



ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN VIAL MEDIANTE INNOVACIÓN DE LA EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE TRAMO CAMIRI – BOYUIBE

ROAD CONSERVATION STRATEGIES THROUGH INNOVATION OF THE SURFACE EVALUATION OF THE FLEXIBLE PAVEMENT SECTION CAMIRI – BOYUIBE

MSc. Ing. Pablo Aguilar Gómez ^{1 * §}
<https://orcid.org/0009-0007-4916-8663>

DOI: <https://doi.org/10.70722/qkrr6116rc37r>
Recibido: Mayo 8, 2025; Aceptado: Septiembre 18, 2025

RESUMEN

El trabajo desarrollado, presentara una propuesta de evaluación para medir la condición superficial de pavimentos, en las carreteras basada en una modificación del método VIZIR y PCI, con el propósito de formular alternativas de mantenimiento para la ampliación de vida útil del pavimento.

El pavimento flexible suele tener una serie de fallas estructurales y superficiales, que independientemente de los trabajos de mantenimiento ejecutados en la vía se ha podido ver muchos procesos inadecuados y deficientes ya sea por el material empleado, mal procedimiento y diseño del pavimento sin cumplir los estándares de calidad que estos requieren, desde una investigación exploratoria se realizará un levantamiento preciso de la información empleando un inventario vial, registrándose las condiciones actuales de la vía, se realizará conteos vehiculares para establecer el volumen y composición vehicular, a fin que la propuesta denominada ESPF (Evaluación Superficial Del Pavimento Flexible), en donde no se excluye ningún tipo de manifestación de daños en el pavimento de la vía, considerando que este es un indicador del estado del pavimento de la vía, mismo que debe utilizarse para la toma de decisiones.

Palabras claves: Innovación, Daños, Evaluación superficial, Índice de condición del pavimento (PCI).

ABSTRACT

The work developed will present an evaluation proposal to measure the surface condition of pavements on roads based on a modification of the VIZIR and PCI method, with the purpose of formulating maintenance alternatives to extend the useful life of the pavement.

The flexible pavement usually has a series of structural and superficial flaws, which regardless of the maintenance work carried out on the road, many inadequate and deficient processes have been seen, either due to the material used, poor procedure and design of the pavement without meeting the standards of quality that these require, from an exploratory investigation, a precise survey of the information will be carried out using a road inventory, recording the current conditions of the road, vehicle counts will be carried out to establish the volume and vehicle composition, so that the proposal called ESPF (Superficial Evaluation of Flexible Pavement), where any type of manifestation of damage to the road pavement is not excluded, considering that this is an indicator of the state of the road pavement, which should be used for decision making.

Keywords: Innovation, Damage, Surface evaluation, Pavement Condition Index (PCI).



Citación: Pablo Aguilar G., **ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN VIAL MEDIANTE INNOVACIÓN DE LA EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE TRAMO CAMIRI - BOYUIBE**. Revista Científica EMINENTE 2025, 9-1: 13-25.

¹ Ingeniero Civil - Gestión y tecnología para la construcción – Administradora Boliviana de Carreteras

* Corresponde al Autor (correo electrónico: palincho1@gmail.com).

§ Dirección de contacto Investigador: Urb. Jardín del Sur C/Los Lirios Nro. 18 - Telf.: (+591) 76602817 – Santa Cruz – Bolivia.



INTRODUCCIÓN

La investigación realizada presenta una propuesta para la evaluación de la condición superficial de pavimentos, en carreteras, basado en una modificación del método VIZIR y PCI que no es muy difundido en nuestro medio, como ocurre en otros países de Europa, África, América Central y del Sur, donde sirvió de base para el establecimiento de normas nacionales.

Se presenta una alternativa para la evaluación de la condición superficial de pavimentos flexibles en la red vial fundamental, denominado ESPF (Evaluación Superficial del Pavimento Flexible), en donde no se excluye ningún tipo de manifestación de daños en el pavimento de la vía, considerando que este es un indicador del estado del pavimento de la vía y debe utilizarse para la toma de decisiones.

La Administradora Boliviana de Carreteras, como parte de su política de mantenimiento y conservación de la Red Vial Nacional, ejecuta trabajos de mantenimiento de las carreteras en la red vial fundamental. Por ende, se ve la necesidad de proponer un procedimiento y metodología para la evaluación de pavimentos en carreteras con similares condiciones, usando imágenes que manifiestan los diversos tipos de deterioros que caracterizan a este tipo de pavimento y permitirá formular estrategias de intervención objetivas y técnicamente sustentadas.

En las vías de la red vial fundamental RVF, se carecen de métodos adecuados que permitan orientar la evaluación y determinar las necesidades de mantenimiento y reparación en función de la condición del pavimento flexibles del tramo. Esta investigación propondrá un nuevo método con base en el VIZIR y PCI en el tramo Camiri, - Boyuibe, para su empleo e implementación de políticas de trabajo, en base a estudios de investigación que contribuyan a la conservación vial y optimicen los recursos económicos.

Pavimento

Son pavimentos formados por una sub base y/o una base hidráulica o estabilizada y una superficie o capa portante, como se muestra en la Figura 1, que puede ser: capa de mezcla bituminosa en frío o in situ o en caliente Mezcla en fábrica, también conocido como hormigón asfáltico, e incluso sella el riego en la superficie de la carpeta.

Las fallas estructurales son defectos en la superficie de la calzada debido a la estructura del pavimento, para este tipo de imperfecciones se debe reforzar sobre el pavimento existente para satisfacer las necesidades del

tránsito actual y futuro.

Figura 1. Sección típica de un pavimento flexible datos



Fuente: Construneic, 2022

La evaluación de pavimentos se describe como una serie de actividades realizadas para determinar las condiciones estructurales y funcionales de un pavimento. Este es un aspecto que ha cobrado mucha importancia en la tecnología de pavimentos, que parte desde la ejecución de la obra, ejecución y durante todo el ciclo de vida pasando por la operación periódica del comportamiento del pavimento, investigando la evolución en el tiempo y en el espacio, desde los daños, la capacidad estructural, la calidad de rodadura, la seguridad, los costos asociados al mantenimiento y operación de los pavimentos viales, por lo tanto tienen un papel importante en la implementación de un sistema de gestión de pavimentos.

Figura 2. Factores de Evaluación del Pavimento Flexible



Fuente: Elaboración propia

Métodos de evaluación superficial de la carretera, es un

proceso que determina la condición funcional y estructural de las carreteras. Los métodos para realizar investigaciones de este tipo se basan en medir o comprobar la presencia de defectos que aparecen en la superficie de las vías. Las causas de los defectos se encuentran en una serie de factores como el tráfico, el clima, los procesos de construcción, las propiedades de los materiales, que actúan individualmente o en conjunto.

