación, es decir, permite plantear un diseño que refuerce el pavimento con una sobrecapa de concreto hidráulico mediante el uso de la mezcla asfáltica en caliente, que es una técnica que está dando buenos resultados en el país y en el extranjero; para lo cual, es inevitable establecer un método de reparación eficiente para el aludido tramo de la carretera, con el fin de garantizar un adecuado servicio de transporte de carga y pasajeros.

El adecuado estado de transitabilidad de una carretera, contribuye al desarrollo de las actividades económicas como el sector comercio, turismo, transporte, educación, salud, entre otras actividades; entonces, una propuesta de mejoramiento del pavimento flexible con el refuerzo de sobre capa de concreto hidráulico, en el Tramo del Óvalo Zona Sur Juliaca a Caracoto será urgente a fin de controlar mayor deterioro, ya que los afectados directos vienen a ser los transportistas, debido a la existencia de las fallas de alta severidad en la superficie del pavimento flexible, que afecta el estado de la vía; de esta manera, generando los daños de los vehículos que transitan por ella y los costos de reparación de las unidades para tenerlos en buen estado, que permita prestar un adecuado servicio de transporte.

Por otro lado, la evaluación de impacto ambiental (EIA) de la propuesta de mejoramiento del pavimento flexible, en el Tramo del Óvalo Zona Sur Juliaca a Caracoto, permite cuantificar impactos positivos y negativos en las zonas afectadas sobre el medio ambiente, tanto en la etapa de ejecución, como en operación, principalmente los impactos negativos requieren de medidas correctivas para disminuir y/o mitigar dichos impactos. Además, la identificación y evaluación de los impactos en aspectos físico, biológico y socioeconómicos es fundamental, para caracterizar el tiempo y el espacio de cada efecto generado, que permite tomar una decisión adecuada de la intervención o no del proyecto, siempre con el objeto de garantizar la sostenibilidad ambiental y mejora del nivel de vida de la población.

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo general

- Analizar las fallas en pavimento flexible aplicando la metodología Pavement Condition Index en el Tramo del Óvalo Zona Sur Juliaca a Caracoto y Evaluar los impactos negativos y positivos durante la etapa de ejecución del proyecto.

2.4.2 Objetivos específicos

- Determinar los tipos de fallas y el nivel del índice de condición del pavimento flexible aplicando la metodología Pavement Condition Index del Tramo desde el Óvalo Zona Sur Juliaca hasta Caracoto.
- Determinar el nivel de mejoramiento del pavimento flexible mediante la mezcla asfáltica en caliente, en el Tramo del Óvalo Zona Sur Juliaca a Caracoto.
- Analizar los impactos negativos y positivos durante la etapa de ejecución de las actividades del proyecto de mantenimiento.

2.5 Hipótesis

2.5.1 Hipótesis general

- Con la aplicación de la metodología Pavement Condition Index en el pavimento flexible del Tramo desde el Óvalo Zona Sur Juliaca hasta Caracoto de la vía Juliaca-Puno, se obtuvo un estado de conservación de regular a deficiente para la circulación de vehículos, y los impactos negativos son mayores a los positivos en la etapa de ejecución del proyecto.

2.5.2 Hipótesis específicas

- La presencia de distintos tipos de fallas en el pavimento flexible del Tramo desde el Óvalo Zona Sur Juliaca hasta Caracoto, conducen al bajo nivel del índice de PCI, presentando deficiencias severas de grado alto.
- Aplicación de la mezcla asfáltica en caliente, mejora al nivel óptimo en el pavimento flexible del Tramo desde el Óvalo Zona Sur Juliaca hasta Caracoto.



- En la etapa de ejecución de las actividades de mantenimiento del proyecto en el Tramo del Óvalo Zona Sur Juliaca a Caracoto, los impactos negativos son mayores a los positivos.

CAPÍTULO III

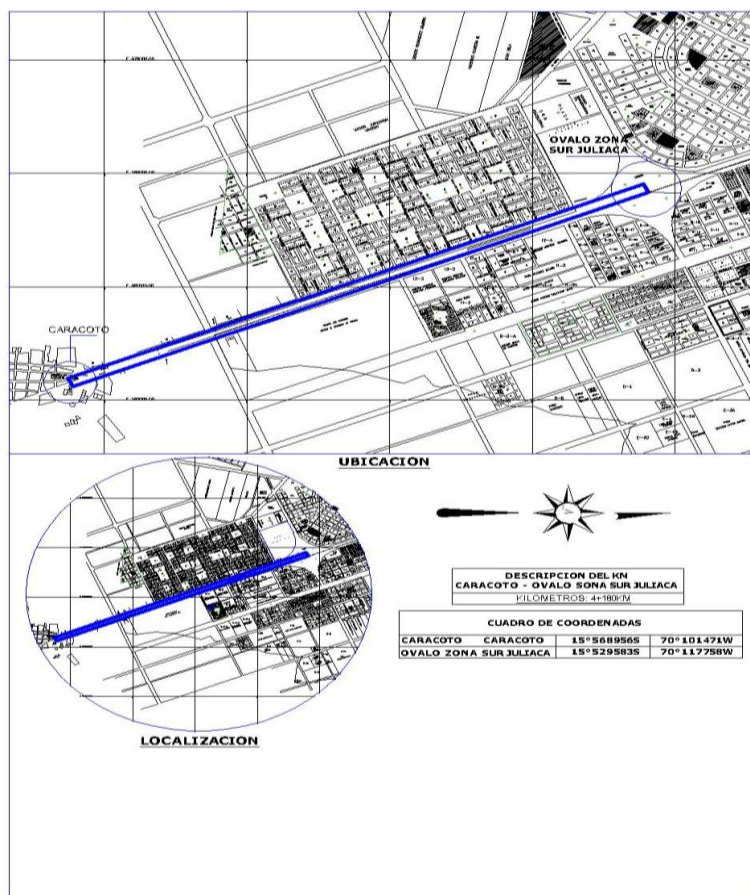
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudio

La ciudad de Juliaca comprende los distritos de Juliaca, San Miguel y Caracoto, y tiene un área urbana de 135 km², caracterizada por la actividad económica comercial más importante y con mayor población de la región Puno, además de tener conectividad vial por el Sur con el país de Bolivia y por Noreste con Brasil. En ese sentido, la ciudad de Juliaca, según el Plan Maestro de Transporte Urbano (PMTU) muestra un alto tránsito vehicular, por la gran diversidad de tipo de transporte que cuenta, desde vehículos menores hasta vehículos pesados, esto por la gran demanda de la población y consecuente actividad comercial, que conllevan a deteriorar la infraestructura vial.

Figura 2

Ubicación del lugar de investigación



Nota. Según web google.

3.2 Población

La población está representada por la infraestructura vial nacional, departamental y local con carpeta asfáltica en la ciudad de Juliaca.

3.3 Muestra

La muestra del estudio está representada por la carpeta asfáltica de la vía asfaltada Juliaca – Puno, Tramo desde el Óvalo Zona Sur Juliaca hasta Caracoto, con una longitud de 4.180 km, ancho de 7.20 ml. de calzada.

Además, para el levantamiento de datos de información en campo se ha determinado las unidades de muestro, que permitirá la aplicación de la metodología de PCI para la evaluación superficial del estado actual del pavimento de la vía, para lo cual, se tiene las siguientes especificaciones y procedimiento:

3.3.1 Segmentación de las unidades de muestreo

- Longitud total de la vía : 4180.00 ml.
- Ancho promedio : 10.60 ml.
- Ancho promedio total : 10.60 ml.
- Longitud de la muestra : 30.00 ml.
- Área sugerida por el PCI : $230 \pm 93 \text{ m}^2$.
- Área de la muestra : 318 m^2 .

3.3.2 Determinación del número de unidades de muestreo

$$N = \frac{\textit{Longitud de la via}}{\textit{Longitud de la muestra}}$$

$$N = \frac{4180.00 \text{ ml}}{30.00 \text{ ml}}$$

$$N = 139.33 = 139$$

3.3.3 Unidades de muestra para ser evaluadas:

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

Donde:

N: Unidades de muestra a evaluar.

e: Error admisible recomendado por el PCI 5%.

σ : Desviación estándar del PCI recomendado 10 para pavimentos asfálticos.

N: Número de unidades de muestra.

Reemplazando datos en la siguiente fórmula tenemos, las unidades de muestra a evaluar:

$$n = \frac{N(\sigma)^2}{\frac{e^2}{4} (N - 1) + \sigma^2}$$
$$n = \frac{13,933.33 \text{ ml}}{964.58 \text{ ml}} = 14 \text{ ml}$$

3.3.4 Selección de las unidades de muestreo para inspección

Para la determinación de unidades de muestra para la inspección, se usa la relación siguiente: $i = \frac{N}{n}$

Donde:

i : Unidades de muestreo para inspección.

N : Número de unidades de muestra.

n : Unidades a ser evaluadas.

Reemplazando datos en la fórmula tenemos, la cantidad de las unidades de muestreo para su respectiva inspección:

$$i = \frac{N}{n} = \frac{85}{14}$$
$$i = 6.07 = 6$$

Por otro lado, para el mejoramiento de la carpeta asfáltica en caliente en el Tramo del Óvalo Zona Sur Juliaca a Caracoto, se necesita realizar ensayos de

granulometría de la muestra asfáltica en las calicatas de estudio para así encontrar el índice asfáltico óptimo, y con ello se plantea una propuesta de reparación de la superficie del pavimento con mezcla asfáltica en caliente.

3.4 Método de investigación

La presente investigación es cualitativa aplicada, porque busca la aplicación de los conocimientos alcanzados con el diseño de campo; primeramente, recoge y obtiene los datos cuantificables en cantidad y tamaño sobre las fallas en el pavimento de la vía, luego las clasifica en forma cualitativa el estado de conservación del pavimento, para posterior diseño experimental de mezcla asfáltica en caliente, por tanto, es de nivel descriptivo y exploratorio, descriptivo porque observa y describe los hechos y fenómenos con la finalidad de ampliar el conocimiento de manera sistemática; exploratorio observa los hechos que debe ser analizados, dando énfasis en la identificación y valoración de impactos ambientales de la intervención del proyecto.

3.5 Descripción detallada de métodos

3.5.1 Determinación del índice de condición de pavimentos (PCI)

La metodología del PCI, se constituye como el método más adecuado, para evaluar y calificar el estado de conservación actual de un pavimento flexible o rígido, que se realiza a través de una inspección detallada y evaluación en situ. Este método permite analizar los distintos de tipos de fallas presentes en la superficie de la vía, estableciendo el tipo, severidad y cantidad de cada daño identificada, con el fin de analizar y establecer el estado funcional del pavimento. La norma técnica ASTM D6433 establece un total de 19 tipos de fallas en pavimentos flexibles (ver Tabla 1 del marco teórico).

La determinación del valor de PCI es por unidad de muestreo, siendo el máximo valor deducido corregido (VDC) que permite su cálculo mediante la formula posterior. El valor deducido se estima para cada tipo de falla medida en área, longitud y el nivel de severidad.

$$PCI = 100 - \max.VDC$$

Donde.

Max. VDC : Máximo valor deducido corregido

PCI : Índice de condición del pavimento (%)

A. Calificación del estado situacional del pavimento

Para la categorización del estado de conservación del pavimento, es mediante el valor promedio de PCI de todas las unidades muestrales, tal como se establece en la normatividad ASTM D6433 para las carreteras asfaltadas, el rango numérico del PCI varía desde 0 hasta 100, indicando el estado de pavimentos desde malo hasta en estado excelente respectivamente, tal como se ha descrito en la tabla 2, presentado en la sección anterior.

Además, para la evaluación de la condición del pavimento, se ha definido las longitudes de unidades de muestreo asfálticas, considerando el ancho del pavimento de la calzada, el área de la unidad de muestreo determinado es igual a 318 m^2 , ubicándose dentro del rango $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$, recomendado por la normatividad de ASTM D6433-18, el cual se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 3

Longitudes de unidades de muestreo asfáltico

Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (ml)
5.00	46.00
5.50	41.80
6.00	38.30
6.50	35.40
7.30 (máximo)	30.00

Nota. Norma ASTM D6433-18.

B. Tipo de intervención del pavimento según el PCI

Para determinar y definir el tipo de intervención, es a través de la clasificación del estado funcional de pavimento y el valor del PCI promedio para la calzada, tal como se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 4*Intervención de acuerdo al PCI*

Valor	Estado del pavimento	Intervención
0 - 30	Malo	Reconstrucción
31 - 70	Regular	Rehabilitación
71 - 100	Bueno	Mantenimiento

Nota. Shahin, M. (2005).

Por último, los datos recabados en el trabajo de campo se procesaron utilizando el programa EXCEL y SPSS, usando el formato de registro de datos que permite la estimación del índice de condición del pavimento “PCI”, donde se detallan los datos para cada unidad del muestreo, los tipos de fallas, cálculo del grado de severidad de diversas fallas, valor deducido, valor deducido corregido y el valor de PCI, dichos resultados nos permiten identificar y calificar el estadio funcional del pavimento flexible en la vía de Puno – Juliaca, tramo que comprende desde el tramo del Óvalo Zona Sur Juliaca a Caracoto de la ciudad de Juliaca.

3.5.2 Método para diseño de pavimento

Después de haberse definido el tipo de intervención sea mantenimiento o rehabilitación, se realizará el diseño de mezclas asfálticas modificadas en caliente, depende del estudio de tráfico vehicular, principalmente por la circulación de vehículos pesados por tener mayor exigencia. A partir de ello, aplicando la norma ASTM D 1559, se determinan los parámetros Marshall para cada contenido de asfalto, considerando el promedio de los resultados de tres probetas clasificadas, producto de un proceso de preparación con energía de compactación de un promedio de 75 golpes por cada cara de molde.

A. Estudio de tráfico

El MTC en su manual referido a suelos y pavimentos sostiene que el objetivo del estudio de tráfico vehicular es proveer información relacionada al índice medio diario anual (IMDa) que permite determinar la demanda volumétrica y la clasificación según el tipo de vehículos. El levantamiento de información sobre el estudio de tráfico vehicular, es a

través de conteo vehicular durante 7 días, usando el formato del tráfico vehicular estandarizado y establecido en normas técnicas del MTC, el cual se aprecia en el anexo 5.

Por otro lado, el estudio de tráfico permite determinar 07 indicadores necesarios para el diseño de asfalto para el pavimento, los cuales son: el volumen de tránsito de un carril y en periodo de tiempo específico; el índice medio diario (IMD) anual, semanal o mensual; pesos y medidas máximos permitidos por tipos de vehículos; periodo de diseño del pavimento para soportar el impacto acumulativo que tiene el tránsito en un periodo determinado; carril de diseño consiste en determinar la cantidad de vehículos que transitan en una o dos sentidos; cálculo de tasa de crecimiento y proyección; y estimación del número de ejes equivalentes (ESAL) muy útil para el diseño del pavimento, el cual se calcula con la siguiente formula:

$$ESAL = \sum_{i=1}^{I-m} FACTOR_{CAMION_I} * IMD_I * Fca * Fd * Fc * 365$$

Donde:

IMDi : Índice medio diario en periodo i

Fd : Factor direccional (1)

Fc : Factor carril (0.5)

Fca : Factor de crecimiento acumulado

El factor de crecimiento acumulado (Fca) se obtiene con la siguiente formula:

$$Fca = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

Donde:

r: Tasa de crecimiento anual (%)

n: Periodo de diseño en años

B. Descripción de las actividades de mantenimiento y/ reparación

Para un adecuado mantenimiento y/o reparación de la infraestructura vial, es fundamental la implementación de las acciones referidas a la limpieza total del pavimento, considerando las calzadas y bermas, zonas donde hay presencia de huecos deben ser rellenadas con material correspondiente, la reparación de los baches y el sellado del asfalto, las acciones de remarcado de las marcas permanentes del pavimento, y finalmente recapado del pavimento con mezcla asfáltica en caliente.

B.1 Limpieza de calzadas y bermas

Esta actividad consiste en un mantenimiento de rutina con la aplicación de herramientas manuales, con el fin eliminar cualquier material expuesto y ajeno en la calzada y en las bermas de la vía. De esta manera, esta acción debe garantizar el normal funcionamiento de la carretera, limpia y despejada para el adecuado servicio de tránsito vehicular.

B.2 Reparaciones del pavimento afectados por fisuras y grietas

Esta actividad consiste en realizar reparación regular de la carretera, que son afectadas por la presencia de grietas y fisuras. Los agujeros con un promedio de 3 milímetros o más de ancho están referidas a grietas, y las rajaduras de promedio de 3 mm a menos referidas a fisuras. Entonces, tanto las grietas como las fisuras en el pavimento deben ser rellenadas con materiales específicos y especiales correspondientes, con el objeto de garantizar la no filtración del agua en el pavimento, que arrastra consigo las piedras, lodos y otros materiales que afectan negativamente.

B.3 Reparación del pavimento en la parte superior

Esta actividad consiste en el parchado de las aberturas en la parte superficial de la carretera deteriorada, con la finalidad de restablecer las

condiciones adecuadas de transitabilidad, garantizando la comodidad y seguridad de la circulación del tránsito de los vehículos.