Índice de condición del pavimento PCI, es un indicador numérico que evalúa el estado de la superficie de la calzada y proporciona una medida del estado actual de la calzada en función de las imperfecciones observadas en su superficie.

El monitoreo constante del PCI se usa para encontrar la tasa de degradación del pavimento, lo que permite la identificación temprana de la necesidad de una rehabilitación importante. El PCI proporciona información sobre el comportamiento del pavimento para su validación. Mejorar las prácticas de diseño y mantenimiento existentes. Este método fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. Desarrollado originalmente para pavimentos de aeropuertos, luego se expandió a pavimentos de asfalto y caminos, senderos y estacionamientos de concreto de cemento Portland (simples y reforzados).

El daño estructural de la capa de rodadura dependerá del tipo de daño, su severidad y su cantidad o densidad. La formulación de un índice que tenga en cuenta los tres factores mencionados resultó problemática debido al gran número de condiciones posibles. Para superar esta dificultad, se introdujeron "valores derivados" como un factor de ponderación arquetípico para indicar el grado de impacto de cada combinación de clase de daño, severidad y densidad en la condición del pavimento.

Tabla 1. Calificación de la condición del Pavimento PCI

RANGO CLASIFICACIÓN	
100-85	Excelente
85-70	Muy Bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-10	Muy Malo
10-0	Fallado

Fuente: INGENIEROS SRL, 2014

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0) para un valor defectuoso o en mal estado hasta cien (100) para un valor en buen estado.

Inspección visual de daños en carreteras (VIZIR). El método "Visión Inspection of Zones et Itinéraires Á Risque" (VIZIR) fue desarrollado en Francia desde los años 60 para pavimentos flexibles, también publicado por el laboratorio central de puentes y carreteras "Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC)", esta metodología fue probado por primera vez en los continentes de Asia y África, que son bien conocidos en otros países; Sin embargo, en nuestro medio no está muy extendido.

Identificación de los deterioros con el método VIZIR.

El uso de este método es muy importante para identificar fallas existentes en el firme de la vía, analizar su gravedad y posibles formas de corregirlas, por lo que se ha creado un sistema de auscultación que permite, a través de muestreos, reconocer fallas existentes y caracterizar la parte que se está estudiando.

Degradación tipo A.

Son las fallas que caracterizan una deficiencia estructural del pavimento, relacionadas a los estados de las distintas capas y el suelo de subrasante, o simplemente a las capas asfálticas, entre ellas se encuentran deformaciones y fisuración por fatiga.

Tabla 2. Degradación del Tipo A

NOMBRE DEL DETERIORO	CÓDIGO	UNIDAD DE MEDIDA
Ahuellamiento	AH	m
Depresiones o hundimientos longitudinales	DL	m
Depresiones o hundimientos transversales	DT	m
Fisuras longitudinales por fatiga	FLF	m
Fisuras piel de cocodrilo	FPC	m
Bacheos y zanjas reparadas	BZR	m

Fuente: Elaboración propia

Degradación tipo B

Son funcionales, por lo que la reparación no está relacionada con la capacidad estructural del pavimento. El origen de este último tipo de degradación está relacionado con la mala calidad de algunos procedimientos constructivos y condiciones de servicio locales, así como con la evolución de los materiales.

Tabla 3. Degradación Tipo B

NOMBRE DEL DETERIORO	CÓDIGO	UNIDAD DE MEDIDA
Fisura longitudinal de junta de construcción	FLJ	m
Fisura transversal de junta de construcción	FTJ	m
Fisuras de contracción térmica	FCT	m
Fisuras parabólicas	FP	m
Fisura de borde	FB	m

Huecos	H	und
Desplazamiento o abultamiento o ahuellamiento de la mezcla	DM	m
Pérdida de la película ligante	PL	m
Pérdida de agregados	PA	m
Descascaramiento	D	m ²
Pulimento de agregados	PU	m
Exudación	EX	m
Afloramiento de mortero	AM	m
Afloramiento de agua	AA	m
Desintegración de los bordes del pavimento	DB	m
Escalonamiento entre calzada y berma	ECB	m
Erosión de las bermas	EB	m
Segregación	S	m

Fuente: Elaboración propia

La primera observación de degradación debe corregirse de acuerdo con la extensión y severidad de las alteraciones a la estructura del pavimento que se encontraron en la sección de análisis. Esta corrección puede dar lugar a un aumento de Is. La Tabla 4 identifica tres situaciones generales basadas en el índice de desgaste superficial (Is) con respecto a la capacidad portante probable de un pavimento al momento de aplicar la evaluación.

Tabla 4. Calificación del Estado de la Superficie del Pavimento VIZIR

INTERVALO DE IS	ESTADO DE SUPERFICIE
1-2	Bueno
3-4	Regular
5-7	Malo

Fuente: Nacional, 2008

Valores del “Is” de 1 y 2: Representan pavimentos con fisuras y deformaciones mínimas, que presentan un buen aspecto general y que, probablemente, no requieran en el momento más que acciones de mantenimiento rutinario.

Valores del “Is” 3 y 4: Representan pavimentos con fisuramientos de origen estructural y pocas o ninguna deformación, así como pavimentos con capa de rodadura sin fisuramientos, pero con deformaciones con poca importancia. Su estado superficial de rodadura se considera regular y lo suficientemente degradado como para planificar tratamientos de rehabilitación de mediana intensidad.

Valores del “Is” 5, 6 y 7: Son indicativos de pavimentos con abundantes fisuramientos y deformaciones de origen estructural, cuyo deficiente estado superficial

posiblemente exija la ejecución de trabajos importantes de rehabilitación.

OBJETIVO GENERAL

Proponer un nuevo método innovador para la evaluación superficial del pavimento flexibles en la Red Vial Fundamental del tramo Camiri - Boyuibe, modificando el método VIZIR a fin de tomar decisiones para las actividades de conservación vial de carreteras.