B.4 Sellos asfálticos

Esta actividad consiste en el revestimiento o sellado de los pavimentos flexibles suelen ser aplicados con un tratamiento básico de la superficie, rejuntamiento del asfalto, y el sellado de arena-asfalto, con el objeto de prevenir presencia de grietas y fisuras en la superficie del pavimento; este método es utilizado para recuperar las condiciones adecuadas de la superficie en carreteras deterioradas, que permitan una circulación vehicular eficaz y el adecuado servicio de transporte de carga y de pasajeros.

B.5 Mantenimiento permanente de las marcas del pavimento

Esta actividad consiste en el mantenimiento regular, a través de las acciones de repintado y restaurado a su estado original de las marcas como líneas y leyendas que se aplican en la superficie del pavimento de la carretera, tales marcas proporcionan información de mucha importancia para regular el tráfico y prevenir los accidentes. Por lo tanto, es necesario su intervención cuando estas se encuentran desgastadas con el tiempo, dichas actividades de mantenimiento regular deben de realizarse de manera constante en las señalizaciones que dan informaciones que permiten garantizar adecuado servicio de transitabilidad vehicular. Asimismo, esta actividad de mantenimiento de las marcas en un buen estado contribuye a la seguridad vial de los usuarios de la carretera.

B.6 Imprimación asfáltica

Esta actividad consiste en la aplicación del “spray asfáltico” sobre la superficie de una base que ha sido anticipadamente preparada, con la finalidad de impermeabilizar, de esa manera prevenir la desintegración de esta capa base, asimismo, se menciona si fuese necesario agregar el material de arena, puede ser adherido en este proceso de imprimación de asfalto.

B.7 Pavimento compuesto por mezcla asfáltica y el hormigón en caliente

Esta actividad consiste en las labores de rehabilitación, referidas a la fabricación de mezclas asfálticas en caliente o a altas temperaturas, que posteriormente se realiza la colocación sobre una superficie preparada con la imprimación de asfalto, para lo cual, el nivel de compactado debe cumplir con los estándares y requisitos establecidos en la norma de ASTM D6433-18.

3.5.3 Evaluación del impacto ambiental (EIA)

La metodología de identificación y valoración de los impactos, es mediante el enfoque de matrices causa-efecto, originadas de la matriz de Leopold que permite cuantificar el índice global de impacto y la magnitud del impacto con la intervención del proyecto. Para la identificación de impactos ambientales, se utilizará la metodología propuesta por Conesa (2010) que consiste en identificar y evaluar los impactos ambientales positivos y negativos ocasionados por las actividades del proyecto, el formato para la identificación e inventario de los impactos ambientales, se muestran en el anexo 6.

Seguidamente, para la ponderación de la importancia de los factores ambientales, se ha considerado la metodología desarrollada por Conesa (2010) donde detalla cada factor ambiental con un índice ponderal expresado en unidades de importancia (UIP). La suma de todos los factores ambientales es de 1 000 puntos, el cual es distribuido en los diferentes sistemas, luego en subsistemas, y por último en los componentes ambientales, tal como muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5

Componentes Ambientales

Sistema	Subsistema	Componente ambiental	UIP	
MEDIO FISICO	Medio Inerte	Aire	60	
		Clima	60	
		Agua	60	
		Suelo	60	
		Procesos	60	
		TOTAL M. INERTE	300	
	Medio Biótico	Flora	60	
		Fauna	60	
		Procesos	60	
		TOTAL M. BIOTICO	180	
	Medio Perceptual	Valor Testimonial	20	
		Paisaje intrínseco	20	
		Intervisibilidad	20	
		Componentes singulares	20	
		Recursos científico-culturales	20	
TOTAL M. PERCEPTUAL		100		
TOTAL MEDIO FISICO			580	
MEDIO SOCIO-ECONOMICO Y CULTURAL	Medio Territorial	Recreativo al aire libre	20	
		Rural y Productivo	20	
		Conservación de la naturaleza	20	
		Viario Rural	20	
		Procesos	20	
	TOTAL M. TERRITORIAL			100
	Medio Núcleos Habitados	Estructura de los núcleos	30	
		Estructura urbana y equipamientos	30	
		Infraestructuras y servicios	40	
		TOTAL M. NUCLEOS HABITADOS	100	
	Medio Socio Cultural	Aspectos culturales	30	
		Aspectos colectivos	30	
		Aspectos humanos	30	
		Patrimonio histórico y artístico	30	
	TOTAL M. SOCIO CULTURAL			120
Medio Económico	Economía	50		
	Población	50		
	TOTAL M. ECONOMICO	100		
TOTAL M. ECONOMICO			420	
TOTAL MEDIO AMBIENTE			1 000	

Nota. Conesa (2010).

La valoración cualitativa de los impactos ambientales busca disminuir el análisis subjetivo de las afectaciones de las actividades de los proyectos sobre los factores ambientales, justificando los juicios de valor de los especialistas que realizan para su cuantificación. Entonces, las técnicas de valoración cualitativa garantizan el análisis mediante el valor relativo, siendo numérico el resultado obtenido, producto de una serie de cualidades de los impactos, a los cuales se asignan valores prefijados como alta, media o baja. Dichos valores se introducen a la matriz causa y efecto las acciones del proyecto y los factores ambientales, matriz conocida también con el nombre de matriz de importancia del impacto

(Conesa, 2010). El valor de la importancia del impacto depende de once variables, que a continuación se presentan.

Tabla 6

Importancia del impacto ambiental

NATURALEZA		INTENSIDAD (INT)	
Impacto beneficioso	+	Baja o mínima	1
Impacto perjudicial	-	Media	2
		Alta	4
		Muy Alta	8
		Total	12
EXTENSION (EXT)		MOMENTO (MOM)	
Puntual	1	Largo plazo	1
Parcial	2	Medio plazo	2
Amplio o Extenso	4	Corto plazo	3
Total	8	Inmediato	4
Critico	(+4)	Critico	(+4)
PERSISTENCIA (PER)		REVERSIBILIDAD (REV)	
Fugaz o Efímero	1	Corto Plazo	1
Momentáneo	1	Medio plazo	2
Temporal	2	Largo plazo	3
Pertinaz	3	Irreversible	4
Permanente	4		
SINERGIA (SIN)		ACUMULACION (ACU)	
Sin sinergismo	1	Simple	1
Sinergismo	2	Acumulativo	4
Muy sinérgico	4		
EFECTO (EFEC)		PERIODICIDAD (PER)	
Indirecto o Secundario	1	Irregular	1
Directo o Primario	4	Periódico	2
		Continuo	4
RECUPERABILIDAD (REC)		IMPORTANCIA (I)	
R. de manera inmediata	1	$I = \pm (3*INT + 2*EXT + MOM + PER + REV + SIN + ACU + EFEC + PER + REC)$	
R. a corto plazo	2		
R. a medio plazo	3		
R. a largo plazo	4		
Mitigable, sustituible y compensable	4		
Irrecuperable	8		

Nota. Conesa (2010).

Finalmente, para determinar el nivel del impacto ambiental, se realiza una categorización adecuada del impacto según la valoración de acciones del proyecto y factores ambientales, a través de una regla de decisión de los factores ambientales, donde los impactos negativos se categorizan en el nivel severo,

moderado y compatible, y los impactos positivos en bajo, medio y alto, según rango de importancia ambiental (ver tabla 23).

Descripción detallada del uso de materiales, equipos, insumos, entre otros

El presente estudio, consiste por un lado, en el trabajo de campo en insitu para el levantamiento de la información, y por otro lado, en el trabajo de gabinete para estimar los cálculos valores del índice de condición del pavimento, así como la clasificación del estado de conservación funcional; finalmente, se busca encontrar el índice asfáltico de mejora de la superficie del pavimento, dichas actividades requieren del uso de materiales, equipos, insumos, entre otros que se detallan a continuación:

Materiales

- Fichas de Observación.
- PC
- Reportes de Campo
- Odómetro manual
- Regla
- Conos de seguridad
- Plano de distribución.

Instrumentos

- Guías de observación
- Formatos de campo
- Cámara fotográfica.
- Hojas de cálculo
- Norma ASTM D6433-03

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Resultados

Los resultados de la presente investigación es, a través del trabajo realizado en campo, el cual consiste con el reconocimiento a detalle de la vía Juliaca – Puno, de manera específica, el tramo que comprende desde el Óvalo Zona Sur Juliaca hasta Caracoto, con una longitud de 4 180 ml, se ha dividido en 14 unidades de muestra, para lo cual, se aplicó la medición y el marcado de los hitos para cada muestra; seguidamente se procedió el levantamiento de los datos de información en situ, aplicando la metodología PCI y según la norma técnica ASTM D6433-18, que radica en la observación o inspección visual directa sobre diferentes tipos de fallas en el pavimento, usando el formato de la hoja de registro de datos de campo para la determinación del PCI para cada muestra respectiva.

Además, se ha aplicado una correlación estadística mediante el programa SPSS, que permite corroborar la relación existente entre la presencia de los distintos tipos de fallas del pavimento flexible y el nivel del índice de PCI, obteniéndose una correlación negativa (- 0.39) y estadísticamente significativa (p-valor 0.000) lo que indica es, que a mayor cantidad y presencia de tipos de fallas en los tramos de las muestras del pavimento flexible desde el Óvalo Zona Sur Juliaca hasta Caracoto, conducen al bajo nivel del índice de PCI, esta relación incluso es mucho mayor con la presencia de las deficiencias o fallas severas de grado alto (Ver anexo 04).

4.1.1 Análisis de los tipos de fallas en pavimento flexible

Los resultados han sido obtenidos para cada unidad muestral, los distintos tipos de fallas en la superficie del pavimento según las progresivas y el grado de severidad, los cuales se presentan en la tabla posterior. En el tramo de estudio, se observa la presencia de 09 tipos de fallas, siendo las grietas longitudinales y transversales presente en todas las unidades muestrales, seguido por las fallas como la piel de cocodrilo, agrietamiento en bloque, parchado y acometida de servicios públicos, grieta de borde, pulimiento de agregado, huecos, corrugación y depresión en 12, 11, 9, 7, 4, 3, 1, 1 unidades muestrales respectivamente.

Tabla 7

Tipos de fallas según las progresivas y el grado de severidad

N°	Unidad de Muestra	Progresiva Inicial (km)	Progresiva Final (km)	Tipos de Fallas	Unidad de Medida	Cantidad	Severidad
1	M-01	0+120.0 0	0+1 50.0 0	Piel de cocodrilo	M2	16.00	ALTA
				Grieta de borde	ML	3.00	MEDIA
				Grietas longitudinales y transversales	ML	32.00	MEDIA
				Parchado y acometida de servicios públicos	M2	2.50	MEDIA
				Huecos	UNIDAD	0.80	MEDIA
2	M-02	0+420.0 0	0+4 50.0 0	Piel de cocodrilo	M2	14.00	ALTA
				Grietas longitudinales y transversales	ML	16.00	MEDIA
				Parchado y acometida de servicios públicos	M2	5.00	MEDIA
				Huecos	UNIDAD	1.50	MEDIA
				Piel de cocodrilo	M2	16.50	ALTA
3	M-03	0+720.0 0	0+7 50.0 0	Agrietamiento en bloque	M2	15.00	ALTA
				Grieta de borde	ML	4.00	ALTA
				Grietas longitudinales y transversales	ML	21.00	ALTA
				Parchado y acometida de servicios públicos	M2	1.50	MEDIA
				Agrietamiento en bloque	M2	12.00	ALTA
4	M-04	1+020.0 0	1+0 50.0 0	Grieta de borde	ML	2.50	ALTA
				Grietas longitudinales y transversales	ML	33.00	ALTA
				Pulimiento de agregado	M2	24.00	BAJA
				Piel de cocodrilo	M2	16.00	MEDIA
				Grieta de borde	ML	1.00	MEDIA
5	M-05	1+320.0 0	1+3 50.0 0	Grietas longitudinales y transversales	ML	41.00	ALTA
				Pulimiento de agregado	M2	24.00	BAJA
				Piel de cocodrilo	M2	10.00	ALTA
				Agrietamiento en bloque	M2	22.00	MEDIA
				Grietas longitudinales y transversales	ML	38.00	ALTA
6	M-06	1+620.0 0	1+6 50.0 0	Parchado y acometida de servicios públicos	M2	2.00	MEDIA
				Agrietamiento en bloque	M2	25.00	ALTA
				Depresión	M2	1.00	MEDIA
				Grieta de borde	ML	2.50	ALTA
				Grietas longitudinales y transversales	ML	28.00	ALTA
7	M-07	1+920.0 0	1+9 50.0 0	Piel de cocodrilo	M2	2.50	MEDIA
				Agrietamiento en bloque	M2	11.00	ALTA
				Corrugación	M2	4.50	MEDIA
				Grietas longitudinales y transversales	ML	8.00	ALTA
				Parchado y acometida de servicios públicos	M2	15.00	MEDIA
8	M-08	2+220.0 0	2+2 50.0 0	Pulimiento de agregado	M2	20.00	MEDIA

N°	Unidad de muestra	Progresiva Inicial (km)	Progresiva Final (km)	Tipos de fallas		Unidad de medida	Cantidad	Severidad
9	M-09	2+250.0 0	2+2 50.0 0	Piel de cocodrilo	M2	19.00	ALTA	
				Agrietamiento en bloque	M2	15.00	MEDIA	
				Grietas longitudinales y transversales	ML	36.00	ALTA	
				Parchado y acometida de servicios públicos	M2	4.00	MEDIA	
				Huecos	UNIDAD	1.00	MEDIA	
10	M-10	2+820.0 0	2+8 50.0 0	Piel de cocodrilo	M2	14.00	ALTA	
				Agrietamiento en bloque	M2	21.00	ALTA	
				Grieta de borde	ML	2.50	ALTA	
				Grietas longitudinales y transversales	ML	3.00	MEDIA	
				Parchado y acometida de servicios públicos	M2	3.00	MEDIA	
11	M-11	3+120.0 0	3+1 50.0 0	Piel de cocodrilo	M2	10.00	ALTA	
				Agrietamiento en bloque	M2	10.00	MEDIA	
				Grietas longitudinales y transversales	ML	14.00	ALTA	
				Parchado y acometida de servicios públicos	M2	1.00	ALTA	
				Pulimiento de agregado	M2	28.00	BAJA	
12	M-12	3+420.0 0	3+4 50.0 0	Piel de cocodrilo	M2	11.00	ALTA	
				Agrietamiento en bloque	M2	26.00	ALTA	
				Grietas longitudinales y transversales	ML	36.00	ALTA	
				Piel de cocodrilo	M2	18.00	MEDIA	
				Agrietamiento en bloque	M2	26.00	ALTA	
13	M-13	3+720.0 0	3+7 50.0 0	Grieta de borde	ML	3.50	ALTA	
				Grietas longitudinales y transversales	ML	48.00	MEDIA	
				Piel de cocodrilo	M2	2.00	MEDIA	
				Agrietamiento en bloque	ML	26.00	ALTA	
				Grietas longitudinales y transversales	ML	37.00	ALTA	
14	M-14	4+020.0 0	4+0 50.0 0	Parchado y acometida de servicios públicos	M2	3.00	ALTA	

Por otro lado, en la tabla anterior también se puede observar los grados de severidad alta, media o baja para cada tipo de falla identificada según la unidad muestral, se ha estimado que el 53.2% de las fallas presentes son de grado de severidad alta; mientras, el 41.9% y 4.8% representan al grado de severidad media y baja respectivamente. Los tipos de fallas más representativos con alta severidad son: grietas longitudinales y transversales, piel de cocodrilo, agrietamiento en bloque y grieta de borde, los cuales requieren de una inmediata intervención de mantenimiento para su reparación de la vía; del mismo modo, las fallas en el pavimento flexible con el nivel de severidad media están el parchado y acometida de servicios público, huecos, corrugación y corrugación, y finalmente, la falla de pulimiento de agregado se encuentra con el nivel de severidad baja.

A. Análisis del índice de condición de pavimento flexible

Para la determinación del índice de condición del pavimento de la vía en estudio, se ha usado la metodología de Pavement Condition Index (PCI) considerando el valor promedio del PCI de cada unidad de la muestra, que resulta de la evaluación de las fallas existentes y la estimación del valor deducido corregido (VDC) con el fin de clasificar la condición de conservación y funcional del pavimento de la vía. Siguiendo la norma ASTM D6433 para carreteras flexibles, se utiliza los valores con una escala numérica de 0 a 100, para clasificar el estado de los pavimentos en fallado, muy malo, malo, regular, bueno, muy bueno o excelente de la vía, tal como se presenta en la tabla 02 de la sección de marco teórico.

Por su parte, en el presente trabajo, se estimaron valores PCI para cada muestra, encontrándose en 08 unidades de muestra el estado de conservación del pavimento de la vía como Regular (valor de PCI entre 40 – 55) seguido en 05 unidades muestrales la clasificación funcional del pavimento tiene como estado Malo (valor de PCI entre 25 – 40); en cambio, solo en una muestra de progresiva de 1+020 a 1+050, se obtuvo una calificación del pavimento como Bueno (valor de PCI entre 55 – 70). Entonces, el valor de PCI promedio del Tramo del Óvalo Zona Sur Juliaca a Caracoto, de la vía de Juliaca a Puno, considerando las 14 unidades muestrales, es igual a 41.73%, lo que correspondería una clasificación del pavimento como estado REGULAR, tal como aprecia en la tabla siguiente.