METODOLOGÍA

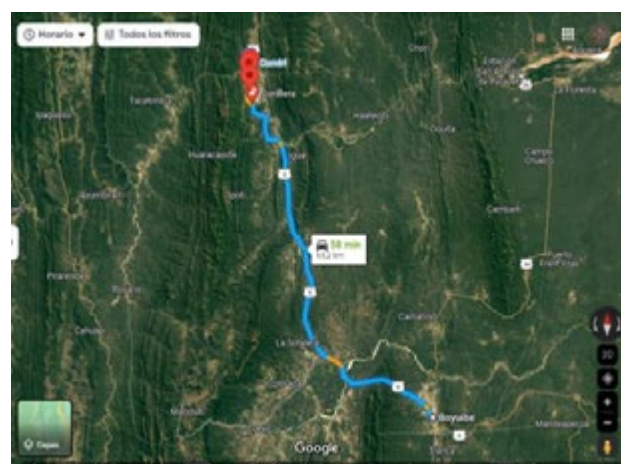
El tipo de investigación es secundaria y aplicada proponiendo desde la metodología existente VIZIR, nuevos y mejores procedimiento sistemático y adaptado para la evaluación superficial del pavimento en la RVF en el tramo “Camiri - Boyuibe”, que tendrá los siguientes niveles de investigación:

Exploratorio.- Se realizará levantamiento de información empleando un inventario vial, registrándose las condiciones actuales de la vía, se realizará conteos vehiculares para establecer el volumen y composición vehicular.

Descriptivo.- Definiremos nuestro modelo propuesto de ESPF, donde se indica la reducción de los costos de operación vehicular y conservación vial.

Explicativo.- Se aclarará la aplicación del modelo ESPF gestión de conservación vial, que permitirá el ahorro en los costos de operación y conservación vial.

Figura 3. Ubicación CAMIRI-BOYUIBE



Fuente: Elaboración propia, 2024

El área de estudio seleccionada para la aplicación de diversos métodos de evaluación de superficies pertenece

al tramo carretero en la RVF0006 Camiri - Boyuibe, la cual se encuentra ubicada en el departamento de Santa Cruz, en la provincia de Cordillera, la carretera seleccionada atraviesa varios tipos de topografía, condiciones climáticas y estructurales.

El tramo vial de estudio tiene su identificación como SC 03-2, con L= 64,05 km., forma parte de la Red Vial Fundamental 0006, se encuentra ubicado en el departamento de Santa Cruz, atravesando las Provincias Cordillera; en su trayecto atraviesa los municipios de Camiri, Boyuibe presenta una topografía plana, ondulada y montañosa en la zona de cumbre de muela del diablo y alto Camiri sobre la RVF-0006 a los y a los 20°27'5.86"S de Latitud Sur y 63°16'43.55"O de Longitud Oeste en Boyuibe (Fin).

Planilla de campo para determinación del PCI, ASTM6433

La fase inicial del trabajo de campo corresponde a la identificación de las fallas teniendo en cuenta la clase, tipo, severidad y extensión de los mismos. Esta información se registra en formatos adecuados para tal fin. Las Figura Nro. 4 ilustran los formatos para la inspección de pavimentos asfálticos, dicha figura es ilustrativa y en la práctica debe proveerse el espacio necesario para consignar toda la información pertinente.

Figura 4. Planilla de Registro para el Índice de Condición del Pavimento PCI.

El formulario de registro de la condición del pavimento (PCI) según la norma ASTM D6433, se divide en varias secciones:

- Encabezado:** Incluye el título "PLANTILLA REGISTRO DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO - CARPETA ASFÁLTICA, NORMA ASTM D6433" y campos para el tramo, sección, longitud y estado de deterioro.
- Descripción de la muestra:** Campos para el tipo de unidad, inicio y final de la muestra, y el área de la muestra.
- Tabla de daños:** Una tabla con 10 columnas (Nº, DAÑO, UNO, Nº, DAÑO, UNO, Nº, DAÑO, UNO, Nº) para registrar los tipos y cantidades de daños observados.
- Tabla de deducción de puntos:** Una tabla con 5 columnas (Nº, VALORES DEDUCCIONES "DV", TOTAL, "N", CDV, CNA) para calcular la deducción de puntos basándose en la severidad y extensión de los daños.
- Resultado final:** Campos para el resultado del PCI, el estado de deterioro y la calificación final.

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras

Tabla 5. Resultados del Método PCI ASTM 6433, Prog. 770+989 al 835+039

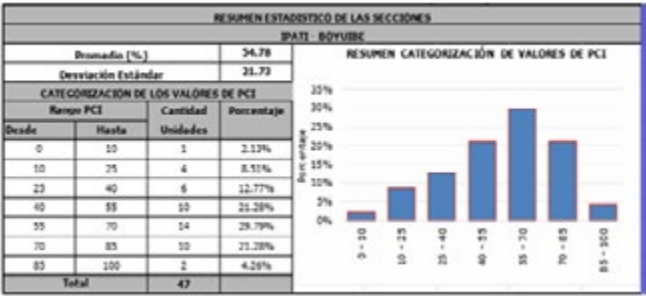
ID Unidad	PROGRESIVAS		longitud	PCI calculado	Estado de Deterioro
Muestral	Inicio	Final	m		
U-1	770+989	771+024	35	59	BUENO
U-2	773+054	773+089	35	82,3	MUY BUENO
U-3	775+119	775+154	35	69,3	BUENO
U-4	777+184	777+219	35	79,3	MUY BUENO
U-5	779+249	779+284	35	24,1	MUY MALO
U-6	781+314	781+349	35	57,8	BUENO
U-7	783+379	783+414	35	53,1	REGULAR
U-8	785+444	785+479	35	65,6	BUENO
U-9	787+509	787+544	35	86,8	EXCELENTE
U-10	789+574	789+609	35	80,9	MUY BUENO
U-11	791+639	791+674	35	63,7	BUENO
U-12	793+704	793+739	35	80,7	MUY BUENO
U-13	795+769	795+804	35	12,6	MUY MALO
U-14	797+834	797+869	35	73,2	MUY BUENO
U-15	799+899	799+934	35	59,3	BUENO
U-16	801+964	801+999	35	56,4	BUENO
U-17	804+029	804+064	35	64,3	BUENO
U-18	806+094	806+129	35	43,1	REGULAR
U-19	808+159	808+194	35	72,6	MUY BUENO
U-20	810+224	810+259	35	52,6	REGULAR
U-21	812+289	812+324	35	62,3	BUENO
U-22	814+354	814+389	35	12,5	MUY MALO
U-23	816+419	816+454	35	74,7	MUY BUENO
U-24	818+484	818+519	35	78,8	MUY BUENO
U-25	820+549	820+584	35	55,7	BUENO
U-26	822+614	822+649	35	55,7	BUENO
U-27	824+679	824+714	35	33,1	MALO
U-28	826+744	826+779	35	81,8	MUY BUENO
U-29	828+809	828+844	35	61,3	BUENO
U-30	830+874	830+909	35	36,2	MALO
U-31	832+939	832+974	35	100	EXCELENTE
U-32	835+004	835+039	35	30,5	MALO
RESULTADO:				59,98	REGULAR

Fuente: Elaboración propia

Evaluación del método PCI ASTM 6433, Prog. 770+989 al 835+039.

A continuación, se presentan la siguiente tabla Nro. 11 y figura Nro. 24 con los resultados obtenidos del PCI a lo largo de la carretera 770+989 (Camiri) a 835+039 (Boyuibe), para cada unidad de muestra analizada del tramo Camiri - Boyuibe. Este proceso de datos se realizó unidad por unidad U-1 a la U-32.

Figura 5. Resumen Estadístico del PCI tramo 770+989 al 835+039.



Fuente: Elaboración propia

Procedimientos, métodos y estructura de análisis

Para poder llevar a cabo el trabajo según los requerimientos necesarios se deben realizar las siguientes actividades para lograr los objetivos estimados, estas actividades se dividen en 4 pasos y son los siguientes:

- Reunir la información
- Visita y trabajo de campo.
- Análisis de los datos.
- Informe final

Resultado del análisis de los tres métodos

La comparación de métodos se lo realizo para el tramo Camiri a Boyuibe, cuyos resultados fueron los siguientes de la tabla siguiente:

- Índice de Condición del Pavimento (PCI) ASTM 6433.
- “Visión Inspection de Zones et Itinéraires Á Risque” (VIZIR)
- Evaluación Superficial del pavimento flexible (ESPF)

Tabla 6. Comparación de Resultados mediante los métodos del PCI, VIZIR, y ESPF

SECCIÓN	ID Unidad	PROGRESIVAS		longitud	Tipo de Método					
	Muestral	Inicio	Final	m	PCI	Estado de Deterioro	VIZIR "Is"	Estado de Deterioro	ESPF "Is"	Estado de Deterioro
C A M I R I B O Y U I	U-1	770+989	771+024	35	59	BUENO	2,00	BUENO	4,00	REGULAR
	U-2	773+054	773+089	35	82,3	MUYBUENO	1,00	BUENO	3,00	REGULAR
	U-3	775+119	775+154	35	69,3	BUENO	2,00	BUENO	3,00	REGULAR
	U-4	777+184	777+219	35	79,3	MUYBUENO	1,00	BUENO	1,00	BUENO
	U-5	779+249	779+284	35	24,1	MUY MALO	6,00	MALO	7,00	MALO
	U-6	781+314	781+349	35	57,8	BUENO	2,00	BUENO	4,00	REGULAR
	U-7	783+379	783+414	35	53,1	REGULAR	3,00	REGULAR	5,00	MALO
	U-8	785+444	785+479	35	65,6	BUENO	2,00	BUENO	3,00	REGULAR
	U-9	787+509	787+544	35	86,8	EXCELENTE	1,00	BUENO	3,00	REGULAR
	U-10	789+574	789+609	35	80,9	MUYBUENO	1,00	BUENO	3,00	REGULAR
	U-11	791+639	791+674	35	63,7	BUENO	2,00	BUENO	4,00	REGULAR
	U-12	793+704	793+739	35	80,7	MUYBUENO	1,00	BUENO	3,00	REGULAR
	U-13	795+769	795+804	35	12,6	MUY MALO	7,00	MALO	7,00	MALO
	U-14	797+834	797+869	35	73,2	MUYBUENO	2,00	BUENO	4,00	REGULAR
	U-15	799+899	799+934	35	59,3	BUENO	2,00	BUENO	5,00	MALO
	U-16	801+964	801+999	35	56,4	BUENO	2,00	BUENO	4,00	REGULAR
	U-17	804+029	804+064	35	64,3	BUENO	2,00	BUENO	4,00	REGULAR
	U-18	806+094	806+129	35	43,1	REGULAR	4,00	REGULAR	6,00	MALO
	U-19	808+159	808+194	35	72,6	MUYBUENO	2,00	BUENO	2,00	BUENO
	U-20	810+224	810+259	35	52,6	REGULAR	3,00	REGULAR	3,00	REGULAR

B E	U-21	812+289	812+324	35	62,3	BUENO	2,00	BUENO	5,00	MALO
	U-22	814+354	814+389	35	12,5	MUY MALO	7,00	MALO	7,00	MALO
	U-23	816+419	816+454	35	74,7	MUY BUENO	2,00	BUENO	4,00	REGULAR
	U-24	818+484	818+519	35	78,8	MUY BUENO	1,00	BUENO	3,00	REGULAR
	U-25	820+549	820+584	35	55,7	BUENO	2,00	BUENO	5,00	MALO
	U-26	822+614	822+649	35	55,7	BUENO	2,00	BUENO	4,00	REGULAR
	U-27	824+679	824+714	35	33,1	MALO	5,00	MALO	5,00	MALO
	U-28	826+744	826+779	35	81,8	MUY BUENO	1,00	BUENO	3,00	REGULAR
	U-29	828+809	828+844	35	61,3	BUENO	2,00	BUENO	4,00	REGULAR
	U-30	830+874	830+909	35	36,2	MALO	5,00	MALO	7,00	MALO
	U-31	832+939	832+974	35	100	EXCELENTE	1,00	BUENO	3,00	REGULAR
	U-32	835+004	835+039	35	30,5	MALO	5,00	MALO	7,00	MALO
Promedio de las Muestras:					59,98	REGULAR	2,59	REGULAR	4,22	REGULAR

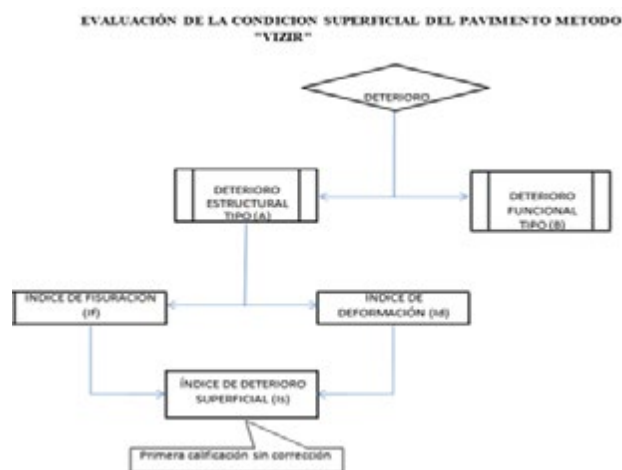
Fuente: Elaboración propia

Categoría de deterioro con el método VIZIR.