+

Tabla 8

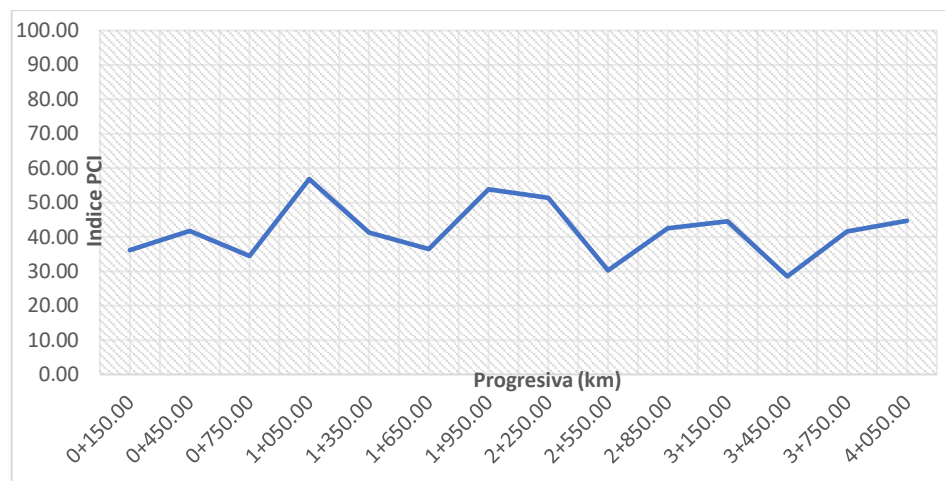
Resultados del PCI según progresivas y condición de conservación

N°	Unidad de Muestra	Progresiva Inicial (km)	Progresiva Final (km)	PCI	Condición
1	M-01	0+120.00	0+150.00	36.20	MALO
2	M-02	0+420.00	0+450.00	41.80	REGULAR
3	M-03	0+720.00	0+750.00	34.50	MALO
4	M-04	1+020.00	1+050.00	56.80	BUENO
5	M-05	1+320.00	1+350.00	41.20	REGULAR
6	M-06	1+620.00	1+650.00	36.50	MALO
7	M-07	1+920.00	1+950.00	53.80	REGULAR
8	M-08	2+220.00	2+250.00	51.40	REGULAR
9	M-09	2+520.00	2+550.00	30.20	MALO
10	M-10	2+820.00	2+850.00	42.50	REGULAR
11	M-11	3+120.00	3+150.00	44.50	REGULAR
12	M-12	3+420.00	3+450.00	28.50	MALO
13	M-13	3+720.00	3+750.00	41.60	REGULAR
14	M-14	4+020.00	4+050.00	44.70	REGULAR
Promedio				41.73	REGULAR

Seguidamente, se presenta el comportamiento de los valores promedios del índice de condición del pavimento (PCI) para cada una de las unidades muestrales, considerando las progresivas de la carretera, tal como se aprecia a continuación por medio del siguiente gráfico.

Figura 3

Evolución de los valores del PCI según progresiva de la vía



Frente a la evaluación y análisis de la condición funcional del pavimento flexible mediante el método de PCI (41.73%) se constató que la vía objeto de estudio, presenta fallas funcionales y estructurales que afectan el pavimento, que no permite una prestación adecuada de servicios de transitabilidad y seguridad vial a los usuarios, entonces, la condición de conservación del pavimento se encuentra como estado “regular” y no optima. En consecuencia, se justifica la necesidad de una intervención inmediata de reparación de la vía, según Sotil (2016) y la norma ASTM D6433-18, y considerando la tabla posterior, se recomienda realizar una intervención a nivel de mantenimiento correctivo, con el fin de proteger el pavimento y corregir las fallas específicas en las áreas deterioradas, recuperando la condición inicial de la vía que fue construido.

Tabla 9

Tipo de intervención de la vía según rango de PCI

Tipo de intervención (categoría de acción)	Rango de PCI
Mantenimiento Preventivo o Mínimo	100 a 85
Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o Periódico	85 a 60
Mantenimiento Correctivo	60 a 40
Rehabilitación - Reconstrucción	40 a 25
Rehabilitación -Reconstrucción	Menor a 25

Nota. Sotil (2016).

4.1.2 Nivel de mejoramiento del pavimento flexible mediante la mezcla asfáltica

La propuesta para el mejoramiento del pavimento del Tramo del Óvalo Zona Sur Juliaca a Caracoto, de la vía Juliaca – Puno, tiene la finalidad de garantizar una prestación adecuada de los servicios de transitabilidad y seguridad vial a los usuarios, y es en base al análisis de la condición funcional del pavimento flexible mediante el método PCI. De esta manera, en el presente estudio se ha encontrado un valor de PCI promedio de 41.73%, clasificado como estado de conservación “Regular”, según la norma ASTM D6433-18, corresponde una intervención del nivel de mantenimiento correctivo, debido al deterioro leve de la capa de rodadura, ocasionada por el mayor tránsito vehicular, y por los efectos adversos del clima que influyen el pavimento flexible. Por lo tanto, el tipo de

intervención requerida según las escalas del PCI, el cual, se presenta en la tabla anterior.

Para alcanzar un diseño adecuado del pavimento, mediante la mezcla asfáltica en caliente, es fundamental contar con la información del estudio tráfico vehicular, especialmente del tráfico pesado por ser una condición más exigente, conforme a la norma metodológica ASSTHO y siguiendo la resolución directoral RD N° 03-2018-MTC/14 aprobada para el diseño geométrico de carreteras y su mantenimiento. La estimación de los parámetros de recapamiento del pavimento sin cambiar la base granular, medida por el número estructural requerido, en función al número de ejes equivalentes, índices de serviciabilidad, nivel de confiabilidad y el módulo de resiliencia de la subrasante.

A. Estudio de tráfico vehicular

El estudio de tráfico vehicular permite determinar los volúmenes de tráfico actual registrados y proyectadas hacia el futuro, el cual, se realiza para un cierto tramo de la carretera, en este caso en el Tramo del Óvalo Zona Sur Juliaca a Caracoto, a través del conteo vehicular durante 7 días de lunes a domingo, el fin de determinar la carga vehicular que permite estimar el espesor de las capas que conforman el pavimento flexible.

Asimismo, se destaca que las características del tramo en estudio, se caracteriza por ser una vía interregional, que conecta las provincias de San Román de Juliaca y Puno en el departamento de Puno con desvío hacia las regiones de Moquegua y Tacna, así como al país vecino de Bolivia vía desaguadero, lo que genera alto índice de tráfico vehicular, tanto de vehículos livianos como automóviles de transporte de personas y así como los vehículos pesados para el transporte de mercadería a entre las ciudades de la macro región sur.

A.1 Índice medio diario anual (IMDa)

El Índice Medio Diario Anual en en el Tramo del Óvalo Zona Sur Juliaca a Caracoto de la vía Juliaca a Puno es de 11,065 vehículos,

compuesto por 86.99% de vehículos livianos o ligeros, 2.90% de ómnibus, y 10.11% de vehículos pesados, tal como se aprecian en la tabla posterior.

Tabla 10

Índice medio diario anual, según tipo de vehículos

Tipo de vehículos	IMDs	Factor de corrección	IMDa	Distribución (%)
Vehículos livianos				
Auto Móvil	2,078	1.08037	2,245	20.29%
Station Wagon	934	1.08037	1,009	9.12%
Camioneta PICK-UP	1,290	1.08037	1,394	12.60%
Panel	58	1.08037	63	0.57%
Camioneta Rural	3,415	1.08037	3,689	33.34%
Micros	1,134	1.08037	1,225	11.07%
Vehículos pesados				
Ómnibus 2E	152	1.08823	165	1.49%
Ómnibus 3E	108	1.08823	118	1.06%
Ómnibus 4E	35	1.08823	38	0.34%
Camión 2E	488	1.08823	531	4.80%
Camión 3E	170	1.08823	185	1.67%
Camión 4E	17	1.08823	18	0.17%
Semitraylers	332	1.08823	361	3.27%
Traylers	21	1.08823	23	0.21%
Total	10,232		11,065	100.00%

Nota. Factor de corrección (FC) según norma técnica de ASTM D6433-18.

Con el fin de realizar las proyecciones del tráfico vehicular, es a través de la tasa de crecimiento poblacional promedio intercensal de 0.95% (censo población y vivienda entre el periodo 1940 y 2017) para vehículos que transportan pasajeros, y tasa de crecimiento del PBI promedio del departamento de Puno de 3.98%, para estimar el crecimiento de vehículos que transportan las mercaderías como los camiones de bajo, mediante y grande tonelaje. La evolución de la tasa de crecimiento poblacional y PBI del departamento de Puno, se presentan en el anexo 03.

Por otro lado, se ha calculado la tasa de crecimiento promedio ponderado, considerando la relación entre el porcentaje de participación del volumen vehicular y su respectiva tasa de crecimiento de la población y la tasa del PBI, sean para vehículos livianos y pesados respectivamente.

de esta manera, la tasa de crecimiento promedio ponderado sirve para estimar el tránsito medio diario anual (TMDa) y el número de ejes equivalentes denominado ESAL "equivalent simple axial load", útil para el diseño de asfalto del pavimento, tal como se presenta a continuación.

Tabla 11

Tasa crecimiento promedio ponderado, según tipos de vehículos

Tipos de vehículo	Participación (%)	Tasa de crecimiento (%)	Tasa crecimiento promedio ponderado (%)
Vehículos livianos	86.99	0.95%	1.34%
Vehículos pesados	13.01	3.98%	

B Tránsito o tráfico de diseño

Para diseñar un pavimento de asfalto, es fundamental calcular el número de ejes equivalentes (ESAL) al factor de carga de 8.2 toneladas acumuladas durante el periodo de servicio (18 kip) a través de la estimación del tránsito medio diario anual (TMDa) el cual se obtiene multiplicando el conteo vehicular y los factores de equivalencia, su cuantificación se obtiene con la siguiente ecuación:

$$ESAL = 635 * TMDa * Fd * Fc * Fca$$

Donde ESAL es el número de aplicaciones de carga de ejes de 18 Kip o 8.2 TM por camión, Fd es factor de distribución direccional (0.50) Fc es Factor de distribución de carril (1.00) n es el periodo de diseño (3 años) para mantenimiento y por ser una vía de mucha importancia, r factor de crecimiento promedio ponderado (1.34%) Fe es factor de equivalencia, y Fca es el factor de vehículos pesados (Fca) que se obtiene con la siguiente formula:

$$Fca = \frac{[(1 + r)^n]}{r}$$

A continuación, se presenta el cálculo del tránsito medio diario (TMD) que se obtiene al multiplicar el conteo vehicular por los factores de equivalencia, según los tipos de vehículos. Además, es necesario mencionar, que se debe calcular un TDM para cada tipo de pavimento, en vista que las equivalencias de cargas son distintas para cada tipo de pavimento.

Tabla 12

Determinación del tránsito medio diario anual, según tipos de vehículos

Tipos de vehículos	IMDa	Factor de equivalencia (Fe)	Nro de vehículos equivalentes
Vehículos livianos			
Auto Móvil	2,245	0.0014	3
Station Wagon	1,009	0.0019	2
Camioneta PICK-UP	1,394	0.0080	11
Panel	63	0.0080	1
Camioneta Rural	3,689	0.0289	107
Micro	1,225	3.6292	4,446
Vehículos pesados			
Ómnibus 2E	165	4.1519	687
Ómnibus 3E	118	4.2776	503
Ómnibus 4E	38	4.8190	184
Camión 2E	531	4.1519	2,205
Camión 3E	185	4.2776	791
Camión 4E	18	4.8190	89
Semitraylers	361	7.9001	2,854
Traylers	23	11.4030	261
Total TMDa			12,143

Siguiendo la norma técnica de AASHTO, se ha calculado el ESAL de diseño con un total de 6,738,345 de ejes equivalentes o la cantidad de veces que transitaran en esa vía a lo largo de su vida útil del mantenimiento, según tipos de vehículos. La estimación del valor de ESAL es un factor fundamental que se emplea para la determinación del espesor de pavimento flexible como parte del mantenimiento correctivo.

Tabla 13

Determinación de parámetros del diseño de pavimento flexible

Ha	Símbolo	Valor
Tasa de crecimiento anual promedio	r	1.34%
Vida útil temporal del pavimento	n	3
Factor de vehículos pesados (Fca)	Fca	3.04
$Fca = [(1 + r)^n]/r$		
Nro de calzadas, sentidos y carriles por sentido (c, s y c)	c, s, c	1, 2, 1
Factor direccional * Factor carril (Fd*Fc)	Fd*Fc	0.50
Nro de ejes equivalentes (ESAL)	ESAL	6,738,345
$ESAL = 635 * TMDa * Fd * Fc * Fca$		

C Diseño del pavimento flexible

Para el diseño del pavimento flexible, se utilizó el método propuesto por el AASHTO (Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras y Transportes Estatales) que consiste en el uso de coeficientes estructurales, para medir la capacidad de resistencia de la carpeta asfáltica en caliente (capa superficial) frente a la carga vehicular previamente determinada. Para lo cual, se realiza un análisis comparativo entre número estructural requerido (SN_Requerido) y número estructural resultado (SN_Resultado) con el fin de verificar si cumple o no la condición: SN_Resultado debe ser mayor SN_Requerido, para un adecuado servicio de transitabilidad vehicular.

C.1 Número estructural requerido para el pavimento

La estimación del número estructural requerido (SN_Requerido) sirve para para soportar el nivel de carga vehicular demandada, y está en función al número de ejes equivalentes, índices de serviciabilidad, nivel de

confiabilidad y el módulo de resiliencia de la subrasante, los resultados se obtuvieron mediante la ecuación contenida en la tabla siguiente.

Tabla 14

Numero estructural requerido en el diseño del pavimento flexible

Descripción	Medida	Valor
Cargas de tráfico vehicular impuestos al pavimento	ESAL(W18)	6,738,345
Suelo de la subrasante	CBR =	37.6 %
Módulo de resiliencia de la subrasante [$MR(psi)=2555 \times CBR^{0.64}$]	MR (psi)=	26,032.2
Tipo de tráfico	Tipo:	TP8
Número de etapas	Etapas:	1
Nivel de confiabilidad	conf.	90.0 %
Coefficiente estadístico de desviación estándar normal	ZR	-1.282
Desviación estándar combinado	So	0.45
Índice de serviciabilidad Inicial según rango de tráfico	Pi	4.0
Índice de serviciabilidad final según rango de tráfico	Pt	2.5
Diferencial de serviciabilidad según rango de tráfico	ΔPSI	1.5

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_0 + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Número estructural requerido	SNR=	3.006
------------------------------	------	-------

C.2 Número estructural resultado para el pavimento

Por otro lado, también se estimaron el número estructural resultado (SN_Resultado) para el diseño del pavimento flexible, que está en función a los coeficientes estructurales de las capas, espesor de las capas y los coeficientes de drenaje no tratadas en pavimentos flexibles; para lo cual, se ha considerado 3 capas fundamentales en las carreteras: superficial, base y subbase.

C.3 Coeficientes estructurales de las capas de la vía

Para la determinación de los coeficientes estructurales de las capas superficial, base y subbase, es considerando la normatividad de ASTM D 3515 y AASHTO, donde la capa superficial tiene un valor de 0.170, consiste en la carpeta asfáltica en caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 °C (68 oF) recomendada para todos los tipos de tráfico de vehículos. Mientras, los coeficientes de 0.054 y 0.047 para capa base y subbase respectivamente, son recomendadas para un tráfico mayor a 5'000,000 EE y menor a 15'000,000 EE; de esta manera, se indica que el número de ejes equivalentes del presente estudio (EE) de 6'738,345 del tráfico, se encuentra dentro de rango requerido.

Tabla 15

Coeficientes estructurales de las capas

Capa superficial	Base	SubBase
a1	a2	a3
Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 °C (68 oF)	Base Granular CBR 100%, compactada al 100% de la MDS	Sub Base Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS
Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico	Capa de Base recomendada para Tráfico > 5'000,000 EE	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico ≤ 15'000,000 EE
0.170	0.054	0.047

Nota. Según ASTM D 3515.

C.4 Estimación o cálculo de espesores de las capas

Para el cálculo de espesor de las capas de la base y subbase, se ha considerado los datos reales de la vía de estudio, cuales están conformadas de 30 cm de espesor cada uno. Con la intervención de un mantenimiento correctivo y no una rehabilitación, no se alteran las capas de la base y de subbase, debido a que están en buenas condiciones; seguidamente, se ha calculado el espesor de la base superficial de la carpeta asfáltica de 2 pulgadas, equivalente a 5 cm y una duración de 3 años, por ser de

mantenimiento correctivo, por tanto, el espesor de las capas se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 16

Cálculo de espesores de las capas

Capa superficial	Base	SubBase
d_1 5 cm	d_2 30 cm	d_3 30 cm

C.5 Coeficientes de drenaje no tratadas en pavimentos flexibles

Asimismo, el valor del coeficiente de drenaje no tratada en el pavimento flexible de la vía, para la base y subbase está conformada por $1 m^2$ y m^3 respectivamente, el cual, se constituye útil para el cálculo del número estructural resultado (SN_Resultado) que se muestran en las tablas posteriores.