El método VIZIR clasifica y cuantifica el deterioro de los pavimentos flexibles en carreteras considerando dos tipos de deterioro: deterioro tipo "A", que describe la condición estructural del pavimento, y deterioro tipo "B", que es principalmente funcional, por lo que la corrección relacionada con la capacidad estructural de este recubrimiento es insignificante.

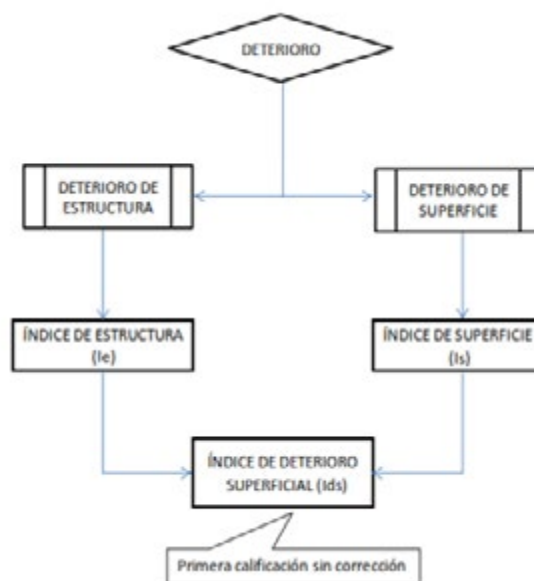
La Figura 6 muestra el diagrama de flujo correspondiente al método VIZIR, siguiendo la parte del procedimiento para encontrar la primera definición del índice de daño superficial no reparado, donde el índice se define en base al daño de la estructura tipo "A".

Figura 6. Diagrama de Flujo de la Primera Calificación con Método VIZIR



Fuente: Edwin W. Apolinario, 2012

Figura 7. Diagrama de Flujo de la Primera Calificación con Método ESPF



Fuente: Edwin W. Apolinario, 2012

Determinación de la sección de trabajo

Se presenta el metrado de deterioros Ie e Is desde la progresiva Prog 770+989 al Km 835+039.

A continuación, se presenta un resumen del tramo seleccionado:

- Longitud de la vía: 64.050 m (Desde Prog. 770+989 a la Prog. 835+039)



- Ancho promedio de la calzada: 7.00 m
- Área total del tramo seleccionado: 461.160,00 m²

La fundamentación teórica que sustenta las acciones desarrolladas, en la presente investigación tuvo como base:

Cuantificación de los deterioros con el método ESPF

En la Tabla 7 se presenta la cuantificación de los deterioros de estructura y de superficie, desde la progresiva Prog. 770+989 (Camiri) a la Prog. 835+039 (Boyuiibe).

Tabla 7. Cuantificación de los Deterioros con el Método ESPF

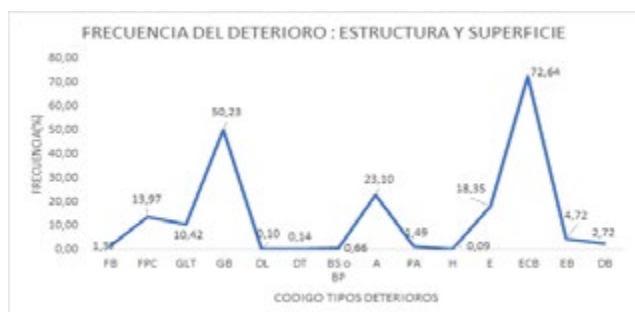
Tipo	Clase	Nombre del Deterioro	Código	SEVERIDAD			Área Total Deterioro	Área Total Deterioro (%)	Frecuencia Deterioro (%)
				1	2	3			
Estructura	Agrietamientos	Fisuras de borde	FB	70,00			70,00	0,61	1,37
		Fisuras piel de cocodrilo	FPC	345,00	345,15	23,99	714,14	6,20	13,97
		Grietas parabólicas (slippage)	GP						
		Grietas longitudinal y transversal	GLT	422,00	100,50	10,00	532,50	4,62	10,42
		Grietas en bloque	GB	2061,50	254,40	252,00	2567,90	22,30	50,23
	Deformaciones	Depresiones o hundimientos longitudinales	DL	0,57	4,80		5,37	0,05	0,10
		Depresiones o hundimientos transversales	DT	4,50	2,47		6,97	0,06	0,14
		Baches superficiales y Baches profundos	BS o BF	28,33	5,64		33,97	0,30	0,66
		Ahuellamientos	A	946,30	38,70	196,00	1181,00	10,26	23,10
		Corrugación	C						
		Desplazamiento	D						
Total				3878,20	751,66	481,99	5111,85	44,39	100,00

Tipo	Clase	Nombre del Deterioro	Código	SEVERIDAD			Área Total Deterioro	Área Total Deterioro (%)	Frecuencia Deterioro (%)
				1	2	3			
Estructura	Desprendimientos	Pérdidas de agregados	PA	42,00			42,00	0,36	1,48
		Pérdida de la película de ligante	PL						
		Huecos	H	2,40			2,40	0,02	0,09
	Alojamientos	Exudación	E	525,78			525,78	4,49	18,35
	Otros deterioros	Escalonamiento entre calzada y berma	ECB	2045,77			2045,77	17,77	72,64
		Erosión de las bermas	EB	133,00			133,00	1,16	4,72
		Desintegración de los bordes del pavimento	DB	76,50			76,50	0,66	2,72
		Cruce de vía férrea	CVF						
	Total			2825,45			2816,45	24,46	100,00

Fuente: Elaboración propia

En la figura 8 se presenta la frecuencia y tipos de los deterioros considerados para calificar la condición del pavimento con el método ESPF.

Figura 8. Frecuencia del Tipo de Deterioro con Método ESPF



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 9 se compara la incidencia de cada uno de los tipos de deterioros de la cual con el método

propuesto ESPF se considera el 100% y no se excluye a los deterioros clasificados como de superficie.

Figura 9. Frecuencia del Tipo de Deterioro con Método ESPF



Fuente: Elaboración Propia

Corrección por factores externos del pavimento

Teniendo en cuenta que el entorno físico en el terreno también afecta la condición del pavimento, el método ESPF recomienda considerar la "corrección de factores externos (Cfep)" del pavimento después de verificar primero el índice de daño superficial. La reparación propuesta tiene en cuenta los principales factores externos que inciden en el deterioro del pavimento flexible.