Tabla 17

Coefficientes de drenaje no tratadas en pavimentos flexibles

Base	SubBase
m_2 1	m_3 1

C.6 Estimación del número estructural de resultado y su comparación con el requerido.

El objetivo del diseño de los pavimentos flexibles, se basa primordialmente en determinar el número estructural (SN) para el pavimento, que pueda soportar el nivel de carga predeterminado, para lo cual, considera una ecuación que se relaciona con los coeficientes previamente estimado, siguiendo la metodología propuesta por AASHTO, el SN se determina con la siguiente ecuación.

$$SNR = a_1 * d_1 + a_2 * d_2 * m_2 + a_3 * d_3 * m_3$$

Donde: a es el coeficiente estructural, d es el espesor en pulgadas, y m el coeficiente de drenaje; entonces, se cumple la condición de SN_Resultado es mayor que SN_Requerido. Por lo tanto, el espesor de la capa superficial con carpeta asfáltica en caliente será 2 pulgadas.

Tabla 18

Análisis comparativo entre SN requerido y resultado

Descripción de SN	Valor
SN_Requerido	3.006
SN_Resultado	3.880

Debe cumplir $SN_Resultado > SN_Requerido$

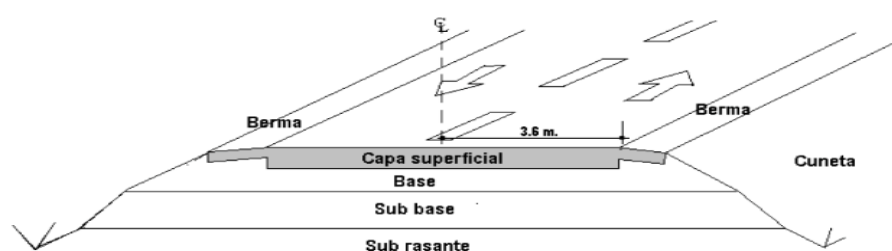
sí cumple

De la anterior tabla, se puede concluir que, si se cumple con los espesores mínimos establecidos, consignados en las tablas predecesoras. Por lo tanto, el espesor mínimo de la base superficial de la carpeta asfáltica a considerar sería de 2 pulgadas, equivalente a 5 cm, por ser una intervención a nivel de mantenimiento periódico o correctivo.

Asimismo, la identificación de las capas superficial base y subbase en una carretera con pavimento flexible, así como la ubicación de bermas y las cunetas, se aprecia en la siguiente figura.

Figura 4

Identificación de la capa superficial, base y subbase



A. Diseño de la mezcla asfáltica en caliente

En el diseño de la mezcla de asfalto se usan materiales de piedra y el cemento asfáltico para su procedimiento, similar a la mezcla estándar, sus características están establecidas en la normatividad ASTM D3515, AASHTO y NTP. En relación a los materiales de piedra, en cuanto al

"tamaño de partículas del agregado" se refiere a la distribución proporcional de la masa en las diversas dimensiones del agregado de piedra, para determinar esta distribución, se emplea un procedimiento conocido como el análisis de la granulometría, el cual, resulta de dividir una muestra del agregado en fragmentos de tamaño uniforme, esto implica descomponer el material en partículas de diversos tamaños.

Por otro lado, en relación al contenido de proporcionalidad del cemento asfáltico para su uso eficiente en la mezcla, se debe emplear un contenido de 60-70 del cemento asfáltico, que cumple con la normatividad establecida y el tipo de cemento es adecuado, usado para diversos patrones de tráfico, sin importar la cantidad de vehículos que transitan por la vía, sean ligeros, pesado o ambas.

B. Análisis de los precios unitarios del mantenimiento

Los costos totales en la gestión de proyectos de construcción del área de ingeniería, se divide en costos directos y en costos indirectos, su análisis es esencial para una adecuada planificación, control de costos y oportuna toma de decisiones en proceso constructivo de un proyecto. El análisis de los costos directos de un proyecto o de las actividades de mantenimiento se desglosa en partidas y subpartidas que se asocian con cada unidad de medida y la especificación técnica de los metrados, los cuales se pueden medirse en términos físicos en metros cuadrados, toneladas, horas de trabajo, entre otros; asimismo, en cada partida se analizan los costos unitarios de mano de obra, materiales y equipos (Ver anexo 05). Por su parte, los costos indirectos están referidas a los gastos generales, la utilidad, la supervisión y el impuesto general de las ventas (IGV) los cuales se estiman en función al costo total directo.

En consecuencia, el monto total inversión estimada para la reparación de la superficie del pavimento asciende a S/ 1,623,297.89 a precios de mercado, considerando un total de 11 actividades, la limpieza general, remoción de pavimento flexible, parchado superficial en pavimento asfáltico, recapado asfáltico en caliente, entre otras actividades que se presentan en la tabla siguiente, en donde se puede apreciar el

resumen del costo total o presupuesto de las actividades del mantenimiento propuesto en el presente trabajo de investigación.

Tabla 19

Resumen de costo total del mantenimiento correctivo

Definiciones	Unidad medida	Cantidad	Precio unitario (s/)	Costo total (s/)
Costo Directo				
Limpieza general.	km	4	269.22	1,076.88
Remoción de pavimento flexible	m ²	980	1.13	1,107.40
Parchado superficial en pavimento asfáltico	m ²	980	606.43	594,301.40
Tratamiento de fisuras	ml	450	5.47	2,461.50
Sello asfáltico	m ²	14	6.04	84.56
Riego de liga	m ²	14	30.65	429.10
Recapado asfáltico en caliente	m ³	720	624.16	449,395.20
Transporte de mezcla asfáltica mayor de 1 km	m ³	40	360.00	14,400.00
Marcas en el pavimento	ml	8,000	3.35	26,800.00
Reposición de señales preventivas	und	10	73.22	732.20
Mitigación ambiental	glb	1	80,000.00	80,000.00
Costo Directo				1,170,788.24
Gastos Generales (7.5%)				87,809.12
Utilidad (10%)				117,078.82
Subtotal				1,375,676.18
IGV (18%)				247,621.71
Presupuesto total				1,623,297.89

4.1.3 Impactos ambientales negativos y positivos con la ejecución del proyecto

A. Identificación de los impactos ambientales

Para la identificación de impactos ambientales potenciales producto de la intervención de mantenimiento correctivo del proyecto, se realizó la evaluación de las principales actividades de intervención, seleccionando aquellas actividades que podrían ocasionar impactos negativos y positivos más relevantes al medio ambiente, considerando el tipo de intervención de mantenimiento, así como la afectación del entorno y su interrelación, las actividades más importantes a desarrollarse con la intervención de mantenimiento correctivo son:

La operación de maquinarias, transporte de personal y materiales: incluye las acciones de mantenimiento vial, control de seguridad, transporte de personal y los desvíos a carreteras y calles existentes, así como el movimiento de las maquinarias en general en la carretera y alrededores

La operación en las instalaciones auxiliares: están comprendidas en el desarrollo de las acciones desde el proceso industrial de preparación de mezcla asfáltica hasta el almacenamiento, recojo, transporte y disposición final de los residuos sólidos, tales tareas están referidas a la implementación del campamento, patio de máquinas, la instalación de la planta de asfalto, la chancadora y el centro de acopio.

La colocación de la mezcla asfáltica: consiste en la aplicación de emulsión asfáltica sobre la carretera, estas deben cumplir características técnicas establecidas en normas EG-2000, AASHTO, ASTM e Instituto del Asfalto.

La implementación de la señalización: consiste en colocación de señales preventivas, reguladoras, e informativas, colocación de postes de kilometraje y guardavías, así como pintado o remarcación del pavimento, las señalizaciones de línea de la vía central y las laterales.

El mantenimiento de obras de arte: están referidas a los trabajos de limpieza y reparación de puentes, cunetas y alcantarillas.

El funcionamiento y mantenimiento periódico de la vía: consiste en considerar la tasa de crecimiento del IMDa, que provoca el aumento en la cantidad de residuos sólidos en los dos lados del eje y su posible afectación a los transeúntes, flora y fauna domésticos, asimismo se realizaran acciones de capacitación y orientación a la población en temas concernientes a la seguridad vial y manejo eficiente de los residuos sólidos, mediante los actores locales.

En consecuencia, con las actividades de intervención de un mantenimiento correctivo de la vía, se identifican los impactos ambientales como el ruido, residuos sólidos, alteraciones del paisaje, emisión de material particulado, emisión de GEI, alteración de la calidad de agua y afectación de la flora y fauna doméstica, entre otros. De esta manera, a través de la siguiente tabla se presenta los impactos identificados.

Tabla 20

Identificación e inventario del impacto ambiental, según factores ambientales y unidad de importancia

Nro.	Impacto ambiental	código	Cantidad	Frec. absoluta	Medio afectado	Valor de ponder.	Frec. ponderado	Frec. relativa
1	Alteración de la calidad del aire por la presencia de particulados y GEI	IA1	3	0.07	Aire	60	4.29	0.09
2	Aumento de los niveles de presión sonora	IA2	2	0.05	Aire	60	2.86	0.06
3	Generación de los residuos solidos	IA3	6	0.14	Suelo	60	8.57	0.18
4	Vertido de los residuos líquidos	IA4	2	0.05	Suelo	60	2.86	0.06
5	Alteración de la calidad del agua	IA5	4	0.10	Agua	60	5.71	0.12
6	Afectación y perturbación a la fauna domestico	IA6	2	0.05	Fauna	20	0.95	0.02
7	Alteración de la vegetación natural	IA7	2	0.05	Flora	20	0.95	0.02
8	Cambio estructural del paisaje	IA8	5	0.12	Paisaje	20	2.38	0.05
9	Mayor ingreso económico en la zona	IA9	4	0.10	Económico	50	4.76	0.10
10	Generación de puestos de trabajo	IA10	7	0.17	Económico	50	8.33	0.18
11	Mejora de acceso a los servicios de salud y seguridad	IA11	2	0.05	Población/servicios	50	2.38	0.05
12	Accidentes de Transito	IA12	3	0.07	Población/servicios	50	3.57	0.08
Total impactos identificados			42	1.00		560	47.62	1.00

Nota. Elaborado según Conesa (2010).

B. Valor de ponderación es expresado en unidades de importancia (UIP)

En la tabla anterior, se puede observar que el impacto más resaltante, según frecuencia absoluta, es el de generación de puestos de trabajo, seguido por generación de residuos sólidos y por el cambio estructural del paisaje. Además, por la frecuencia relativa, los impactos ambientales más representativos son generación de los residuos sólidos y generación de puestos de trabajo con 18% cada uno, seguido por la alteración de la calidad de agua con 12%. Asimismo, se indica que el factor

ambiental más afectado es el económico con 27% del total de impactos ambientales identificados.

C. Valoración de los impactos ambientales

La valoración de impactos ambientales, es a través del método de matrices causa efecto, conocido como Matriz Leopold, el cual consiste en valorar en forma cualitativa las posibles alternaciones en los factores y aspectos ambientales, producidas por cada uno de las actividades de la intervención del mantenimiento correctivo, tal como se presenta a continuación.

Tabla 21

Identificación de impactos por factores ambientales, según las actividades de mantenimiento correctivo

Sistemas Ambientales	Factores Ambientales	Actividades del mantenimiento correctivo						Valor Absoluto
		Operación de maq., transporte de pers. y materiales	Operación en las instalaciones auxiliares	Colocación de la mezcla asfáltica	Implem. de la señalización	Manten. de obras de arte	Func. y manten. periódico de la vía	
Medio Físico	Aire	2	2	1	0	0	0	5
	Suelo	2	3	0	0	2	1	8
	Agua	0	0	0	0	4	0	4
Medio Biológico	Paisaje	1	1	0	1	2	0	5
	Flora	1	1	0	0	0	0	2
	Fauna	1	1	0	0	0	0	2
Medio Socioeconómico	Salud pública	0	0	0	1	0	0	1
	Seguridad	0	0	0	1	0	0	1
	Empleo	1	1	1	1	2	1	7
	Comercio	0	0	0	0	0	0	0
	Población Económico	2	1	0	0	0	0	3
	Económico	1	1	0	0	2	0	4
Numero de impacto		11	11	2	4	12	2	42
Total		42						

D. Importancia de los impactos ambientales

Para la valoración cualitativa de los impactos ambientales, es mediante la metodología desarrollada por Conesa (2010) el cual consiste estimar el valor del impacto considerando 11 criterios detallados en el capítulo de la metodología del presente trabajo (tabla 8) donde el valor de importancia del impacto resulta de la siguiente ecuación.

$$Imp = \pm (3 Int + 2 Ext + Mom + Per + Rev + Sin + Acu + Efec + Per + Rec)$$

Asimismo, se indica que el signo positivo (+) significa existencia de un impacto positivo, cuyo efecto en el medio ambiente aumenta la calidad ambiental, en contraste, el signo negativo (-) genera un impacto negativo, que deteriora la calidad ambiental. De esta manera, los impactos ambientales identificados y valorados con la intervención del mantenimiento correctivo de la vía, se generan un total 12 impactos; de los cuales, 08 son de impacto negativo debido a que tienen efecto contrario en el medio ambiente, y el resto 04 son de impacto positivo.

Según la tabla siguiente sobre la matriz de importancia de impactos ambientales, el impacto con mayor valoración de importancia es la generación de residuos sólidos, que afecta directamente al factor suelo y al factor población, el impacto que genera es negativo, se ve intensificado por las actividades propias de la intervención del mantenimiento como operación de maquinarias, transporte de materiales, instalación de campamento, planta asfáltadora, entre otros. Mientras, con mayor efecto positivo es el impacto ambiental generación de puestos de trabajo que afecta directamente al factor económico, cual se intensifica con la oportunidad laboral temporal generados por las actividades de la intervención del mantenimiento correctivo.

Tabla 22

Matriz de importancia de impactos ambientales

Nro.	Impacto ambiental	código	Naturaleza	Intensidad	Extensión	Momento	Persistencia	Reversibilidad	Recuperabilidad	Sinergia	Acumulación	Efecto	Periodicidad	Valor
1	Alteración de la calidad del aire por la presencia de particulados y GEI	IA1	-1	4	2	4	2	3	2	1	1	4	2	-35
2	Aumento de los niveles de presión sonora	IA2	-1	4	1	4	1	2	2	1	1	4	2	-31
3	Generación de los residuos sólidos	IA3	-1	4	4	3	4	4	3	2	4	4	4	-48
4	Vertido de los residuos líquidos	IA4	-1	2	1	2	2	1	2	1	1	1	1	-19
5	Alteración de la calidad del agua	IA5	-1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	-15
6	Afectación y perturbación a la fauna doméstico	IA6	-1	2	2	2	2	3	2	2	1	4	2	-28
7	Alteración de la vegetación natural	IA7	-1	4	2	2	2	2	2	2	1	4	2	-33
8	Cambio estructural del paisaje	IA8	1	2	2	2	1	2	3	1	4	4	2	29
9	Mayor ingreso económico en la zona	IA9	1	4	2	3	2	2	3	1	1	4	2	34
10	Generación de puestos de trabajo	IA10	1	2	4	3	3	2	4	1	4	4	4	39
11	Mejora de acceso a los servicios de salud y seguridad	IA11	1	2	2	3	3	2	2	1	4	1	2	28
12	Accidentes de Transito	IA12	-1	4	2	2	2	3	3	2	1	1	1	-31

E. Interpretación de los resultados

Para la interpretación de resultados de la valorización obtenida de los impactos ambientales, se debe desarrollar las categorías mediante una regla de decisión que permite clasificar los impactos según su valorización, en donde, los impactos ambientales negativos se pueden categorizar en tres niveles como: severo, moderado y compatible; mientras los impactos ambientales positivos se categorizan en bajo, medio y alto, tal como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 23

Regla de decisión para impactos ambientales

Categoría del impacto según valorización	Carácter del impacto	Rango
Severo	Negativo (-)	$> -47 $
Moderado		$ -47 > -30 $
Compatible		$< -30 $
Alto	Positivo (+)	> 47
Medio		$47 > 30$
Bajo		< 30

Nota. Conesa (2010).

A continuación, a través de la tabla posterior, se muestra la clasificación de los impactos ambientales, donde el impacto negativo y de grado severo, es el de generación de los residuos sólidos, que representa el 8.33% de un total de 12 impactos, esto se debe fundamentalmente por un lado, a las actividades de operación de instalación auxiliares, referidas a las tareas de implementación del campamento, patio de máquinas, la instalación de la planta de asfalto, la chancadora y el centro de acopio, por otro lado, a las actividades de operación de maquinarias, transporte de personal y materiales, los cuales generan la acumulación de los residuos sólidos que afecta directamente al factor ambiental suelo.

Asimismo, en la tabla siguiente se observa que el 33% de impactos son clasificados como negativo y moderado, debido a que estos impactos pueden ser mitigados de manera rápida con la implementación de alguna medida de corrección, los factores ambientales afectados son

principalmente el aire, seguido por el factor ambiental flora y el factor social, el cual explica que, a través de un mantenimiento correctivo de la vía se genera menor impacto en el aire, además, no habrá alteraciones significativas en la vegetaciones naturales de la flora, ni accidentes constantes de tránsito, debido que la intervención es temporal y menor tiempo que un proyecto de inversión o habitación.

Tabla 24

Regla de decisión para impactos ambientales

Nro.	Impacto ambiental	código	Valor IA	Impacto (signo)	Categoría
1	Alteración de la calidad del aire por la presencia de particulados y GEI	IA1	-35	Negativo	Moderado
2	Aumento de los niveles de presión sonora	IA2	-31	Negativo	Moderado
3	Generación de los residuos solidos	IA3	-48	Negativo	Severo
4	Vertido de los residuos líquidos	IA4	-19	Negativo	Compatible
5	Alteración de la calidad del agua	IA5	-15	Negativo	Compatible
6	Afectación y perturbación a la fauna domestico	IA6	-28	Negativo	Compatible
7	Alteración de la vegetación natural	IA7	-33	Negativo	Moderado
8	Cambio estructural del paisaje	IA8	29	Positivo	Medio
9	Mayor ingreso económico en la zona	IA9	34	Positivo	Medio
10	Generación de puestos de trabajo	IA10	39	Positivo	Alto
11	Mejora de acceso a los servicios de salud y seguridad	IA11	28	Positivo	Bajo
12	Accidentes de Transito	IA12	-31	Negativo	Moderado

Por otro lado, en la tabla anterior se observa los impactos positivos con un rango alto medio y bajo, siendo el factor económico con impacto positivo y medio representado con el 25% del total de impacto ambiental, es decir que los impactos positivos tienen efectos positivos en el sector económico y social con el aumento de puestos de trabajo temporal que mejoran los ingresos económicos de la zona afectada con la intervención del mantenimiento, estas se emplean en las actividades de operación de

instalación auxiliares, operación de maquinarias, transporte de personal y materiales, y mantenimiento de obras de arte. Por lo tanto, los impactos positivos generados con la intervención, contrarrestan de alguna manera los impactos negativos generados por las actividades de mantenimiento correctivo.

F. Diseño de medidas de mitigación y prevención

Teniendo en consideración, que el impacto ambiental negativo y severo es la generación de los residuos sólidos. Por lo tanto, es necesario un plan de manejo integral de los residuos sólidos que permita mitigar impacto alguno desfavorable sobre el medio ambiente, es de suma utilidad para mejorar el proceso de almacenamiento, recojo, transporte y disposición final de los residuos sólidos

F.1 Plan de manejo de residuos solidos

Los factores ambientales que serán afectados por la generación de los residuos sólidos son principalmente económicos y sociales, el incremento de los desechos contaminantes sobre la carretera, que afectan la salud de los trabajadores y pobladores de la zona, seguidamente los efectos también se ven en el cambio de la calidad del aire por la quema de los residuos, afectaciones en las aguas superficiales, disminución de la calidad del suelo, alteración a la fauna doméstica. Por lo tanto, el plan de manejo de residuos sólidos con la intervención de las actividades del mantenimiento, deberá considerar el procedimiento siguiente.

- **Generación**, esta etapa consiste en identificación y clasificación de los residuos sólidos, estas se clasifican en domésticos, hospitalarios e industriales, y a su vez podrán ser peligrosos y no peligrosos. Por lo tanto, las acciones del mantenimiento deben contemplar capacitaciones y orientaciones a los trabajadores como a las personas afectadas, sobre la clasificación de los residuos sólidos y estas deben ser implementadas por todo el personal, quienes deberán realizar la contabilidad del peso de los distintos tipos de residuos peligrosos que

son producidos en la obra, para su posterior transporte a cargo de una empresa encargada de la gestión de residuos para su disposición final.

- **Segregación y almacenamiento**, esta etapa consiste en la separación, clasificación y almacenamiento temporal de los residuos sólidos para su transporte posterior, en este caso el ejecutor de la obra de mantenimiento debe usar bolsas de diferentes colores para los dispositivos de almacenamiento establecida en la norma técnica peruana NTP 900.058-2019, con el objetivo de homogeneizar los colores empleados para la segregación de los residuos sólidos, los cuales se detallan a continuación.

Tabla 25

Clasificación de los residuos sólidos, según color y clase

Color	Clase	Descripción de los residuos sólidos
Amarelo	Residuos metálicos	Alambres, clavos, fierro corrugado, mallas, placas y cables de acero y/o cobre (latas de metal y de conservas, leche, café, gaseosa, envases de bebidas y alimentos, entre otros)
Verde	Vidrio	Botellas, vasos y cualquier envase de vidrio que no contenga químicos.
Azul	Papeles y cartones	Papeles y cartones sin contaminantes (fotocopias, sobres, folletos, cajas de cartón, revistas, catálogos, periódicos, entre otros)
Marrón	desechos orgánicos	Restos de comida, retazos de madera, cascara de frutas, aserrín o similares.
	residuos plásticos	Bolsas, envases y cubiertos descartables, embalajes plásticos, restos de tubos de PSV, leche, yogurt, alimentos, vasos, platos, botellas de bebidas, gaseosas, aceites comestibles, bolsas de detergente, envases de champú, empaques o bolsas, verdura y huevos, etc.
Grigio	basura común	Basura común que no se recicle (papel higiénico usado, envolturas de golosinas, otros).
Rojo	residuos peligrosos	Aerosoles y latas de pintura, filtros de aceite, baterías y grasas y todo material orgánico e inorgánico, con contenidos de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y patogenicidad; siendo los cilindros rojos para su almacenamiento y deben ser herméticos.
Naranja	trapos y tierra contaminada	Trapos o pañales absorbentes impregnados con hidrocarburo o suelo contaminado. (deberán disponerse en bolsas negras)

Por otro lado, el almacenamiento de los residuos sólidos se ubicará en el patio de máquinas, lejano de algún almacén de insumos químicos o de combustión, garantizando las adecuadas condiciones de higiene y seguridad de los usuarios. Además, el centro de acopio debe estar ubicado en un lugar de fácil acceso para la recolección, contar con el cerco perimétrico y techo correspondiente, además de contar con los contenedores necesarios para su acopio temporal hasta que la empresa encargada del manejo de residuos sólidos, transporte y disponga en la disposición final. Asimismo, se deberá garantizar el uso de señales informativas y preventivas del tipo ambiental, y contar con una losa de concreto para impermeabilizar el área donde se proyectará el centro de acopio, dando prioridad a los residuos peligrosos.

- **Reaprovechamiento**, esta etapa consiste en la reutilización del material desechado como las planchas metálicas de las alcantarillas y restos de fierro que se encontraron en los puentes, llantas o neumáticos, residuos de concreto, de demolición y restos de asfalto, entre otros materiales.
- **Transporte**, esta etapa consiste en el correcto transporte de los residuos sólidos, con las siguientes condiciones: está prohibido para los conductores de vehículos con residuos realizar paradas no autorizadas a lo largo de la ruta, los depósitos deberán estar debidamente asegurados y protegidos, con la finalidad de prevenir el derrame de sólidos en la vía de transporte, y respetar la capacidad de diseño de la unidad y condiciones climáticas del lugar.
- **Disposición final**, consiste en que los encargados de la obra de mantenimiento deberán realizar todos los procedimientos necesarios para la disposición final de los residuos sólidos, los cuales tendrán su destino en relleno sanitario o relleno de seguridad de la empresa encargada de manejo de los residuos sólidos, cuando se trate de residuos industriales peligrosos.

4.2 Discusión

La evaluación del estado actual del pavimento mediante la metodología PCI, del tramo que comprende desde el Óvalo Zona Sur Juliaca hasta Caracoto de la carretera de Juliaca a Puno, consistió en determinar los diversos tipos de fallas en el pavimento. Los resultados indican que en el tramo objeto del estudio, existe presencia de 09 tipos de fallas, siendo las grietas longitudinales y transversales presente en 100% de las unidades muestrales, seguido por las fallas de piel de cocodrilo y agrietamiento en bloque, cuales afectan al 86% y 79% de las unidades de muestra respectivamente. Tales resultados, muestran discordancia con Burgos y Ortiz (2021) para el país de Colombia, donde identifican el tipo de falla que más se evidencia es el parcheo con un 34% de frecuencia, y el menor es de tipo depresión con 1% respecto a los 10 tipos de fallas consideradas.

En el Perú, al igual que a nivel internacional, la infraestructura vial de la red nacional, regional y local se constituyen en un factor importante para el desarrollo económico y social, sin embargo la condición funcional de estos pavimentos no son homogéneos, siendo algunos en estado de conservación bueno, otros con una conservación malo o muy malo, por ejemplo, para el presente estudio se obtuvo un valor promedio de PCI igual a 41.73%, que permite la clasificación del estado funcional del pavimento como “Regular”, tal resultado es concordante con Baque (2020) de la carretera puerto-aeropuerto provincia de Manabí, en Ecuador con valor de PCI de 49%, Avalos y Haro (2019) para la Av. José Quiñones, Chiclayo Perú, que obtienen valor de PCI de 50.06% y 49.27% para ambos carriles.

Mientras Aracayo (2022) para Juliaca y Cuba (2017) para distrito de San Juan de Lurigancho, con valor de PCI de 30.80% y 26% respectivamente, siendo su estado de conservación como “Malo” para ambos; por otro lado, para el distrito de Columbia en USA, Arhin et al. (2015) y para Cundinamarca de Colombia Burgos y Ortiz (2021) obtienen un PCI de 57.8% y 65% respectivamente, con un estado de conservación del pavimento como “Bueno”. En consecuencia, se puede indicar que el estado situacional de los pavimentos flexibles entre las localidades, regiones y países difieren, debido a los factores como tráfico vehicular, presencia de distintos tipos de vehículos, políticas adoptadas del sector de transporte diferentes, entre otras diferencias en aspecto económico y social.

Una vez realizada la evaluación y análisis de la situación funcional del pavimento flexible mediante el método de PCI, la norma ASTM D6433-18, establece el tipo de intervención. Para el presente estudio, con PCI de 41.73% de estado regular, corresponde una intervención del nivel de MANTENIMIENTO CORRECTIVO, similar a las recomendaciones planteadas por Baque (2020) para provincia de Manabí en Ecuador, Avalos y Haro (2019) para Chiclayo en Perú. Mientras, Aracayo (2022) para Juliaca, Cuba (2017) para distrito de San Juan de Lurigancho, y Burgos y Ortiz (2021) para Cundinamarca en Colombia plantean una intervención a nivel de REHABILITACIÓN, debido a valor de PCI están dentro del rango de 25% - 40%, tales diferencias se deben a causas como el diseño deficiente del pavimento flexible, fallas en el proceso de la construcción, mayor tránsito vehicular, inadecuada construcción del drenaje, limitada e irregular mantenimiento del pavimento.

En relación, al diseño del pavimento por la metodología de la AASHTO, se ha considerado el índice medio diario anual (IDMa) de 11,065 de tránsito vehicular, que permitió estimar el espesor mínimo de la capa superficial con carpeta asfáltica en caliente, igual a 2 pulgadas equivalente a 5 cm.; dichos resultados muestran discordancia con Núñez (2018) para Chota Cajamarca, y Vega (2018) para Yurimaguas Loreto, quienes recomiendan un espesor de carpeta asfáltica de 4 y de 5 pulgadas respectivamente, además sugieren que la capa de la base y de subbase deben ser cambiados y compactados a un espesor de entre 25 a 30 cm cada capa, estas diferencias se deben a distintos valores de PCI y estado de conservación de las vías, Núñez (2018) y Vega (2018) obtuvieron un estado de conservación “malo”, que corresponde una reparación a nivel de rehabilitación; mientras, en el presente estudio la conservación fue clasificado como “regular” y la intervención es de mantenimiento correctivo, además no se alteran las capas de la base y de subbase conformadas de 30 cm de espesor cada uno, debido a que están en buenas condiciones.

Por otro lado, con respecto a la evaluación de impacto ambiental (EIA) se ha identificado 6 principales actividades que generan 12 impactos ambientales, siendo la generación de los residuos sólidos el de mayor impacto negativo y de grado severo, con un valor de importancia del impacto igual a -48; dicho resultado también es discordante con los hallazgos de Cusi (2012) para Cusco, donde el movimiento de tierras y compactación de suelos son de mayor impacto negativo que afectan al factor suelo y



factor paisaje, asimismo sostiene que estos impactos son de carácter temporal y fácil de prevenir y mitigar con medidas adecuadas.

Mientras, Vallejos (2016) para Junín, identifica el factor ambiental suelo el más afectado por una mayor explotación de canteras y de las instalaciones auxiliares ubicadas en este sector. Esta diferencia se debe, que las zonas a ser intervenidas son totalmente diferentes, sean por su ubicación geográfica y/o por factores climáticos diversos. Sin embargo, existe concordancia con los resultados del presente estudio, al indicar que, con la intervención, se generaran los impactos positivos sobre los factores sociales mediante creación temporal de puesto de trabajo que mejoran los ingresos económicos de la zona afectada con la intervención de las actividades de mantenimiento.

CONCLUSIONES

- Se encontró una relación negativa moderada significativa entre la presencia de los distintos tipos de fallas en el pavimento flexible y el nivel del PCI en el Tramo del Ovalo Zona Sur Juliaca a Caracoto, siendo los 4 primeros tipos de fallas con mayor presencia son: grietas longitudinales y transversales, piel de cocodrilo, agrietamiento en bloque, parchado y acometida de servicios públicos, además, el PCI es de 41.73%, que clasifica como regular, y se determinó una intervención a nivel de mantenimiento correctivo, con recapado asfáltico en caliente de 5 cm, para el cual, se ha identificado 12 impactos ambientales, siendo la generación de los residuos sólidos el de mayor impacto negativo y severo, y la generación de puestos de trabajo temporal el de mayor impacto positivo.
- Se determinó 9 tipos de fallas en el pavimento flexible siendo las grietas longitudinales y transversales presente en todas las unidades muestrales, seguido por las fallas como la piel de cocodrilo, agrietamiento en bloque, parchado y acometida de servicios públicos, grieta de borde, pulimiento de agregado, huecos, corrugación y depresión en 12, 11, 9, 7, 4, 3, 1, 1 unidades muestrales respectivamente, siendo el valor promedio del PCI de 41.73%, clasificado en un estado de conservación de la vía como regular.
- Se determinó una intervención de la carretera a nivel de mantenimiento correctivo, con recapado asfáltico en caliente de 2 pulgadas equivalente a 5 cm, y un espesor de las capas de base y de subbase de 30 cm cada uno, debido al alto tránsito vehicular con un índice medio diario de 11,065 vehículos y efectos del clima que afectan el pavimento flexible, con el fin de brindar un servicio adecuado de transporte y seguridad a los usuarios.
- Se ha encontrado 6 principales actividades que generan 12 impactos ambientales, siendo la generación de los residuos sólidos el de mayor impacto negativo y severo, con un valor de importancia del impacto igual a -48; para lo cual, se planteado un plan de manejo de los residuos sólidos para mitigar los efectos negativos a la salud de los trabajadores y pobladores de la zona; mientras, con mayor impacto positivo resulta la generación temporal de puestos de trabajo que mejoran los ingresos económicos de la zona afectada

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los gobiernos locales, regional y nacional, realizar gestiones ante Provias Nacional del MTC, por tratarse de una vía de red nacional, una intervención inmediata a nivel de mantenimiento correctivo, debido a la presencia de diversas fallas estructurales que afectan el pavimento, que no garantiza una prestación adecuada de los servicios de transitabilidad y seguridad vial a los usuarios, además, de generar impactos ambientales negativos.
- Se recomienda a los distintos niveles de gobierno relacionados al servicio de transporte como local, regional y nacional, actualizar sus planes para las acciones de mantenimiento, reparación y/o rehabilitación que mejoran los pavimentos, y que se fundamenten en evaluaciones técnicas en aspectos superficiales y estructurales de los pavimentos flexibles, con el fin garantizar un adecuado mantenimiento, con información viable.
- Se recomienda para las futuras investigaciones, considerar las condiciones climáticas específicas según la ubicación, con el objeto de evaluar de forma eficiente el estado de conservación del pavimento, así como el diseño de la mezcla de asfalto para la reparación más adecuado, duradero y adaptable a los distintos tipos climáticas.
- Se recomienda para proyectos viales de gran envergadura y de carácter de una vía de red nacional, realizar una valoración cuantitativa de los impactos ambientales identificados, con el fin de alcanzar resultados más precisos, y sean fácilmente identificadas y valoradas en cada proceso de ejecución y operación del proyecto de mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Ali, A., Milad, A., Hussein, A., Yusoff, N., Heneash, U. (2023). Predicting pavement condition index based on the utilization of machine learning techniques: A case study. *Journal of Road Engineering*, 3 (2023) 266–278. <https://doi.org/10.1016/j.jreng.2023.04.002>
- Amado, J. (2015). *Análisis del sistema de reparación de pavimentos flexibles por inyección neumática de mezclas asfálticas en caliente, tecnología velocity patching* [Tesis de investigación, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas]. Repositorio UDISTRAL. <https://repository.udistral.edu.co/handle/11349/3216?show=full>
- Arce, R. (2013). *La evaluación ambiental en la ingeniería civil*. Mundiprensa
- Aracayo, Q. (2022). *Estudio de la condición superficial de transitabilidad del pavimento de la playa “Laguna Temporal” de la Ciudad de Juliaca para su rehabilitación* [Tesis de investigación, Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez]. Repositorio UANCV. <https://www.uancv.edu.pe/sites/default/files/2022-08/RESOLUCION%20N%C2%BA%200553-2022-UANCV-CU-R.pdf>
- Arhin, S., Williams, N., Ribbiso, A., y Anderson, M. (2015). Predicting pavement condition index using international roughness index in a dense urban area. *Department of Civil and Environmental Engineering, Howard University, Washington, D.C., USA. Journal of Civil Engineering Research 2015*, 5(1): 10-17
- Avalos, H., y Haro, M. (2019). *Evaluación del estado funcional del pavimento flexible de la avenida José Quiñones, distrito y provincia de Chiclayo departamento de Lambayeque* [Tesis de investigación. Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio UPLA. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/5930>
- Baque-Solís, B. (2020). Evaluación del estado del pavimento flexible mediante el método del PCI de la carretera puerto-aeropuerto (Tramo II) Manta, Provincia de Manabí, Ecuador. *Dominio de las Ciencias Vol 6, Nª 2*, 203-228. <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i2.1163>