Tabla 8. Factores Externos del Pavimento Flexible

FACTOR	CONDICIONES	PUNTAJE	
		NOMINAL	NÚMÉRICO
Topografía (T)	Pendiente fuerte (>5%) y frecuentes	Alto	3
	Pendientes moderadas (3-4%) y frecuentes; pero en longitudes no muy grandes (<1 Km)	Moderado	2
	Pendiente suave (<3%) o moderadas (3-4%) de corta longitud (<0,5 Km)	Bajo	1
Configuración de la Sección (S)	Corte	Alto	3
	Sección mixta (corte-relleno)	Moderado	2
	Relleno (terraplén)	Bajo	1
Estabilidad de taludes y racionabilidad (E)	Riesgos alto de erosión e inestabilidad de taludes: Roca suelta con talud de H>7m Material suelto en talud H>3m	Alto	3
	Restricción moderada debido a ciertos riesgos de erosión e inestabilidad de taludes: Material suelto con talud de H>3m, pero menor de 7m	Moderado	2
	Riesgo bajo de erosión e inestabilidad de talud. Roca fija Roca suelta o Material suelto con talud de H<3m	Bajo	1
Precipitación pluvial (P)	Precipitación > 1200 mm	Alto	3
	Precipitación < 1200 mm	Moderado	2
	Precipitación < 600 mm	Bajo	1
Temperatura o clima (C)	Temperatura de 20 a 27 °C	Bajo	1
	Temperatura de 28 a 33 °C	Moderado	2
	Temperatura > 34°C	Alto	3

Fuente: Elaboración propia.

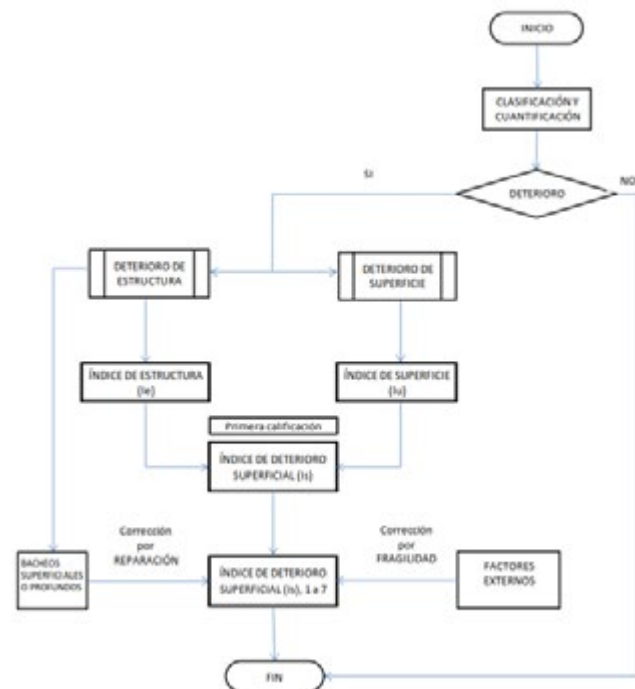
Esto existe como antecedente con el método ESPF de mejora de la reparación del pavimento, considerando que los baches reparados afectan la durabilidad del pavimento a pesar de mejorar la funcionalidad de la vía. El estado de los pavimentos es clave para que las inversiones en infraestructura alcancen los resultados esperados en términos de rentabilidad socioeconómica, desarrollo y crecimiento. Por lo tanto, es necesario enfrentar de manera efectiva el problema del mantenimiento vial en sus diversas formas, incluidas las medidas de rehabilitación necesarias para garantizar las condiciones de tránsito y seguridad. Los factores externos son presentados en la Tabla 6 fueron elegidos considerando que son los más importantes en el deterioro del subsuelo como parte del ambiente físico externo de la vía.

Diagrama de flujo para cálculo de (Ids) con el método ESPF

Con el diagrama de flujo de la Figura 10 se indica los procedimientos a seguir para la evaluación de la condición del pavimento aplicando el método ESPF, donde se aprecia donde son apreciados todos los tipos de daños en el pavimento flexible

A partir del índice de deterioro superficial (Ids), se define tres situaciones generales en relación con la probable capacidad del pavimento en el instante de la evaluación aplicada.

Figura 10. Diagrama de Flujo del Método ESPF

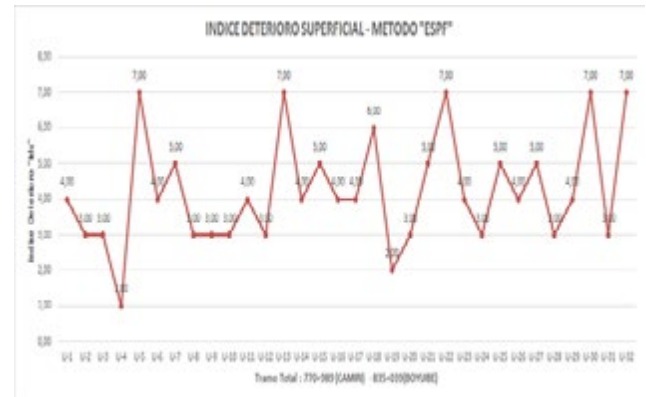


Fuente: Edwin W. Apolinario, 2012

Análisis de los resultados con el método ESPF

En la figura 11 se observa la variación del índice de deterioro superficial aplicando el método propuesto.

Figura 11. Diagrama de Flujo del Método ESPF



Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Resultado del método ESPF Prog. 770+989 al Prog. 835+039

ID Unidad Muestral	PROGRESIVAS		longitud m	Tipo de Método	
	Inicio	Final		ESPF "Ids"	Estado de Deterioro
U-1	770+989	771+024	35	4,00	REGULAR
U-2	773+054	773+089	35	3,00	REGULAR
U-3	775+119	775+154	35	3,00	REGULAR
U-4	777+184	777+219	35	1,00	BUENO
U-5	779+249	779+284	35	7,00	MALO
U-6	781+314	781+349	35	4,00	REGULAR
U-7	783+379	783+414	35	5,00	MALO
U-8	785+444	785+479	35	3,00	REGULAR
U-9	787+509	787+544	35	3,00	REGULAR
U-10	789+574	789+609	35	3,00	REGULAR
U-11	791+639	791+674	35	4,00	REGULAR
U-12	793+704	793+739	35	3,00	REGULAR
U-13	795+769	795+804	35	7,00	MALO
U-14	797+834	797+869	35	4,00	REGULAR
U-15	799+899	799+934	35	5,00	MALO
U-16	801+964	801+999	35	4,00	REGULAR
U-17	804+029	804+064	35	4,00	REGULAR
U-18	806+094	806+129	35	6,00	MALO
U-19	808+159	808+194	35	2,00	BUENO
U-20	810+224	810+259	35	3,00	REGULAR
U-21	812+289	812+324	35	5,00	MALO
U-22	814+354	814+389	35	7,00	MALO
U-23	816+419	816+454	35	4,00	REGULAR
U-24	818+484	818+519	35	3,00	REGULAR
U-25	820+549	820+584	35	5,00	MALO
U-26	822+614	822+649	35	4,00	REGULAR
U-27	824+679	824+714	35	5,00	MALO