- Cedeño, R. (2019). *Diseño de hormigones reforzados con fibras metálicas para pavimentos; evaluación y comparación estructural con los hormigones utilizados en la carretera Rocafuerte-Tosagua de la provincia de Manabí* [Tesis de investigación, Universidad Laica Eloy Alfaro de Ecuador]. Repositorio ULEAM. <https://repositorio.uleam.edu.ec/>
- Chávez, A., y Peñarreta, L. (2019). *Desarrollo de la correlación entre dos indicadores de la condición de la superficie del pavimento* [Tesis de investigación, Universidad de Cuenca]. Repositorio Cuenca. https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UCUENCA_a9c32255980c59b01641526bceb70471
- Chen X, Wang H. Hydro-mechanical analysis of water-induced pothole patch failure in asphalt pavement. *Construction and Building Materials*. (413) <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134767>
- Chuman, A. (2017). *Reutilización de pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo, 2016* [Tesis de investigación. Universidad Peruana Los Andes]. Repositorio UPLA. <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/267>
- Chura, T. (2022). *Evaluación estructural del estado actual de la vía asfaltada Juliaca – Lampa – Puno con la técnica de la deflectometría para la propuesta de su reparación y mantenimiento* [Tesis de investigación, Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez]. Repositorio UANCV <https://repositorio.uancv.edu.pe/browse/author?scope=fc8fe670-e39d-47d2-a64c-67826b31dc06&bbm.page=4>
- Conesa, V. (2010). *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa Libres, S.A., 4ª edición.
- Cuba, W. (2017). *Evaluación Superficial del Pavimento Flexible Aplicando el Método del PCI en un tramo de la Av. República de Polonia – Distrito de San Juan de Lurigancho* [Tesis de investigación. Universidad de Cesar Vallejo. Lima]. Repositorio UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/18764>

- Cusi, D. (2012). *Estudio de impacto ambiental de la carretera Pumamarca - Abra San Martín del distrito de San Sebastián* [Tesis de maestría en Gestión y Auditorías Ambientales. Universidad de Piura, Perú]. Repositorio UNP <https://pirhua.udep.edu.pe/items/d2e56fb6-6b35-44db-af74-97447d355ade>
- Díaz, J. (2014). Evaluación de la metodología PCI como herramienta para la toma de decisiones en las intervenciones a realizar en los pavimentos flexibles. *Revista universitaria. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.* <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/12102>
- Dueñas, A., Ramírez, V., y Defilippi, M. (2012). Evaluación de impacto ambiental y la industria de la construcción. *Construcción Integral. PUCP, Lima Perú.* <https://acerosarequipa.com/pe/en/constructoras/boletin-construccion-integral/edicion-14/sostenibilidad.html>
- Espinoza, G. (2007). *Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental. Banco Interamericano de Desarrollo – BID. Santiago de Chile, 2007.*
- Garrido, J., y Requena, I. (2014). La Ontología de la Evaluación de Impacto Ambiental y sus Ontologías Breves. *Revista electrónica e5:a6, Universidad de Jaén.* <https://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/ininv/article/view/1745>
- Hernandez, H., y Rosero, V. (2014). *Rehabilitación de pavimentos con mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímeros en la malla vial del municipio de Itagüí.* [Tesis de investigación. Universidad de Medellín, Colombia]. Repositorio UDEM https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/2158/TG_EVT_11.pdf
- Hernández, R. Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación* Sexta edición. México: McGRAW-HILL-Interamericana Editores S.A. de C.V.
- Huilcapi, B., y Pucha, R. (2015). *Análisis comparativo de los métodos de evaluación funcional de pavimentos flexibles en las vías García Moreno y panamericana sur del cantón Colta – provincia de Chimborazo* [Tesis de investigación. Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador]. Repositorio UNCH <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/565>

- Majidzadeh, K., y Brovold, FN. (1966) *Efecto del agua sobre las mezclas bituminosas-áridos*. Florida. <https://trid.trb.org/View/97670>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC. (2023). *Diagnóstico de brechas de infraestructura o de acceso a servicios públicos del sector*. Oficina de Inversiones de la Oficina General de Planeamiento y Presupuesto (OGPP). Lima Perú. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5056238/Diagnostico%20de%20la%20Situaci%C3%B3n%20de%20las%20Brechas%20de%20Infraestructura%20o%20de%20Acceso%20a%20Servicios%20P%C3%ABlicos%20-%20Programaci%C3%B3n%20Multianual%20de%20Inversiones%202025%20-%202027.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2023). Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental <https://www.minam.gob.pe/legislaciones/sistema-nacional-de-evaluacion-de-impacto-ambiental/>
- Morgan, R. K. (2012). Environmental impact assessment: The state of the art. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 30(1) 5–14. <https://doi.org/10.1080/14615517.2012.661557>
- Naseri, H., Aliakbari, A., Javadian, M. A., Aliakbari, A., y Waygood, E. O. D. (2024). A novel technique for multi-objective sustainable decisions for pavement maintenance and rehabilitation. *Case Studies in Construction Materials*, 20, e03037. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03037>
- Núñez, G. (2018). *Propuesta de rehabilitación de pavimento de concreto utilizando sobrecapas de refuerzo en la avenida Todos los Santos de la ciudad de Chota*. [Tesis de investigación, Universidad Nacional de Cajamarca]. RepositorioUNC. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/2541>
- Pinatt, J., Chicati, M., Ildefonso, J., D'arce, C. (2020). Evaluation of pavement condition index by different methods: Case study of Maringá, Brazil. *Journal Elsevier. Transportation Research Interdisciplinary Perspectives* 4. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100100>

- Ruz, O. (2006). *Aplicación en Chile de pavimentos delgados de hormigón* [Tesis de investigación, Universidad de Chile]. Repositorio UCHILE. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104473>
- Shaha, Y., Jain, S., Tiwari, D., Jain, M. (2013). Development of Overall Pavement Condition Index for Urban Road Network. *Journal Elsevier. Procedia - Social and Behavioral Sciences* 104 (2013) 332 – 341 <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.126>
- Shahin, M. Y. (2005). *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots, Second Edition, New York: Springer.*
- Sotil, A. (2016). *Diseño inteligente de pavimentos: Hacia nuestra guía de diseño.* [Tesis de investigación, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio UNSCH. <https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/d2ac31bf-eaf0-4b31-92f1-40cf950df3d0>
- Soto, D. (2017). Análisis y planificación vial del tránsito vehicular en el cercado de la ciudad de Juliaca [Tesis de pre grado, Universidad Peruana Unión]. Repositorio UPEU. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3275967>
- Ticona, E. (2022). *Análisis del estado actual del pavimento flexible utilizando la metodología Pavement Condition Index en la avenida Internacional, Tramo: avenida Manuel Cuadros – calle TA622.* [Tesis de investigación, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna]. Repositorio UNJBG. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3364756?locale=es>
- Vallejos, K. (2016). *Evaluación de impacto ambiental del proyecto vial "carretera Satipo - Mazamari - desvío Pangoa - Puerto Ocopa"* [Tesis de investigación, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima Perú]. Repositorio PUCP <https://core.ac.uk/download/pdf/196532833.pdf>
- Vásquez, L. (2002). Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras. *Revista Manizales: INGEPAV.* <https://sjnavarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2008/08/manual-pci1.pdf>



- Vega, D. (2018). *Diseño de los pavimentos de la carretera de acceso al Nuevo Puerto de Yurimaguas (km 1+000 a 2+000)* [Tesis de investigación, PUCP, Lima Perú].
Repositorio PUCP.
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/12088>
- Xiaochen, H. W. (2024). Hydro-mechanical analysis of water-induced pothole patch failure in asphalt pavement. *Construction and Building Materials*, 413, 134767.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134767>
- Zhang, K., Li, W., y Han, F. (2019). Performance deterioration mechanism and improvement techniques of asphalt mixture in salty and humid environment. *Construction and Building Materials*, 208, 749–757.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.061>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Índices	Instrumentos de Medición
<p>Problema general. ¿Cuáles serán las fallas en pavimento flexible aplicando la metodología Pavement Condition Index en el Tramo del Óvalo Zona Sur Juliaca a Caracoto? y ¿Cuáles son los impactos negativos y positivos durante la etapa de ejecución y operación del proyecto?</p>	<p>Objetivo general. Analizar las fallas en pavimento flexible aplicando la metodología Pavement Condition Index en el Tramo del Óvalo Zona Sur Juliaca a Caracoto y evaluar los impactos negativos y positivos durante la etapa de ejecución del proyecto.</p>	<p>Hipótesis general. Con la aplicación de la metodología Pavement Condition Index en el pavimento flexible del Tramo desde el Óvalo Zona Sur Juliaca hasta Caracoto de la vía Juliaca-Puno, se obtuvo un estado de conservación de regular a deficiente para la circulación de vehículos, y los impactos negativos son mayores a los positivos en la etapa de ejecución del proyecto.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>Método del PCI.</p>	<p>Tipos de fallas.</p> <p>Índice de condición.</p>	<p>clase, severidad y extensión.</p> <p>Determinación del número máximo admisible del valor deducido, cálculo del máximo CDV y determinación del PCI.</p>	
<p>Problemas específicos. ¿Cuáles son los tipos de fallas y el nivel del índice de condición de pavimento flexible aplicando la metodología PCI que afectan el estado de conservación, en el Tramo del Óvalo Zona Sur Juliaca a Caracoto? ¿Cuál es el nivel de mejoramiento del pavimento flexible mediante la carpeta asfáltica en caliente, en el Tramo del Óvalo Zona Sur Juliaca a Caracoto? ¿Cuáles son los impactos negativos y positivos durante la etapa de ejecución y operación del proyecto?</p>	<p>Objetivos específicos Determinar los tipos de fallas y el nivel del índice de condición del pavimento flexible aplicando la metodología Pavement Condition Index del Tramo desde el Óvalo Zona Sur Juliaca hasta Caracoto. Determinar el nivel de mejoramiento del pavimento flexible mediante la mezcla asfáltica en caliente, en el Tramo del Óvalo Zona Sur Juliaca a Caracoto. Analizar los impactos negativos y positivos durante la etapa de ejecución de las actividades del proyecto de mantenimiento.</p>	<p>Hipótesis específicas. La presencia de distintos tipos de fallas en el pavimento flexible del Tramo desde el Óvalo Zona Sur Juliaca hasta Caracoto, conducen al bajo nivel del índice de PCI, presentando deficiencias severas de grado alto. Aplicación de la mezcla asfáltica en caliente, mejora al nivel óptimo en el pavimento flexible del Tramo desde el Óvalo Zona Sur Juliaca hasta Caracoto. En la etapa de ejecución de las actividades de mantenimiento del proyecto en el Tramo del Óvalo Zona Sur Juliaca a Caracoto, los impactos negativos son mayores a los positivos.</p>	<p>Uso de tecnología RC 250 en asfalto</p> <p>Evaluación del Impacto Ambiental</p> <p>Variante Dependiente</p> <p>Evaluación del pavimento flexible.</p>	<p>Aplicación</p> <p>Aspecto físico-químicos.</p> <p>Aspecto Biótico.</p> <p>Aspecto Socioeconómico</p> <p>Evaluación del pavimento flexible.</p>	<p>Aplicación en mezcla asfáltica en caliente (%)</p> <p>Agua. Suelo. Aire.</p> <p>Flora. Fauna.</p> <p>Salud pública. Seguridad. Empleo. Comercio.</p> <p>Ingresos económicos.</p> <p>Malo, Regular, Bueno.</p>	<p>Metodología del PCI y EIA.</p>

Anexo 2. Panel fotográfico

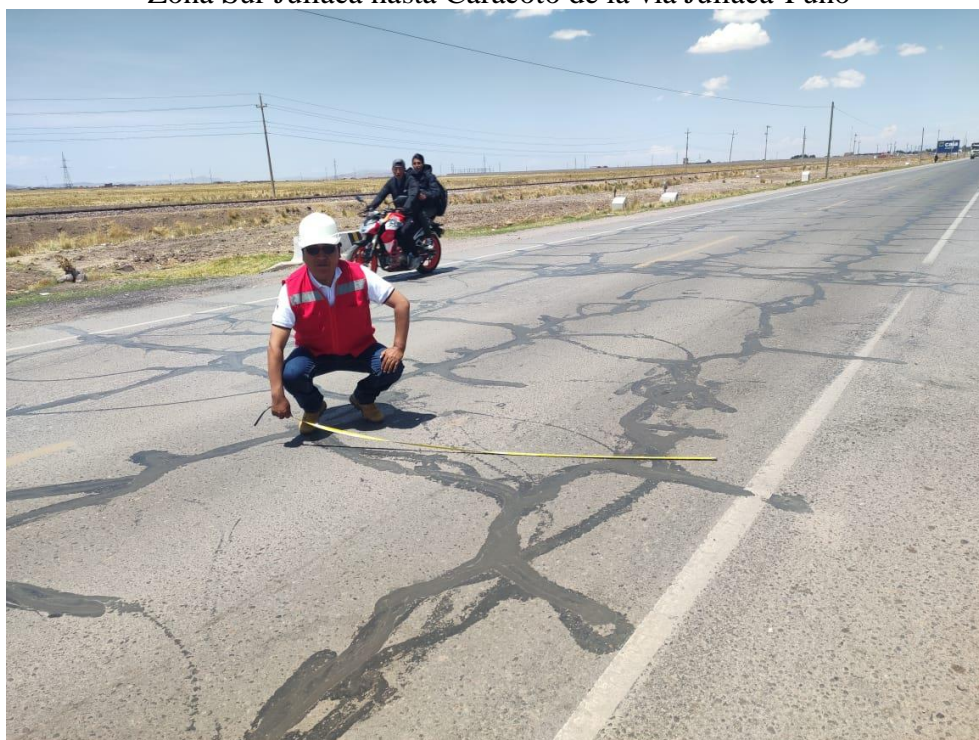
Fotografía 1

Características de las fallas superficiales en el tramo desde el Óvalo Zona Sur Juliaca hasta Caracoto de la vía Juliaca-Puno



Fotografía 2

Características de grietas y fisuras de la superficie asfáltica del tramo desde el Óvalo Zona Sur Juliaca hasta Caracoto de la vía Juliaca-Puno



Fotografía 3

Características de fallas piel de cocodrilo de la superficie asfáltica del tramo desde el Óvalo Zona Sur Juliaca hasta Caracoto de la vía Juliaca-Puno



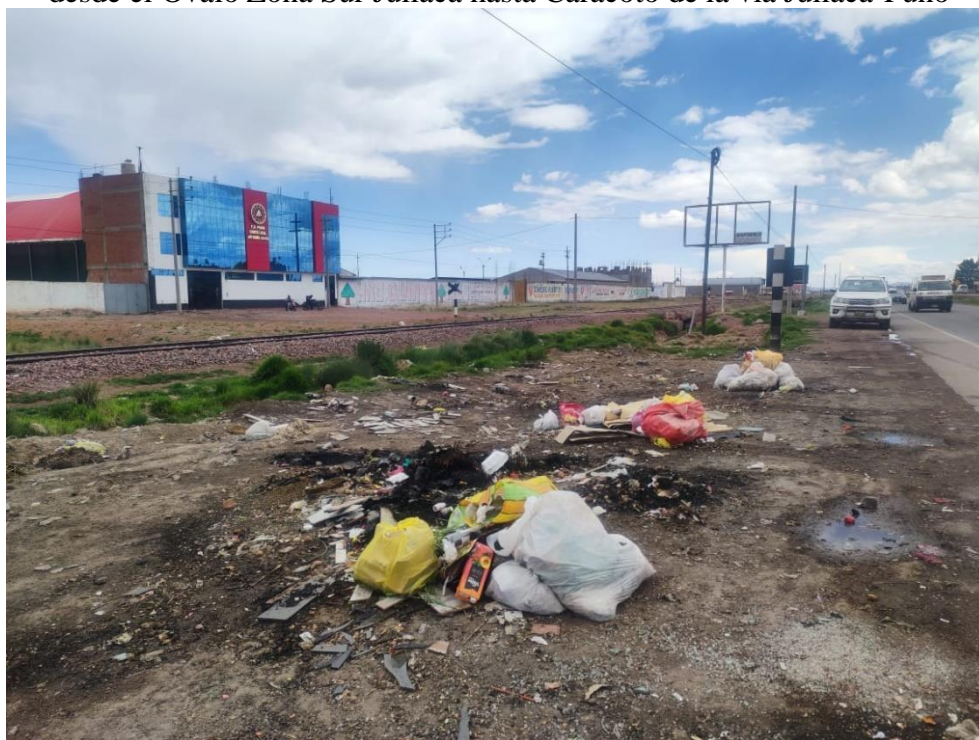
Fotografía 4

Características de pulimiento de agregados y huecos de la superficie asfáltica del tramo desde el Óvalo Zona Sur Juliaca hasta Caracoto de la vía Juliaca-Puno



Fotografía 5

Generacion de residuos sólidos, en la frentera del colegio de Ingenieros ,en el tramo desde el Óvalo Zona Sur Juliaca hasta Caracoto de la vía Juliaca-Puno



Fotografía 6

Vertido de los residuos líquidos y sólidos en las alcantarillas del tramo desde el Óvalo Zona Sur Juliaca hasta Caracoto de la vía Juliaca-Puno



Fotografía 7
Residuos líquidos en las alcantarillas del tramo desde el Óvalo Zona Sur Juliaca hasta
Caracoto de la vía Juliaca-Puno




Fotografía 8
Residuo sólidos por la Institucion Educativa del tramo desde el Óvalo Zona Sur Juliaca
hasta Caracoto de la vía Juliaca-Puno



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO																
ESCUELA DE POSTGRADO																
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE																
HOJA DE REGISTRO DE DATOS DE CAMPO PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO - PCI																
DATOS DE LA UNIDAD DE MUESTREO																
Nombre de la vía		Via Juliaca-Puno (Tramo Ovalo Sur Juliaca - Caracoto)						Ubicación:								
Evaluado por		Jhomar Marcelino Tonconi Quispe														
Progresiva inicial		0+720.00		Tipo de pavimento		Flexible										
Progresiva inicial		0+750.00		Unidad de Muestra		Muestra 03										
Fecha		Noviembre, 2023		Área de Muestra (m2)		318.00										
TIPOS DE FALLAS																
1. Piel de cocodrilo				13. Huecos												
2. Exudación				14. Cruce de vía férrea												
3. Agrietamiento en bloque				15. Ahuellamiento												
4. Abultamiento y hundimiento				16. Desplazamiento												
5. Corrugación				17. Grietas parabólicas o por desplazamiento												
6. Depresión				18. Hinchamiento												
7. Grieta de borde				19. Desprendimiento de agregados												
8. Grieta de reflexión de junta																
9. Desnivel carril/berma				Severidad		Codigo										
10. Grietas longitudinales y transversales				Bajo		B										
11. Parchado y acometida de servicios públicos				Media		M										
12. Pulimiento de agregado				Alta		A										
VALORACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES Y CÁLCULO DE PCI																
Fallas		Severidad		Cantidades Parciales						Total		Densidad	Valor Deducido			
1		A		4.0		4.0		3.0		5.5		16.50		5.19%	54.20	
3		A		4.0		3.0		5.0		3.0		15.00		4.72%	19.00	
7		A		2.0		1.0		1.0				4.00		1.26%	9.80	
10		A		6.0		10.0		5.0				21.00		6.60%	27.50	
11		M		1.5								1.50		0.47%	6.80	
												Total VD			117.30	
Número Máximo Admisible de V.D. (m ³) :															5.21	
Valor deducido más alto (HDV _i) :															54.20	
Nro.		Valores Deducidos						VD Total (VDT)		q	VD Corregido					
1		54.20		27.50		19.00		9.80		6.80		117.30		5	61.50	
2		54.20		27.50		19.00		9.80		2.00		112.50		4	64.20	
3		54.20		27.50		19.00		2.00		2.00		104.70		3	65.50	
4		54.20		27.50		2.00		2.00		2.00		87.70		2	61.80	
5		54.20		2.00		2.00		2.00		2.00		62.20		1	61.50	
														Max. VDC	65.50	
														Índice de Condición del Pavimento (PCI) :		PCI = 100 - (Max. VDC)
																34.50
														Clasificación según el PCI :		MALO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO										
ESCUELA DE POSTGRADO										
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE										
HOJA DE REGISTRO DE DATOS DE CAMPO PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO - PCI										
DATOS DE LA UNIDAD DE MUESTREO										
Nombre de la vía		Via Juliaca-Puno (Tramo Ovalo Sur Juliaca - Caracoto)						Ubicación: 		
Evaluado por		Jhomar Marcelino Tonconi Quispe								
Progresiva inicial		1+620.00		Tipo de pavimento		Flexible				
Progresiva final		1+650.00		Unidad de Muestra		Muestra 04				
Fecha		Noviembre, 2023		Área de Muestra (m2)		318.00				
TIPOS DE FALLAS										
1. Piel de cocodrilo		13. Huecos								
2. Exudación		14. Cruce de vía férrea								
3. Agrietamiento en bloque		15. Ahuellamiento								
4. Abultamiento y hundimiento		16. Desplazamiento								
5. Corrugación		17. Grietas parabólicas o por desplazamiento								
6. Depresión		18. Hinchamiento								
7. Grieta de borde		19. Desprendimiento de agregados								
8. Grieta de reflexión de junta										
9. Desnivel carril/berma				Severidad		Codigo				
10. Grietas longitudinales y transversales				Bajo		B				
11. Parchado y acometida de servicios públicos				Media		M				
12. Pulimiento de agregado				Alta		A				
VALORACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES Y CÁLCULO DE PCI										
Fallas		Severidad		Cantidades Parciales				Total	Densidad	Valor Deducido
1		A		4.0	3.0	3.0		10.00	3.14%	46.80
3		M		6.0	6.0	10.0		22.00	6.92%	13.50
10		A		9.0	10.0	10.0	9.0	38.00	11.95%	37.20
11		M		1.0	1.0			2.00	0.63%	8.50
								Total VD	106.00	
Número Máximo Admisible de V.D. (m ³) :				5.89						
Valor deducido más alto (HDV _i) :				46.80						
Nro.		Valores Deducidos						VD Total (VDT)	q	VD Corregido
1		46.80	37.20	13.50	8.50		106.00	4	60.20	
2		46.80	37.20	13.50	2.00		99.50	3	63.50	
3		46.80	37.20	2.00	2.00		88.00	2	62.60	
4		46.80	2.00	2.00	2.00		52.80	1	52.50	
								Max. VDC	63.50	
								Índice de Condición del Pavimento (PCI) :	PCI = 100 - (Max. VDC) 36.50	
								Clasificación según el PCI :	MALO	

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO												
ESCUELA DE POSTGRADO												
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE												
HOJA DE REGISTRO DE DATOS DE CAMPO PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO - PCI												
DATOS DE LA UNIDAD DE MUESTREO												
Nombre de la vía						Via Juliaca-Puno (Tramo Ovalo Sur Juliaca - Caracoto)			Ubicación: 			
Evaluado por						Jhomar Marcelino Tonconi Quispe						
Progresiva inicial			1+920.00			Tipo de pavimento		Flexible				
Progresiva final			1+950.00			Unidad de Muestra		Muestra 04				
Fecha			Noviembre, 2023			Área de Muestra (m2)		318.00				
TIPOS DE FALLAS												
1. Piel de cocodrilo						13. Huecos						
2. Exudación						14. Cruce de vía férrea						
3. Agrietamiento en bloque						15. Ahuellamiento						
4. Abultamiento y hundimiento						16. Desplazamiento						
5. Corrugación						17. Grietas parabólicas o por desplazamiento						
6. Depresión						18. Hinchamiento						
7. Grieta de borde						19. Desprendimiento de agregados						
8. Grieta de reflexión de junta												
9. Desnivel carril/berma						Severidad		Codigo				
10. Grietas longitudinales y transversales						Bajo		B				
11. Parchado y acometida de servicios públicos						Media		M				
12. Pulimiento de agregado						Alta		A				
VALORACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES Y CÁLCULO DE PCI												
Fallas		Severidad		Cantidades Parciales						Total	Densidad	Valor Deducido
3		A		5.0	8.0	7.0	5.0			25.00	7.86%	25.80
6		M		1.0						1.00	0.31%	8.50
7		A		1.5	1.0					2.50	0.79%	9.20
10		A		10.0	9.0	9.0				28.00	8.81%	31.60
										Total VD		75.10
Número Máximo Admisible de V.D. (m ³) :						7.81						
Valor deducido más alto (HDV _i) :						25.80						
Nro.	Valores Deducidos								VD Total (VDT)	q	VD Corregido	
1	31.60		25.80		9.20	8.50			75.10	4	43.80	
2	31.60		25.80		9.20	2.00			68.60	3	43.80	
3	31.60		25.80		2.00	2.00			61.40	2	46.20	
4	31.60		2.00		2.00	2.00			37.60	1	36.50	
										Max. VDC		46.20
										Índice de Condición del Pavimento (PCI) :		PCI = 100 - (Max. VDC) 53.80
										Clasificación según el PCI :		REGULAR

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO										
ESCUELA DE POSTGRADO										
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE										
HOJA DE REGISTRO DE DATOS DE CAMPO PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO - PCI										
DATOS DE LA UNIDAD DE MUESTREO										
Nombre de la vía	Via Juliaca-Puno (Tramo Ovalo Sur Juliaca - Caracoto)							Ubicación:		
Evaluado por	Jhomar Marcelino Tonconi Quispe									
Progresiva inicial	2+220.00		Tipo de pavimento	Flexible						
Progresiva final	2+250.00		Unidad de Muestra	Muestra 08						
Fecha	Noviembre, 2023		Área de Muestra (m2)	318.00						
TIPOS DE FALLAS										
1. Piel de cocodrilo				13. Huecos						
2. Exudación				14. Cruce de vía férrea						
3. Agrietamiento en bloque				15. Ahuellamiento						
4. Abultamiento y hundimiento				16. Desplazamiento						
5. Corrugación				17. Grietas parabólicas o por desplazamiento						
6. Depresión				18. Hinchamiento						
7. Grieta de borde				19. Desprendimiento de agregados						
8. Grieta de reflexión de junta										
9. Desnivel carril/berma				Severidad	Codigo					
10. Grietas longitudinales y transversales				Bajo	B					
11. Parchado y acometida de servicios públicos				Media	M					
12. Pulimiento de agregado				Alta	A					
VALORACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES Y CÁLCULO DE PCI										
Fallas	Severidad	Cantidades Parciales						Total	Densidad	Valor Deducido
1	M	2.5					2.50	0.79%	19.20	
3	A	5.0	4.0	2.0			11.00	3.46%	16.80	
5	M	2.5	2.0				4.50	1.42%	18.50	
10	A	2.0	1.0	2.0	3.0		8.00	2.52%	15.60	
11	M	4.0	8.0	2.0	1.0		15.00	4.72%	22.40	
12	M	20					20.00	6.29%	2.00	
							Total VD		94.50	
Número Máximo Admisible de V.D. (m ³) :				8.42						
Valor deducido más alto (HDV _i) :				19.20						
Nro.	Valores Deducidos							VD Total (VDT)	q	VD Corregido
1	22.40	19.20	18.50	16.80	15.60	2.00	94.50	6	46.20	
2	22.40	19.20	18.50	16.80	15.60	2.00	94.50	5	48.60	
3	22.40	19.20	18.50	16.80	2.00	2.00	80.90	4	46.80	
4	22.40	19.20	18.50	2.00	2.00	2.00	66.10	3	42.50	
5	22.40	19.20	2.00	2.00	2.00	2.00	49.60	2	36.40	
6	22.40	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	32.40	1	33.50 #	
								Max. VDC	48.60	
								Índice de Condición del Pavimento (PCI) :	PCI = 100 - (Max. VDC)	
									51.40	
								Clasificación según el PCI :	REGULAR	

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO											
ESCUELA DE POSTGRADO											
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE											
HOJA DE REGISTRO DE DATOS DE CAMPO PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO - PCI											
DATOS DE LA UNIDAD DE MUESTREO											
Nombre de la vía	Via Juliaca-Puno (Tramo Ovalo Sur Juliaca - Caracoto)							Ubicación:			
Evaluado por	Jhomar Marcelino Tonconi Quispe										
Progresiva inicial	2+520.00	Tipo de pavimento		Flexible							
Progresiva final	2+550.00	Unidad de Muestra		Muestra 09							
Fecha	Noviembre, 2023		Área de Muestra (m2)		318.00						
TIPOS DE FALLAS											
1. Piel de cocodrilo			13. Huecos								
2. Exudación			14. Cruce de vía férrea								
3. Agrietamiento en bloque			15. Ahuellamiento								
4. Abultamiento y hundimiento			16. Desplazamiento								
5. Corrugación			17. Grietas parabólicas o por desplazamiento								
6. Depresión			18. Hinchamiento								
7. Grieta de borde			19. Desprendimiento de agregados								
8. Grieta de reflexión de junta											
9. Desnivel carril/berma			Severidad		Codigo						
10. Grietas longitudinales y transversales			Bajo		B						
11. Parchado y acometida de servicios públicos			Media		M						
12. Pulimiento de agregado			Alta		A						
VALORACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES Y CÁLCULO DE PCI											
Fallas	Severidad	Cantidades Parciales						Total	Densidad	Valor Deducido	
1	A	5.0	8.0	6.0			19.00	5.97%	55.40		
3	M	5.0	5.0	5.0			15.00	4.72%	10.80		
10	A	6.0	6.0	8.0	8.0	8	36.00	11.32%	36.50		
11	M	4.0					4.00	1.26%	16.20		
13	M	1.0					1.00	0.31%	15.80		
							Total VD		134.70		
Número Máximo Admisible de V.D. (m ³) : 5.10											
Valor deducido más alto (HDV _i) : 55.40											
Nro.	Valores Deducidos						VD Total (VDT)	q	VD Corregido		
1	55.40	36.50	16.20	15.80	10.80		134.70	5	69.80		
2	55.40	36.50	16.20	15.80	2.00		125.90	4	69.80		
3	55.40	36.50	16.20	2.00	2.00		112.10	3	68.20		
4	55.40	36.50	2.00	2.00	2.00		97.90	2	68.00		
5	55.40	2.00	2.00	2.00	2.00		63.40	1	62.80		
								Max. VDC	69.80		
								Índice de Condición del Pavimento (PCI) :	PCI = 100 - (Max. VDC)		
									30.20		
								Clasificación según el PCI :	MALO		

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO										
ESCUELA DE POSTGRADO										
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE										
HOJA DE REGISTRO DE DATOS DE CAMPO PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO - PCI										
DATOS DE LA UNIDAD DE MUESTREO										
Nombre de la vía	Via Juliaca-Puno (Tramo Ovalo Sur Juliaca - Caracoto)							Ubicación:		
Evaluado por	Jhomar Marcelino Tonconi Quispe									
Progresiva inicial	3+120.00		Tipo de pavimento	Flexible						
Progresiva final	3+150.00		Unidad de Muestra	Muestra 11						
Fecha	Noviembre, 2023		Área de Muestra (m2)	318.00						
TIPOS DE FALLAS										
1. Piel de cocodrilo				13. Huecos						
2. Exudación				14. Cruce de vía férrea						
3. Agrietamiento en bloque				15. Ahuellamiento						
4. Abultamiento y hundimiento				16. Desplazamiento						
5. Corrugación				17. Grietas parabólicas o por desplazamiento						
6. Depresión				18. Hinchamiento						
7. Grieta de borde				19. Desprendimiento de agregados						
8. Grieta de reflexión de junta										
9. Desnivel carril/berma				Severidad	Codigo					
10. Grietas longitudinales y transversales				Bajo	B					
11. Parchado y acometida de servicios públicos				Media	M					
12. Pulimiento de agregado				Alta	A					
VALORACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES Y CÁLCULO DE PCI										
Fallas	Severidad	Cantidades Parciales						Total	Densidad	Valor Deducido
1	A	5.0	5.0				10.00	3.14%	46.50	
3	M	4.0	3.0	3.0			10.00	3.14%	8.80	
10	A	5.0	5.0	4.0			14.00	4.40%	20.50	
11	A	1.0					1.00	0.31%	11.20	
12	B	8.0	5.0	7.0	8.0		28.00	8.81%	3.20	
							Total VD		90.20	
Número Máximo Admisible de V.D. (m ³) : 5.91										
Valor deducido más alto (HDV _i) : 46.50										
Nro.	Valores Deducidos						VD Total (VDT)	q	VD Corregido	
1	46.50	20.50	11.20	8.80	3.20		90.20	5	47.80	
2	46.50	20.50	11.20	8.80	2.00		89.00	4	51.50	
3	46.50	20.50	11.20	2.00	2.00		82.20	3	53.60	
4	46.50	20.50	2.00	2.00	2.00		73.00	2	54.10	
5	46.50	2.00	2.00	2.00	2.00		54.50	1	55.50	
								Max. VDC	55.50	
								Índice de Condición del Pavimento (PCI) :	PCI = 100 - (Max. VDC) 44.50	
								Clasificación según el PCI :	REGULAR	