U-28	826+744	826+779	35	3,00	REGULAR
U-29	828+809	828+844	35	4,00	REGULAR
U-30	830+874	830+909	35	7,00	MALO
U-31	832+939	832+974	35	3,00	REGULAR
U-32	835+004	835+039	35	7,00	MALO
Promedio de las muestras:			4		REGULAR

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10. Análisis Comparativo de Resultados con Métodos VIZIR y ESPF

ID Unidad Muestral	PROGRESIVAS		Tipo de Método			
	Inicio	Final	VIZIR "Is"	Estado de Deterioro	ESPF "Ids"	Estado de Deterioro
U-1	770+989	771+024	2,00	BUENO	4,00	REGULAR
U-2	773+054	773+089	1,00	BUENO	3,00	REGULAR
U-3	775+119	775+154	2,00	BUENO	3,00	REGULAR
U-4	777+184	777+219	1,00	BUENO	1,00	BUENO
U-5	779+249	779+284	6,00	MALO	7,00	MALO
U-6	781+314	781+349	2,00	BUENO	4,00	REGULAR
U-7	783+379	783+414	3,00	REGULAR	5,00	MALO
U-8	785+444	785+479	2,00	BUENO	3,00	REGULAR
U-9	787+509	787+544	1,00	BUENO	3,00	REGULAR
U-10	789+574	789+609	1,00	BUENO	3,00	REGULAR
U-11	791+639	791+674	2,00	BUENO	4,00	REGULAR
U-12	793+704	793+739	1,00	BUENO	3,00	REGULAR
U-13	795+769	795+804	7,00	MALO	7,00	MALO
U-14	797+834	797+869	2,00	BUENO	4,00	REGULAR
U-15	799+899	799+934	2,00	BUENO	5,00	MALO
U-16	801+964	801+999	2,00	BUENO	4,00	REGULAR
U-17	804+029	804+064	2,00	BUENO	4,00	REGULAR
U-18	806+094	806+129	4,00	REGULAR	6,00	MALO
U-19	808+159	808+194	2,00	BUENO	2,00	BUENO
U-20	810+224	810+259	3,00	REGULAR	3,00	REGULAR
U-21	812+289	812+324	2,00	BUENO	5,00	MALO
U-22	814+354	814+389	7,00	MALO	7,00	MALO
U-23	816+419	816+454	2,00	BUENO	4,00	REGULAR
U-24	818+484	818+519	1,00	BUENO	3,00	REGULAR
U-25	820+549	820+584	2,00	BUENO	5,00	MALO
U-26	822+614	822+649	2,00	BUENO	4,00	REGULAR
U-27	824+679	824+714	5,00	MALO	5,00	MALO
U-28	826+744	826+779	1,00	BUENO	3,00	REGULAR
U-29	828+809	828+844	2,00	BUENO	4,00	REGULAR
U-30	830+874	830+909	5,00	MALO	7,00	MALO
U-31	832+939	832+974	1,00	BUENO	3,00	REGULAR
U-32	835+004	835+039	5,00	MALO	7,00	MALO
Promedio de las muestras:			3	REGULAR	4	REGULAR

Fuente: Elaboración Propia

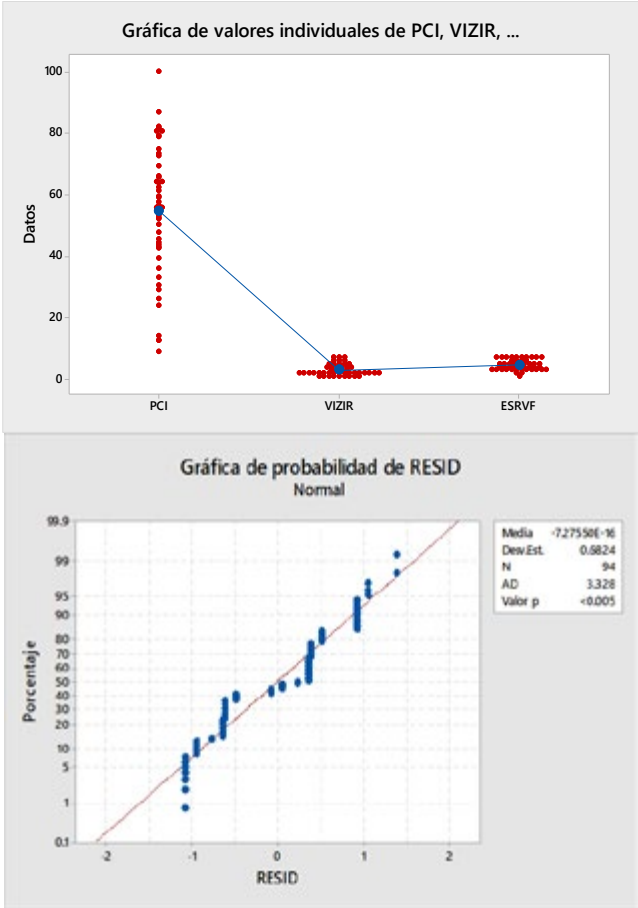
RESULTADOS

Existen diversas metodologías y equipos que permiten realizar la evaluación “no destructiva” superficial y estructural del pavimento, que varía desde la inspección visual hasta el uso de equipos especializados como la herramienta Viga Benkelman, Dynaflect, Road Rater, Falling Weigh Deflectometer, que se utiliza para la

medición de deflexiones, en base a las cuales se estima la capacidad de soporte del paquete estructural existente.

Los resultados de la evaluación efectuada sirven para determinar la mejor alternativa para prolongar la vida útil del pavimento básico.Existen varios métodos para efectuar los relevamientos de fallas pero en el país actualmente está siendo utilizado con mayor arraigo la metodología PCI (Pavement Condition Index) es decir el cálculo del Índice de la condición del pavimento; razón por la cual además de realizar la comparación de resultados con los métodos aplicados se usara el método PCI para realizar la comparación con el método VIZIR y con el propuesto ESPF que identifica en forma global las patologías que evidencia el estado de la vía.

Figura 12. Valores Individuales de PCI, VIZIR, ESPF y correlación



Fuente: Elaboración Propia.

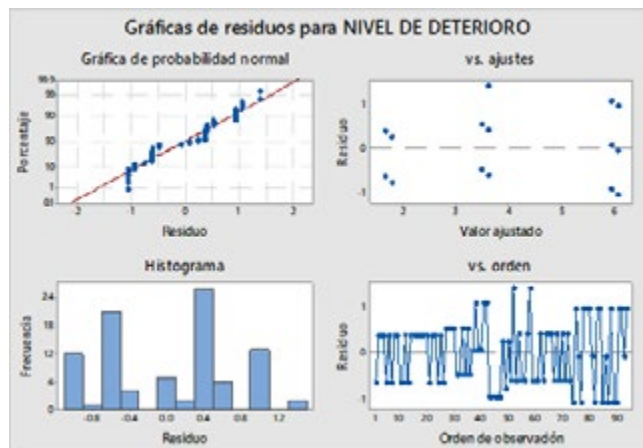
Tabla 11. Correlación VIZIR metodología ESPF

S	R – cuad.	R – cuad. ajustado	R – cuad (pred)
0,693708	87,18 %	86,76 %	86,01 %

Fuente: Elaboración Propia

El modelo tiene un porcentaje de variación de la respuesta $R^2=87.18\%$ lo cual indica que el modelo se ajusta a los datos con un 86.76% de confiabilidad, y el modelo predice la respuesta para nuevas informaciones con una confiabilidad de 86.01%.

Figura 13. Residuos para Nivel de Deterioro



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12. Confiabilidad de resultados

S	R - cuad.	R - cuad. ajustado	R - cuad (pred)
12,6291	78,72 %	78,41 %	77,78 %

Fuente: Elaboración Propia

El modelo tiene un porcentaje de variación de la respuesta $R^2=78.72\%$ lo cual indica que el modelo se ajusta a los datos con un 78.41% de confiabilidad, y el modelo predice la respuesta para nuevas informaciones con una confiabilidad de 77.78%.

CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

La recolección de datos de campo se llevó a cabo dividiendo la zona de experimentación, que se extiende desde la progresiva Km 770+989 (Camiri) hasta la Km 835+039 (Boyube), en tramos de longitud de 35 metros. Se recolectaron datos de un total de 32 tramos o unidades de muestreo de manera continua, con el propósito de realizar comparaciones de resultados utilizando otros métodos.

Las condiciones y el comportamiento de un pavimento a lo largo del tiempo son aspectos de suma importancia para la gestión integral de las carreteras, incluyendo su construcción, mantenimiento y operación. Este conocimiento también resulta esencial para los usuarios, ya que está estrechamente relacionado con el nivel de servicio que una carretera ofrece. Por ello, es crucial

disponer de métodos de evaluación de la condición superficial del pavimento, como el propuesto por ESPF en este estudio. Este método proporciona una base sólida para la toma de decisiones en cuanto a la conservación de las carreteras, basándose en una inspección visual de los pavimentos.

Al aplicar el método PCI, la condición del pavimento oscila entre MALA y REGULAR, y según el promedio del valor numérico, según su calificación se clasificaría como "MALA".

Utilizando el método VIZIR, se obtienen resultados que muestran un estado uniforme del tramo carretero, con clasificaciones que van desde "MALO" hasta "REGULAR" en cada uno de los tramos. En contraste con el método ESPF propuesto, la calificación general se encuentra en el rango de "MALO", con una predominancia de un estado deficiente, considerando todas las patologías superficiales del pavimento y los factores externos que también aportan a la evaluación.

A partir del análisis estadístico de los tres modelos PCI, VIZIR y ESPF, se puede concluir que nuestro modelo de predicción comparativa se ajusta a los datos con una confiabilidad del 78.41%. Además, el modelo puede predecir respuestas para nuevas informaciones con una confiabilidad del 77.78%.

Los resultados del análisis estadístico entre el método VIZIR y nuestro método propuesto ESPF indican que el modelo tiene un porcentaje de variación de la respuesta $R^2 = 87.18\%$, lo que sugiere que el modelo se ajusta a los datos con una confiabilidad del 86.76%. Además, el modelo puede predecir respuestas para nuevas informaciones con una confiabilidad del 86.01%. En comparación con el modelo anterior, se observa que el modelo estadístico de comparación se ajusta mejor a los datos del VIZIR y el ESPF.

Finalmente, se sugiere una rehabilitación completa, de la carpeta asfáltica parcial o totalmente que demandaría mayores recursos económicos.

CONFLICTO DE INTERÉS

El autor declara que no tiene conflictos de interés con la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AASHTO. (1992). Guía para "Diseño de Estructuras de Pavimentos", Comité Ejecutivo.



- [2] Apolinario Morales, E. (2012). Innovación del Método VIZIR en estrategias de Conservación y Mantenimiento de Carreteras Con Bajo Volumen de Tránsito. Lima, Perú.
- [3] Chicchón Díaz, E. J. (2018). Aplicación de las metodologías PCI y VIZIR en la evaluación del estado del pavimento flexible de la vía de evitamiento sur de la ciudad de Cajamarca. Universidad Privado del Norte, Cajamarca, Perú.
- [4] Mamani Sánchez, C. (2021). Análisis comparativo entre método PCI y VIZIR para el pavimento flexible.
- [5] Menéndez. (2022). Análisis Del Índice De Rugosidad Internacional De La Superficie Del Pavimento Flexible De La Vía Colimes-Paján, Utilizando Equipos Inteligentes.
- [6] Porta Romero, S. Y. (2016). Evaluación y Comparación de metodología Índice de Condición de pavimento (PCI) y visión e inspección de zonas e itinerarios en riesgo. Universidad Nacional del Centro de Perú, Huancayo, Perú.
- [7] Rojas, A. y. (2019). Análisis Comparativo de las Metodología VIZIR y PCI para la auscultación visual de pavimentos flexibles en la ciudad de Bogotá.
- [8] Laboratorio central LCB-056- 22 “Resultado del índice de condición del pavimento PCI” conservación vial del tramo SC03; “Cruce Abapo – Ipita, Ipati – Boyuibe, Cruce Abapo – San Isidro del Espino” Turrado R. (2016), Análisis de los modelos de deterioro de firmes en la gestión de la conservación de redes de carreteras.

**Pablo Aguilar Gómez.**

Ingeniero Civil

RNI 24247

M.Sc. en Ingeniería Vial con Mención en Carreteras, Puentes y Túneles.

Diplomado en Planificación y Desarrollo de Competencias Profesionales en Educación Superior.

Diplomado en Ingeniería Vial con

Mención Carreteras, Puentes y Túneles.

Diplomado en Gerencia de la construcción.

Santa Cruz- Bolivia