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO										
ESCUELA DE POSTGRADO										
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE										
HOJA DE REGISTRO DE DATOS DE CAMPO PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO - PCI										
DATOS DE LA UNIDAD DE MUESTREO										
Nombre de la vía	Via Juliaca-Puno (Tramo Ovalo Sur Juliaca - Caracoto)						Ubicación:			
Evaluado por	Jhomar Marcelino Tonconi Quispe									
Progresiva inicial	3+420.00		Tipo de pavimento	Flexible						
Progresiva final	3+450.00		Unidad de Muestra	Muestra 12						
Fecha	Noviembre, 2023		Área de Muestra (m2)	318.00						
TIPOS DE FALLAS										
1. Piel de cocodrilo				13. Huecos						
2. Exudación				14. Cruce de vía férrea						
3. Agrietamiento en bloque				15. Ahuellamiento						
4. Abultamiento y hundimiento				16. Desplazamiento						
5. Corrugación				17. Grietas parabólicas o por desplazamiento						
6. Depresión				18. Hinchamiento						
7. Grieta de borde				19. Desprendimiento de agregados						
8. Grieta de reflexión de junta										
9. Desnivel carril/berma				Severidad	Codigo					
10. Grietas longitudinales y transversales				Bajo	B					
11. Parchado y acometida de servicios públicos				Media	M					
12. Pulimiento de agregado				Alta	A					
VALORACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES Y CÁLCULO DE PCI										
Fallas	Severidad	Cantidades Parciales						Total	Densidad	Valor Deducido
1	A	3.0	5.0	3.0				11.00	3.46%	48.20
3	A	6.0	7.0	6.0	7.0			26.00	8.18%	26.80
10	A	8.0	10.0	8.0	10.0			36.00	11.32%	44.50
								Total VD		119.50
Número Máximo Admisible de V.D. (m ³) :				5.76						
Valor deducido más alto (HDV _i) :				48.20						
Nro.	Valores Deducidos						VD Total (VDT)	q	VD Corregido	
1	48.20	44.50	26.80				119.50	3	71.50	
2	48.20	44.50	2.00				94.70	2	67.60	
3	48.20	2.00	2.00				52.20	1	53.20	
								Max. VDC	71.50	
Índice de Condición del Pavimento (PCI) :								PCI = 100 - (Max. VDC)		
								28.50		
Clasificación según el PCI :								MALO		

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO											
ESCUELA DE POSTGRADO											
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE											
HOJA DE REGISTRO DE DATOS DE CAMPO PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO - PCI											
DATOS DE LA UNIDAD DE MUESTREO											
Nombre de la vía	Via Juliaca-Puno (Tramo Ovalo Sur Juliaca - Caracoto)						Ubicación:				
Evaluado por	Jhomar Marcelino Tonconi Quispe										
Progresiva inicial	4+020.00	Tipo de pavimento		Flexible							
Progresiva final	4+050.00	Unidad de Muestra		Muestra 14							
Fecha	Noviembre, 2023		Área de Muestra (m2)		318.00						
TIPOS DE FALLAS											
1. Piel de cocodrilo			13. Huecos								
2. Exudación			14. Cruce de vía férrea								
3. Agrietamiento en bloque			15. Ahuellamiento								
4. Abultamiento y hundimiento			16. Desplazamiento								
5. Corrugación			17. Grietas parabólicas o por desplazamiento								
6. Depresión			18. Hinchamiento								
7. Grieta de borde			19. Desprendimiento de agregados								
8. Grieta de reflexión de junta											
9. Desnivel carril/berma			Severidad		Codigo						
10. Grietas longitudinales y transversales			Bajo		B						
11. Parchado y acometida de servicios públicos			Media		M						
12. Pulimiento de agregado			Alta		A						
VALORACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES Y CÁLCULO DE PCI											
Fallas	Severidad	Cantidades Parciales						Total	Densidad	Valor Deducido	
1	M	2.0					2.00	0.63%	17.60		
3	A	5.0	8.0		5.0	8.0	26.00	8.18%	26.50		
10	A	9.0	10.0		8.0	10.0	37.00	11.64%	34.40		
11	A	1.0	2.0				3.00	0.94%	19.20		
							Total VD		97.70		
Número Máximo Admisible de V.D. (m ³) : 8.57											
Valor deducido más alto (HDV _i) : 17.60											
Nro.	Valores Deducidos						VD Total (VDT)	q	VD Corregido		
1	34.40	26.50	17.60	19.20			97.70	4	55.30		
2	34.40	26.50	17.60	2.00			80.50	3	51.80		
3	34.40	26.50	2.00	2.00			64.90	2	47.80		
4	34.40	2.00	2.00	2.00			40.40	1	40.50		
							Max. VDC		55.30		
							Índice de Condición del Pavimento (PCI) :	PCI = 100 - (Max. VDC)			
								44.70			
							Clasificación según el PCI :	REGULAR			

Anexo 4. Tasa de crecimiento de la población intercensal y del PBI, departamento de Puno**Anexo 3.1***Tasa de crecimiento poblacional intercensal, departamento de Puno*

Años	Población	Tasa de crecimiento anual (%)
1940	548,371	-
1961	686,260	1.10%
1972	776,173	1.10%
1981	890,258	1.50%
1993	1,079,489	1.60%
2007	1,268,441	1.16%
2017	1,172,697	-0.78%
Promedio		0.95%

Anexo 3.2*Tasa de crecimiento del PBI, departamento de Puno*

Años	Producto Bruto Interno (PBI)	Tasa de crecimiento anual (%)
2002	2,800,570	
2003	2,830,070	1.10%
2004	2,907,340	2.70%
2005	3,059,759	5.20%
2006	3,213,929	5.00%
2007	3,448,855	7.30%
2008	3,630,828	5.30%
2009	3,770,438	3.80%
2010	4,058,301	7.60%
2011	4,272,319	5.30%
2012	4,640,675	1.30%
2013	4,976,592	3.20%
2014	5,092,388	6.10%
2015	5,111,821	2.40%
2016	5,445,599	5.30%
2017	5,660,842	2.10%
2018	5,800,199	1.20%
2019	5,882,268	2.70%
Promedio		3.98%

Anexo 5. Correlación estadística entre PCI, presencia de fallas y el grado de severidad alta

Anexo 4.1

Correlación entre PCI y la presencia de fallas

	PCI	Fallas
	1	-0.38572
PCI	-----	(-3.2989)
	-----	[0.0003]
	-0.38572	1
Fallas	(-3.2989)	-----
	[0.0003]	-----

(*)/ Estadístico t-Student

[*]/ Indican los p-valores

Anexo 04.2

Correlación entre PCI y el grado de severidad alta

	PCI	Severidad_alta
	1	-0.52325
PCI	-----	(-2.1801)
	-----	[0.0426]
	-0.52325	1
Severidad_alta	(-2.1801)	-----
	[0.0426]	-----

(*)/ Estadístico t-Student

[*]/ Indican los p-valores

Anexo 6. Formato de tráfico vehicular

Formato del tráfico vehicular

Tramo		Óvalo zona sur Juliaca - Caracoto					Ubicación					
Código Estación							Sentido		E	S		
Estación							Dia					
Hora	Sentido	Auto Móvil	Camioneta PICK-UP	Cam. Rural	Micro	Bus	Camión				Total	%
							2E	3E	4E	Articulado		
0:00-1:00	E											
	S											
1:00-2:00	E											
	S											
1:00-2:00	E											
	S											
2:00-3:00	E											
	E											
3:00-4:00	S											
	E											
4:00-5:00	S											
	E											
5:00-6:00	E											
	S											
6:00-7:00	E											
	S											
7:00-8:00	E											
	E											
8:00-9:00	S											
	E											
9:00-10:00	S											
	E											
11:00-12:00	E											
	S											
12:00-13:00	E											
	S											
13:00-14:00	E											
	E											
14:00-15:00	S											
	E											
15:00-16:00	S											
	E											
16:00-17:00	E											
	S											
17:00-18:00	E											
	S											
18:00-19:00	E											
	E											
19:00-20:00	S											
	E											
21:00-22:00	S											
	E											
22:00-23:00	E											
	S											
23:00-24:00	E											
	S											
Total Entrada												
Total Salida												
Total General												
%												

Anexo 7. Identificación e inventario de impactos ambientales

Identificación e inventario de impactos ambientales

Sistemas Ambientales	Factores Ambientales	Acciones del Proyecto					Valor Absoluto
		1	2	3	4	5	
Medio Físico	Agua						
	Clima						
	Aire						
	Suelo						
Medio Biológico	Paisaje						
	Flora						
	Fauna						
Medio Socioeconómico	Salud pública						
	Seguridad						
	Empleo						
	Comercio						
	Población Económico						
Numero de impacto							
Total							

Nota. Conesa (2010).

Anexo 8. Análisis de costos unitarios para la reparación de la superficie del pavimento

Partida	01.01 (010101030302-1201001-01)	LIMPIEZA GENERAL	Costo unitario directo por: km			S/ 269.22
Código	Descripción		Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra						
0101010002	CAPATAZ		hh	0.1600	16.47	2.64
0101010005	PEÓN		hh	1.6000	14.85	23.76
						26.40
Materiales						
0293010001	BOLSA PARA BASURA		und	6.0000	0.58	3.48
						3.48
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo	1.0000	1.32	1.32
0301140006	COMPRESORA NEUMATICA		hm	1.6000	90.00	144.00
03012200070001	CAMION BARANDA (4TN)		hm	1.6000	58.76	94.02
						239.34
Partida	01.02 (010304030102-1201001-01)	REMOCIÓN DE PAVIMENTO FLEXIBLE	Costo unitario directo por: m2			S/ 1.13
Código	Descripción recurso		Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra						
0101010003	OPERARIO		hh	0.0023	20.10	0.05
0101010005	PEÓN		hh	0.0023	14.85	0.03
						0.08
Equipos						
0301220004	CAMION VOLQUETE		%mo	0.0011	150.00	0.17
0301330008	FRESADORA DE PAVIMENTO 200HP		hm	0.0011	800.00	0.88
						1.05
Partida	01.03 (010304030502-1201001-01)	PARCHADO SUPERFICIAL EN PAVIMENTOS ASFALTICO	Costo unitario directo por: m2			S/ 606.43
Código	Descripción recurso		Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra						
0101010002	CAPATAZ		hh	0.0054	16.47	0.09
0101010003	OPERARIO		hh	0.0080	20.10	0.16
0101010004	OFICIAL		hh	0.0054	16.47	0.09
0101010005	PEÓN		hh	0.0404	14.85	0.60
						0.94
Materiales						
0201050002	EMULSION ASFALTICA		gal	0.0570	8.52	0.49
0201050005	MEZCLA ASFALTICA		m3	1.2000	503.00	603.60
						604.09
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo	1.0000	0.02	0.02



03011900020002	RODILLO VIBRATORIO DYNAPAC LISO CA-25	hm	0.0040	120.00	0.48
0301220008	CAMION IMPRIMADOR	hm	0.0014	150.00	0.21
0301390001	PAVIMENTADORA SOBRE LLANTAS	hm	0.0040	130.00	0.52
03013900050001	BARREDORA MECANICA 10-20 HP 7 P.LONG	hm	0.0014	120.00	0.17
					1.40

Partida	01.04 (010303020102- 1201001-01)	TRATAMIENTO DE FISURAS		Costo unitario directo por: m2		S/ 5.47
Código	Descripción recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.0074	16.47	0.12	
0101010003	OPERARIO	hh	0.0148	20.10	0.30	
0101010005	PEÓN	hh	0.0593	14.85	0.88	
					1.30	
Materiales						
0201050002	EMULSION ASFALTICA	gal	0.0570	8.52	0.49	
02070200010001	ARENA FINA	m3	0.0100	58.56	0.59	
0276020077	DISCO PARA RUTEADORA DE FISURAS	und	0.0020	194.32	0.39	
					1.46	
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo	1.0000	0.04	0.04	
0301140006	COMPRESORA NEUMATICA	hm	0.0148	90.00	1.33	
0301220007	CAMION BARANDA	hm	0.0148	58.76	0.87	
03012900030002	MEZCLADORA DE TROMPO 9 P3 (8 HP)	hm	0.0148	14.69	0.22	
0301290004	RUTEADORA PARA FISURAS	hm	0.0148	16.48	0.24	
					2.70	

Partida	01.05 (010304020702- 1201001-01)	SELLO ASFALTICO		Costo unitario directo por: m2		S/ 6.04
Código	Descripción recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de obra						
0101010003	OPERARIO	hh	0.0011	20.10	0.02	
0101010004	OFICIAL	hh	0.0011	16.47	0.02	
0101010005	PEÓN	hh	0.0114	14.85	0.17	
					0.21	
Materiales						
0201050002	EMULSION ASFALTICA	gal	0.5	8.52	4.26	
02070200010001	ARENA FINA	m3	0.02	58.56	1.17	
					5.43	
Equipos						
301100004	RODILLO NEUMATICO	hm	0.0011	115.00	0.13	
301140006	COMPRESORA NEUMATICA	hm	0.0011	90.00	0.10	
301220008	CAMION IMPRIMADOR	hm	0.0011	150.00	0.17	
					0.40	

Partida	01.06 (010304020101-1201001-01)	RIEGO DE LIGA	Costo unitario directo por: m2			S/ 30.65
Código	Descripción recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.0005	16.47	0.01	
0101010004	OFICIAL	hh	0.0040	16.47	0.07	
0101010005	PEÓN	hh	0.0040	14.85	0.06	
					0.14	
Materiales						
0201050002	EMULSIÓN ASFÁLTICA	gal	0.2000	8.52	1.70	
02901300210004	AGUA	gal	0.1000	5.00	0.50	
					2.20	
Equipos						
301140006	COMPRESORA NEUMÁTICA	hm	0.0020	90.00	0.18	
0301220008	CAMIÓN IMPRIMADOR	hm	0.1875	150.00	28.13	
					28.31	
Partida	01.07 (010304020302-1201001-01)	RECAPADO ASFÁLTICO EN CALIENTE	Costo unitario directo por: m3			S/ 624.16
Código	Descripción recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.0400	16.47	0.66	
0101010003	OPERARIO	hh	0.0400	20.10	0.80	
0101010004	OFICIAL	hh	0.0400	16.47	0.66	
0101010005	PEÓN	hh	0.2400	14.85	3.56	
					5.69	
Materiales						
0201050005	MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE	m3	1.2000	503.00	603.60	
					603.60	
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo	1.0000	0.28	0.28	
0301100004	RODILLO NEUMÁTICO	hm	0.0400	115.00	4.60	
0301100005	RODILLO TANDEM	hm	0.0400	120.00	4.80	
0301390001	PAVIMENTADORA SOBRE LLANTAS	hm	0.0400	130.00	5.20	
					14.88	
Partida	01.08 (010305010401-1201001-01)	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFÁLTICA MAYOR DE 1 km	Costo unitario directo por: m3k			S/ 360.00
Código	Descripción recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Materiales						
0203030002	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFÁLTICA	m3k	1.2000	300.00	360.00	
					360.00	
Partida	01.09 (010708000001-1201001-01)	MARCAS EN EL PAVIMENTO	Costo unitario directo por: m			S/ 3.35
Rendimiento						



Código	Descripción recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
0101010004	OFICIAL	hh	0.0182	16.47	0.30
0101010005	PEÓN	hh	0.1455	14.85	2.16
					2.46
Materiales					
0240070003	PINTURA DE TRAFICO	gal	0.0120	44.50	0.53
0240080017	DISOLVENTE XILCL	gal	0.0050	37.85	0.19
					0.72
Equipos					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo	1.0000	0.12	0.12
03014800020002	BROCHA DE NYLON 3"	und	0.0069	7.20	0.05
					0.17
Partida	01.10 (010304030203-1201001-01)	REPOSICIÓN DE SEÑALES PREVENTIVAS			
Código	Descripción recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	16.47	1.65
0101010005	PEÓN	hh	3.0000	14.85	44.55
					46.20
Materiales					
02901300090004	TRAPO INDUSTRIAL	kg	0.0200	4.31	0.09
0290130019	DETERGENTE	und	0.1000	5.36	0.54
02901300210004	AGUA	l	5.0000	5	25.00
					25.63
Equipos					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo	1.0000	1.39	1.39
					1.39



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo THOMAS MARCELINO TONCONI QUISEPIS,
identificado con DNI 42109544 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"ANÁLISIS DE LAS FALLAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE, APLICANDO LA
METODOLOGÍA PAVIMENT CONDITION INDEX Y EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL
DEL PROYECTO: TRAMO DEL ÓVALO ZONA SUR, JULIACA A CARACOTO, 2023"

Es un tema original.


Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 20 de JUNIO del 20 24


FIRMA (obligatoria)



Huella



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo JHOMAR MARCELYNO TONCONI QUISPES,
identificado con DNI 42109544 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"ANÁLISIS DE LAS FALLAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE, APLICANDO LA
METODOLOGÍA PAVEMENT CONDITION INDEX Y EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL
DEL PROYECTO: TRAMO DEL ÓVALO ZONA SUR JULIACA A CARACOTO, 2023 "

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 20 de JUNIO del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella