

EVALUACIÓN FUNCIONAL DEL PAVIMENTO DE LA DIAGONAL 8 Y LA
AVENIDA EL PEÑÓN DESDE LA CALLE 40 HASTA LA CALLE 48 DEL
MUNICIPIO DE GIRARDOT, MEDIANTE LA METODOLOGÍA PCI.

LUISA FERNANDA FUERTES RAMIREZ
MARÍA PAULA MORA SABOGAL

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA - SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SEMINARIO DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS
GIRARDOT
2021

EVALUACIÓN FUNCIONAL DEL PAVIMENTO DE LA DIAGONAL 8 Y LA
AVENIDA EL PEÑÓN DESDE LA CALLE 40 HASTA LA CALLE 48 DEL
MUNICIPIO DE GIRARDOT, MEDIANTE LA METODOLOGÍA PCI.

LUISA FERNANDA FUERTES RAMIREZ
MARÍA PAULA MORA SABOGAL

TRABAJO REALIZADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

DIRECTOR (A):
MARÍA PAULA SALAZAR SUSUNAGA
INGENIERA CIVIL

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA - SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SEMINARIO DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS
GIRARDOT
2021

Nota de Aceptación

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Dedicatoria

A mis padres José del Carmen Mora y Martha Yaneth Sabogal, A mi hermano Cristian Camilo por ser mis ejemplos a seguir y por brindarme siempre lo mejor,

A mi hija Sofía Ramirez Mora por ser el motor de mi vida,

A mi esposo Andres Felipe Ramirez por su amor y apoyo incondicional,

A mi Sobrino Mattias Mora Doncel por brindarme felicidad,

Esto es por todos ustedes...

- María Paula Mora

A Dios por guiar mis pasos en este camino,

A mi madre María Luisa y mi padre Fernando, porque me han demostrado su amor y apoyo incondicional en todo momento,

A mi hijo Joseph Tomas, por ser mi motivación más grande día a día,

A mi pareja Diego Marín, por acompañarme en todo momento,

A mis hermanos Carlos, Fernando, Hernando y Jesús, me brindaron su apoyo y sabios consejos.

- Luisa F. Fuertes

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean expresar sus agradecimientos:

En primer lugar, a Dios por guiarnos en este camino y permitir que este sueño se hiciera realidad,

A la Ingeniera María Paula Salazar, por su acompañamiento y apoyo en el desarrollo de este trabajo,

A la Universidad Piloto de Colombia Seccional del Alto Magdalena, y a sus docentes de la Facultad de Ingeniería Civil, quienes hicieron parte de nuestra formación académica.

CONTENIDO

Introducción	16
1. Problema de Investigación.....	17
2. Justificación	19
3. Objetivos.....	20
3.1 Objetivo General.....	20
3.2 Objetivos Específicos.....	20
4. Marcos de Referencia.....	21
4.1 Marco de Antecedentes.....	21
4.1.1 Antecedentes internacionales	21
4.1.2 Antecedentes nacionales	22
4.1.3 Antecedentes locales	23
5. Marco Teórico.....	24
5.1 Generalidades de los Pavimentos.....	24
5.2 Tipos de Pavimentos	24
5.2.1 Pavimentos Flexibles	24
5.2.2 Pavimentos Rígidos	26
5.2.3 Pavimentos Articulado.....	27
5.3 Clasificación de las Carreteras	28
5.4 Clasificación de los vehículos	29
5.5 Metodología del Índice de Condición del Pavimento (PCI).....	30
5.6 Tipos de Fallas	31
5.6.1 Pavimento Asphaltico.....	31
5.6.2 Pavimento en Concreto.....	33
6. Marco Conceptual.....	37
7. Marco Geográfico	39
8. Marco Contextual.....	41
9. Marco Institucional.....	43
9.1 Reseña Histórica	43
9.2 Visión.....	44
9.3 Misión	44
9.4 Características.....	44

10.	Marco Legal	45
10.1	ASTM D6433 – 03 “Procedimiento Estándar para la Inspección del Índice de Condición del Pavimento en Caminos y Estacionamientos”	45
10.2	Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras	45
10.3	Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles	45
10.4	Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos	45
11.	Diseño metodológico	46
	Fase I. Recolección de la información preliminar.	46
	Fase II. Levantamiento de las fallas y determinación de las causas.	49
	Fase III. Aplicación del método PCI.	50
12.	Análisis de resultados	55
12.1	Información General	55
12.2	Estudio de Transito	59
12.3	Cálculo de los valores deducidos, del máximo valor deducido corregido (VDC) y del PCI de la unidad	61
13.	Conclusiones	81
14.	Bibliografía	83

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Estado Actual de la Red Vial Sectorizada.....	17
Tabla 2 Clasificación de carreteras según su funcionalidad	28
Tabla 3 Clasificación de carreteras según el tipo de terreno	28
Tabla 4 Rangos del PCI.....	30
Tabla 5 Fallas en pavimentos asfálticos	31
Tabla 6 Fallas en pavimentos rígidos	33
Tabla 7 Formato para Aforo Vehicular	48
Tabla 8 Longitudes de unidades de muestreo para pavimento flexible	49
Tabla 9 Hoja de registro PCI para pavimento flexible	50
Tabla 10 Hoja de registro PCI para pavimento rígido	51
Tabla 11 Formato para la obtención del CDV	53
Tabla 12 Denominación de los Tramos de la vía	61
Tabla 13 Índice de Condición del Pavimento Tramo 1 Carril A.....	63
Tabla 14 Índice de Condición del Pavimento Tramo 1 Carril B.....	64
Tabla 15 Índice de Condición del Pavimento Tramo 2 Pav. Flexible	64
Tabla 16 Índice de condición del pavimento Tramo 4 Pav. Flexible	66
Tabla 17 Estado del Pavimento Flexible.....	67
Tabla 18 Daños presentados en el Pavimento Flexible	68
Tabla 19 Índice de Condición del Pavimento Tramo 3 Pav. Rígido Carril A	71
Tabla 20 Índice de Condición del Pavimento Tramo 3 Pav. Rígido Carril C	73
Tabla 21 Índice de Condición del Pavimento Tramo 4 Pav. Rígido	74
Tabla 22 Estado del Pavimento Rígido.....	75
Tabla 23 Daños presentados en el Pavimento Rígido	77
Tabla 24 Daños presentados en la vía	79

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Cantidad de vehículos de 6:30 am a 12:00 pm	59
Gráfica 2 Cantidad de vehículos de 12:00 pm a 6:30 pm	60
Gráfica 3 Cantidad de Vehículos según su Clase.....	60
Gráfica 4 PCI del Tramo 1 del pavimento flexible Carril A	63
Gráfica 5 PCI del segundo tramo del pavimento flexible	65
Gráfica 6 PCI del cuarto tramo del pavimento flexible	66
Gráfica 7 Estado del Pavimento Flexible	67
Gráfica 8 Daños presentes en el Pavimento Flexible	70
Gráfica 9 PCI del primer tramo del pavimento rígido Carril A	72
Gráfica 10 PCI del tercer tramo del pavimento rígido Carril C	74
Gráfica 11 PCI del segundo tramo del pavimento rígido.....	75
Gráfica 12 Estado del Pavimento Rígido	76
Gráfica 13 Daños presentes en el pavimento rígido	79
Gráfica 14 Daños presentados en la vía.....	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Estructura típica de un Pavimento Flexible.....	25
Figura 2 Estructura Típica de un Pavimento Rígido.....	26
Figura 3 Estructura típica de un pavimento articulado.....	27
Figura 4 Clasificación de los vehículos en Colombia.....	29
Figura 5 Mapa de Colombia.....	39
Figura 6 Municipio de Girardot.....	40
Figura 7 Localización del Tramo vial.....	40
Figura 8 Inicio del Tramo: Diagonal 8 - Glorieta de Unicentro.....	41
Figura 9 Fin del Tramo: Calle 48 del Barrio Portachuelo.....	42
Figura 10 Tramo de vía seleccionado.....	42
Figura 11 Ubicación de toma del aforo.....	47
Figura 12 y Figura 13 Toma del Aforo.....	48
Figura 14 Perfil de la vía del K0+000 hasta el K0+117.3.....	55
Figura 15 Perfil de la vía del K0+117.3 hasta el K0+550.7.....	55
Figura 16 Perfil de la vía del K0+550.7 hasta el K0+638.2.....	56
Figura 17 Perfil de la vía del K0+638.2 hasta el K1+014.5.....	56
Figura 18 Perfil de la vía del K1+014.5 hasta el K1+536.29.....	57
Figura 19 Perfil de la vía del K1+536.29 hasta el K1+693.73.....	57
Figura 20 Perfil de la vía del K1+693.73 hasta el K1+921.79.....	58
Figura 21 Perfil de la vía del K1+921.79 hasta el K2+196.14.....	58
Figura 22 Denominación Carriles Primer Tramo Abscisa K0+000 - K0+117.3.....	62
Figura 23 Denominación Carriles Abscisa K1+014.5 - K1+536.29.....	71

RESUMEN

La metodología PCI se aplica mediante una inspección visual al pavimento, para calificar el estado en el que este se encuentra; esta quizás es la metodología más recomendada por su objetividad, ya que se puede determinar el estado actual en el que se encuentra la superficie de un pavimento, las fallas que están presentes y de acuerdo con esto se podrá concluir con el tipo de rehabilitación o mantenimiento que la vía necesita para volver a sus condiciones óptimas y brindar un buen servicio.

La vía comprendida en la Diagonal 8 y la avenida el Peñón desde la Calle 40 hasta la Calle 48 del municipio de Girardot-Cundinamarca, está ubicada en un sector que actualmente presenta una expansión urbana, lo que trae consigo un aumento en el tránsito, esto genera que los pavimentos tengan mayor exigencia y se disminuya su vida útil ya que, al ser una vía concurrida, está presentando varios deterioros de alto impacto provocando incomodidad a sus usuarios.

En el presente trabajo se pretende realizar la determinación del estado actual de la vía anteriormente mencionada, aplicando la metodología del índice de condición del pavimento PCI, mediante una inspección visual a 2.19 kilómetros que conforman la vía seleccionada, en donde se identificarán los deterioros presentes en cada unidad de muestreo, evaluando el pavimento de acuerdo al tipo de daño, severidad y cantidad en la que se manifiesta, para finalmente obtener el valor del PCI, calificando el estado en el que se encuentra la vía estudiada; con la finalidad de mejorar la condición operacional o el estado del pavimento de la vía.

Según los análisis y los resultados obtenidos, el pavimento de la vía se encuentra en estado regular, por lo tanto, se recomienda realizar los mantenimientos a las unidades de muestreo más afectadas, para lograr un buen estado de la vía.

ABSTRACT

The PCI methodology is applied through a visual inspection of the pavement , to rate the state it is in, this is perhaps the most recommended methodology due to its objectivity, since the current state of the pavement surface can be determined, the faults that are present and in accordance with this it will be possible to conclude with the type of rehabilitation or maintenance that the road needs to return to its optimal conditions and provide a good service.

The road between Diagonal 8 and El Peñón avenue from Calle 40 to Calle 48 in the municipality of Girardot-Cundinamarca, it is located in a sector that currently presents an urban expansión, which brings with it an increase in traffic, this generates that the pavements have greater demand and their useful life is reduced since, being a busy road, it is presenting several high-impact deteriorations causing discomfort to its users.

In this work it is intended to determine the current state of the aforementioned road, applying the methodology of the PCI pavement condition index, Through a visual inspection of 2.19 kilometers that make up the selected road, where the deterioration present in each sampling unit will be identified, evaluating the pavement according to the type of damage, severity and amount in which it occurs, to finally obtain the value of the PCI, qualifying the state in which the road studied is located; in order to improve the operational condition or the state of the road pavement.

According to the analysis and the results obtained, the pavement of the road is in fair condition, therefore, it is recommended to carry out maintenance on the most affected sampling units, to achieve a good condition of the road.

INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial tiene un vínculo directo con el desarrollo socioeconómico de un país, por lo cual es necesario que las vías se encuentren en buenas condiciones, para así mismo ofrecer a sus usuarios un paso cómodo y seguro, para ello es necesario realizar un seguimiento al estado en el que se encuentran los pavimentos, puesto que es importante determinar en qué momento de su vida útil estos requieren una intervención.

Para la elaboración de este trabajo se evalúan los dos tipos de pavimentos, que conforman esta vía, los cuales, están compuestos por una capa de rodadura; en asfalto y losas de concreto, cada uno está conformado por una base y una subbase, apoyadas sobre la subrasante, ya que ayuda a disminuir las transmisiones de carga, y permite que estas puedan ser soportadas por la misma, con la finalidad de que la vía cumpla con su vida útil de diseño, teniendo en cuenta los factores externos como los son los agentes que se encuentran en el medio ambiente.

Actualmente en el municipio de Girardot-Cundinamarca, en dirección a la Diagonal 8 y la avenida el Peñón desde la Calle 40 hasta la Calle 48 del barrio Portachuelo, se presenta un factor de expansión urbana por conjuntos y condominios, gracias al sistema de finca raíz que se ha posicionado en alza en la ciudad de las acacias siendo atractiva la oferta y la ubicación de los mismos, pues esta vía da acceso al condominio campestre El Peñón y Lagomar Compensar, debido a estos incrementos se ha aumentado el tránsito y el paso de vehículos transmisores de carga pesada por esta vía, la cual, no fue diseñada para resistir dichas cargas en su momento o no ha presentado un plan de mejoramiento; esto ha producido el deterioro en esta malla vial presentando fallas y deformaciones en el pavimento flexible y rígido que conforman el trayecto vial.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente se pretende determinar el estado en el que se encuentra actualmente la vía comprendida entre la Diagonal 8 y la avenida el Peñón desde la Calle 40 hasta la Calle 48 del barrio portachuelo, aplicando la metodología del índice de condición del pavimento PCI, mediante una inspección visual, analizando e identificando las fallas presentadas en los pavimentos, determinando las posibles causas del deterioro y generar posibles métodos de solución para aportar a futuro un mejoramiento en la malla vial estudiada.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Las carreteras son el principal medio de comunicación a nivel nacional y local, ya que comunica diversos lugares entre sí. De acuerdo con la Asociación Mundial de Carreteras (2014), estas son indispensables para la economía de un país y se deben conservar adecuadamente estas infraestructuras ya que ayudará a preservar este beneficio, teniendo en cuenta que un mantenimiento oportuno evitará un incremento de costos a futuro.

El Instituto Nacional de Vías (2021), proporciona datos del estado actual de la red vial que está a su cargo sectorizada por direcciones territoriales, teniendo en cuenta si la vía está o no pavimentada. De acuerdo con la información expuesta en la tabla 1, el Departamento de Cundinamarca para junio del 2021 cuenta con 30.50 % de vías pavimentadas en mal estado.

Tabla 1 Estado Actual de la Red Vial Sectorizada

Nº	TERRITORIAL	PAVIMENTADO (Km)				
		MUY BUENO	BUENO	REGULAR	MALO	MUY MALO
1	ANTIOQUIA	51,37	122,24	222,38	227,11	1,00
2	ATLÁNTICO	18,75	4,81	2,49	0,00	0,00
3	BOLÍVAR	15,98	74,94	48,40	15,78	0,00
4	BOYACÁ	41,44	196,93	288,15	145,44	2,00
5	CALDAS	72,24	89,70	18,01	0,00	0,00
6	CAQUETÁ	138,70	90,23	83,06	86,31	0,00
7	CASANARE	1,93	154,76	222,38	182,77	0,00
8	CAUCA	105,01	176,50	243,30	118,38	1,15
9	CESAR	88,08	154,82	98,80	103,86	15,98
10	CHOCÓ	35,72	80,78	50,99	3,78	0,00
11	CORDOBÁ	51,32	33,21	68,36	90,14	0,00
12	CUNDINAMARCA	6,41	69,54	69,95	64,03	0,00
13	GUAJIRA	34,44	74,64	26,75	12,91	0,00
14	HUILA	35,01	94,39	76,42	65,15	0,97
15	MAGDALENA	39,58	75,89	20,32	8,19	14,47
16	META	46,02	173,31	120,62	11,85	0,88
17	NARIÑO	169,25	300,27	142,33	93,00	0,38
18	N. DE SANTANDER	19,98	140,90	135,20	131,04	0,00
19	PUTUMAYO	97,74	46,31	5,75	4,85	0,00
20	QUINDÍO	39,99	30,37	40,35	2,00	0,00
21	RISARALDA	13,90	95,05	76,41	25,09	0,00

22	SANTANDER	120,53	369,26	273,03	95,29	15,66
23	SUCRE	35,00	24,54	32,94	45,26	14,95
24	TOLIMA	5,85	133,06	46,56	20,54	0,00
25	VALLE	241,10	205,87	252,64	70,22	6,66
26	OCAÑA	0,61	218,48	64,86	62,57	8,48
27	S. ANDRÉS Y PROV	12,00	10,50	15,00	7,80	0,00
TOTAL, RED VIAL		1537,95	3241,30	2745,45	1693,36	82,58
		16,54%	34,85%	29,52%	18,21%	0,89%

Fuente: (Instituto Nacional de Vías, 2021)

De acuerdo con (Vicuña Vergara, 2015) La infraestructura vial tiene una vinculación directa con el desarrollo social y económico de un país, ya que esta permite la comunicación entre pueblos y ciudades, así como el intercambio de bienes y servicios. Por lo tanto, es indispensable contar con redes viales en óptimas condiciones para ofrecer a los usuarios un paso cómodo y seguro.

Un gran porcentaje de las vías del Municipio de Girardot actualmente se encuentran en malas condiciones, por lo que se pretende estudiar una parte de la situación, brindando la evaluación del estado de un tramo de vía del municipio y establecer las posibles causas de los deterioros encontrados a lo largo del tramo vial. Teniendo en cuenta lo anterior, para la elaboración de este documento se selecciona la vía situada en la Diagonal 8 y la avenida el Peñón desde la Calle 40 hasta la Calle 48 del barrio Portachuelo, este tramo de vía es muy transitado, ya que conecta varios barrios entre sí, presenta deterioros de consideración que pueden generar accidentes y daños en los vehículos que por allí transitan

En el desarrollo del presente trabajo, se dará respuesta a la siguiente pregunta:

¿Cuál es el estado actual del pavimento del tramo de vía desde la diagonal 8 y la avenida el Peñón hasta la calle 48 del barrio Portachuelo del Municipio de Girardot – Cundinamarca?

2. JUSTIFICACIÓN

El municipio de Girardot cuenta con una infraestructura vial en malas condiciones, pues estas presentan diferentes tipos de deterioros, que generan inseguridad a sus usuarios. Desde este punto se origina la necesidad de crear alternativas para evaluar la condición funcional del pavimento en las vías y poder generar planes y estrategias de mejoramiento, basadas en el conocimiento del estado actual de la vía seleccionada.

La vía en estudio presenta deterioros notables, por esto se pretende realizar la evaluación del pavimento de la Diagonal 8 y la avenida el Peñón hasta la calle 48 del barrio Portachuelo para determinar su estado actual, facilitando realizar a futuro un plan de mantenimiento de esta vía que mejoraría la seguridad de los conductores y peatones.

La evaluación del pavimento a realizar se desea determinar mediante la metodología PCI, considerada como uno de los métodos más confiables, para brindar una evaluación completa con alternativas de soluciones en el proceso de rehabilitación del pavimento y lograr el objetivo de seguridad y comodidad para los vehículos, y sus demás usuarios. Dentro de los análisis que se van a realizar se tendrá en cuenta cuales son los tramos más afectados de la vía y cuáles son los que necesitan intervención inmediata.

Según (Vicuña Vergara, 2015) es de vital importancia realizar estas evaluaciones al pavimento, debido a que permiten realizar un análisis periódico del mismo, y de esta manera llevar a cabo las correcciones necesarias para permitir una mejor serviciabilidad de la vía respecto al pavimento. Si estas evaluaciones se logran realizar de forma más consecutiva se podrán evidenciar de forma temprana los deterioros de las vías y así se prolongará su vida de servicio ahorrando de esta manera mayores costos en rehabilitación.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Evaluar la condición del pavimento asfáltico existente en el tramo vial de la Diagonal 8 y la avenida el Peñón hasta la calle 48 del Municipio de Girardot.

3.2 Objetivos Específicos

- Analizar la información preliminar de la vía en estudio.
- Identificar las fallas del pavimento flexible del tramo de vía seleccionado.
- Establecer las posibles causas de los deterioros encontrados a lo largo del tramo vial.
- Determinar el Índice de Condición del Pavimento (PCI) para el tramo de vía en estudio.

4. MARCOS DE REFERENCIA

4.1 Marco de Antecedentes

Método de evaluación superficial del índice de condición del pavimento

Según (Pacheco Leguía, 2016) este método de evaluación para el pavimento fue desarrollado en los años de 1974 y 1976, bajo la dirección del Centro de Ingeniería de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos por M. Y. SD. Khon y fue publicado en 1978. Decidieron elaborar este método de evaluación para lograr administrar el mantenimiento para pavimentos flexibles, siendo el más común. Y para pavimento rígidos.

Como lo manifiesta (Pacheco Leguía, 2016) en el siguiente párrafo:

Este método constituye el modo más completo para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, siendo ampliamente aceptado y formalmente adoptado como procedimiento estandarizado, por agencias como por ejemplo: el departamento de defensa de los Estados Unidos, el APWA (American Public Work Association) y ha sido publicado por la ASTM como método de análisis y aplicación, conocida como procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-03).

4.1.1 Antecedentes internacionales

Según (Miranda, 2010) en su tesis *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos en Valdivia-Chile* para optar el título de ingeniero constructor realizó este trabajo de investigación teniendo como finalidad, dar a conocer los principales elementos que conforman las carreteras y las fallas más importantes que las afectan, las causas que más comúnmente las originan; este se llevó a cabo mediante la realización del levantamiento de las fallas presentadas en el pavimento, en la localización del sector identificándolas, para así, otorgar posibles soluciones y así logren tener más tiempo de vida útil, realizando la rehabilitación necesaria. Según el estudio realizado, determino que debe identificarse, cual es, la principal causante de los deterioros; y así realizar una reparación adecuada con el personal profesional.

De acuerdo con (Díaz Cardena, 2014) en su tesis *La evaluación de la metodología PCI como herramienta para la toma de decisiones en las intervenciones a realizar en los pavimentos flexibles - Bogotá D.C*, mediante experiencias recolectadas de las condiciones superficiales. En base a la guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos en carreteras del INVIAS. Se logró determinar

mediante la elaboración de una matriz, en la cual, se propusieron las actividades de rehabilitación y mantenimiento de los pavimentos flexibles colombianos basados en los resultados obtenidos a partir de las metodologías de auscultación PCI. Según la evaluación realizada arrojo como resultado final, que se deben realizar actividades de mantenimiento periódicamente y que se debe aplicar el método de evaluación PCI en algunos sectores a evaluar en este tramo y no en toda su totalidad, identificando los métodos de reparación o rehabilitación más adecuados y funcionales económicamente.

4.1.2 Antecedentes nacionales

Para (Ezpinosa Ordinola, 2010) en su tesis *Determinación y evaluación del nivel de incidencias de las patologías del concreto en los pavimentos rígidos de la provincia de Huanca bamba, departamento de Piura – Perú*. Para optar el título de ingeniero civil. Según la obtención de los datos recolectados se llegó a la conclusión mediante a los estudios realizado que el índice de condición del pavimento está en un estado regular de acuerdo con las imperfecciones que se lograron observar, que presenta el mismo, gracias a que su ejecución no fue la apropiada en la clasificación de los agregados de la zona, en donde se pueden observar las grietas. Las patologías que se describen en el documento, basadas en pavimentos hidráulicos en la provincia de Huanca bamba (Perú), se encuentra grietas lineales con un porcentaje del 40,65, siendo el mayor, en comparación con el pulimiento de los agregados e, cual tiene el 29 por ciento, entre otras.

De acuerdo con (Vergara, 2015) da a conocer en su tesis *Evaluación del estado funcional y estructural del pavimento flexible mediante la metodología PCI tramo Quichuay (Huancayo-Perú) -ingenio del km 0+000 al km 1+000 2014*, en el cual, se aplica la metodología PCI y tiene como objetivo principal informar de qué manera influye en la determinación de la intervención, es decir el tipo de mantenimiento y rehabilitación que se deben hacer según el manual de carreteras, partiendo desde una inspección visual, siendo estos datos procesados y dando como resultado un indicador, tomando este resultados se realizó el análisis determinando la principal falla, la cual fue dada por la densidad, comparándose el cálculo de cada área determinada funcionales con un porcentaje de 63%, siendo las más grandes. Este estudio realizado es de gran importancia, de acuerdo con que logro determinar las fallas e identificar cual fue la de mayor afectación en este tramo.

4.1.3 Antecedentes locales

Según (Quintana Diaz, 2018) en su tesis *Aplicación del método Índice de condición del pavimento para evaluar la superficie de rodadura de la carretera Reque - Puerto Eten- Peru* para la obtención del título profesional de ingeniero civil. De acuerdo con la evaluación del índice del pavimento realizada desde el km 0+00al km 8+000, se determinó que este tramo, tiene un calificativo de 37,26, es decir, que este, se encuentra en mal estado de acuerdo con la clasificación de daño, presentando fallas con un nivel de severidad alto en algunos tramos de la vía. Esta metodología ayuda a proponer posibles soluciones e intervenciones en la vía de acuerdo con el nivel de severidad que presente la misma.

Para (Yesquen Granda, 2016) en su tesis (Evaluación del pavimento tramo Barranco-Surco) para optar el título de ingeniero civil, obtuvo como resultado que el índice de condición del pavimento se encuentra en un buen estado, debido a que la severidad de sus fallas fue superficial, sugiriendo que esta vía solo necesita una intervención en mantenimiento leve y superficial.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Generalidades de los Pavimentos

Para (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015) Los pavimentos están conformados por varias capas horizontales de materiales seleccionados, diseñados para soportar las cargas interpuestas por el tránsito y las condiciones ambientales a las que estará expuesto, su objetivo funcional es ofrecer a los usuarios un paso cómodo y seguro.

Según el Ingeniero (Montejo Fonseca, 2002) para que los pavimentos cumplan correctamente con su función, estos deben reunir las siguientes características:

- Debe ser resistente a las cargas generadas por el tránsito
- Ser resistente ante las condiciones ambientales a las que pueda estar expuesto.
- Debe tener una textura de acuerdo con las velocidades de los vehículos, pues de esto depende la seguridad vial, así mismo debe ser resistente al desgaste que pueden producir las llantas de los vehículos.
- Debe tener una regularidad tanto transversal como longitudinal que brinden comodidad a los usuarios según las longitudes de onda de las deformaciones y la velocidad con la que circulan los vehículos.
- Debe ser durable
- Brindar un adecuado sistema de drenaje.
- El ruido generado por la rodadura de los vehículos debe ser moderado tanto en el interior como en el exterior de los vehículos.
- Debe ser económico.
- El color debe ser el apropiado para ofrecer seguridad a los transeúntes.

5.2 Tipos de Pavimentos

5.2.1 Pavimentos Flexibles

Según (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015) un pavimento flexible es una estructura que contiene una capa asfáltica soportada en capas de materiales de menor rigidez (base, subbase, afirmado y si es necesario subrasante mejorada) todas las anteriores apoyadas sobre el terreno natural. Los esfuerzos generados por la carga de los vehículos van disminuyendo a través de las capas de tal manera

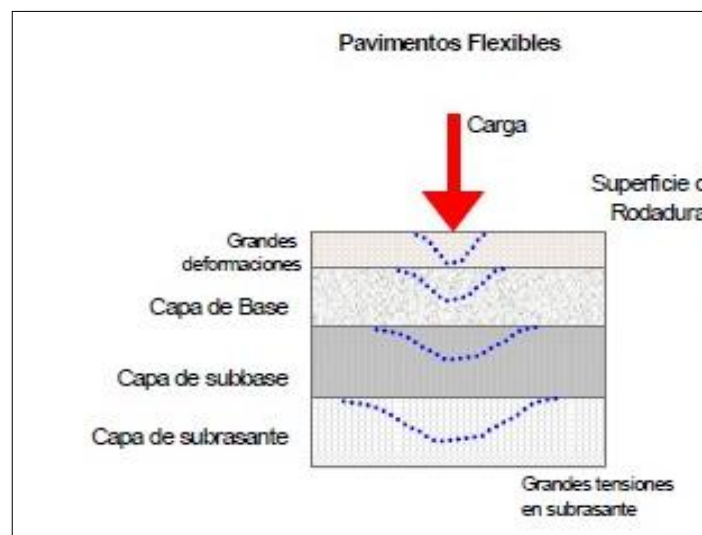
que al llegar al terreno natural este deberá resistir dicho esfuerzo, sin generar deformaciones que puedan llevar al deterioro estructural y funcional de la vía. La capa asfáltica está conformada por la capa de rodadura, la base intermedia y la base asfáltica, sin embargo, cuando los niveles de tránsito son muy bajos bastará solo con la carpeta de rodadura. Las funciones de la capa asfáltica son las siguientes:

- Debe estar diseñada y construida para soportar los fenómenos de fatiga y la acumulación de deformaciones inducidas por las cargas cíclicas, además de resistir a las condiciones ambientales.
- Esta capa recibe las cargas interpuestas por el tránsito, así que deberá estar diseñada y construida de tal manera que brinde a los usuarios un paso cómodo y seguro.
- Esta es impermeable, por lo tanto, impide el paso del agua a las demás capas evitando así la pérdida de resistencia al corte que pueden sufrir las capas granulares de base y subbase.
-

Según ASOPAC (Asociación de Productores y Pavimentadores Asfálticos de Colombia, 2004) La gran parte de vías construidas en Colombia y el mundo son flexibles, ellos afirman que más del 90% de las vías en el mundo y más del 65% de las vías en Bogotá están construidas en pavimento asfáltico.

En la siguiente figura 1 se observa la estructura típica de un pavimento flexible:

Figura 1 Estructura típica de un Pavimento Flexible



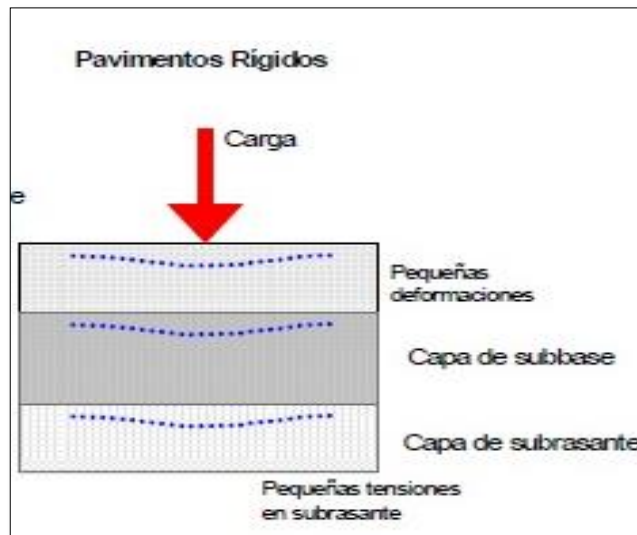
Fuente: (Pavimentos, 2013)

5.2.2 Pavimentos Rígidos

Según (Montejo Fonseca, 2002) son aquellos que están constituidos principalmente por una losa de concreto hidráulico, que reposa sobre una subrasante o subbase. La distribución de los esfuerzos generados por el tránsito se hace en una zona muy amplia, debido a la alta rigidez del concreto, así como su elevado coeficiente de elasticidad, transmitiendo al suelo esfuerzos mínimos.

A continuación, en la figura 2 se muestra una estructura de pavimento rígido:

Figura 2 Estructura Típica de un Pavimento Rígido



Fuente: (Pavimentos, 2013)

De acuerdo con (Montejo Fonseca, 2002), las funciones principales que deberán cumplir cada una de las capas son las siguientes:

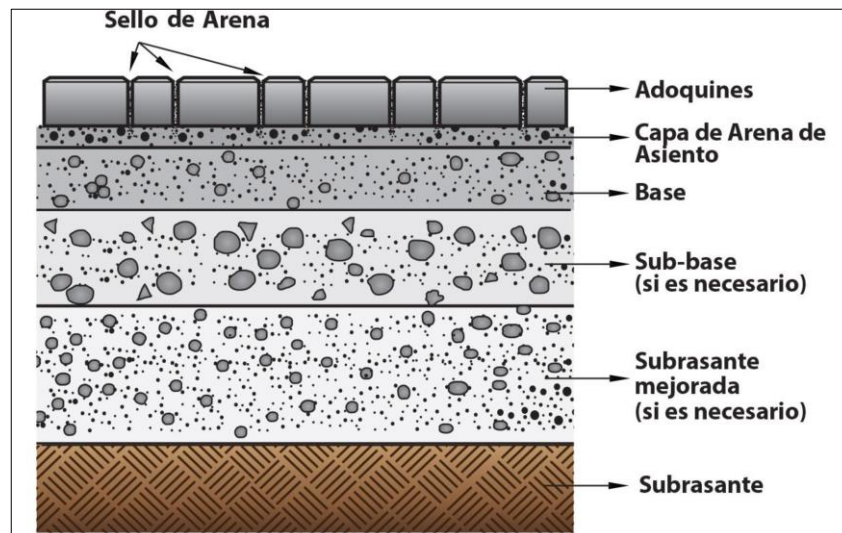
- **Subbase:** Su función principal es la de evitar el bombeo en las juntas y grietas del pavimento, debe suministrar un apoyo uniforme al pavimento y disminuir al máximo el agua que se puede acumular bajo el pavimento.
- **Losa de Concreto:** Sus funciones son las mismas del pavimento flexible, adicionando soportar y transmitir adecuadamente los esfuerzos que se le apliquen.

5.2.3 Pavimentos Articulados

De acuerdo con (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala) los pavimentos en adoquín están conformados por varias capas de materiales seleccionados, el espesor de cada una de las capas dependerá del tránsito que soportará el pavimento, la capacidad soporte del suelo y la calidad de los materiales, así como se muestra en la figura 3.

Según (Montejo Fonseca, 2002) A diferencia de los pavimentos anteriormente mencionados, esta tipología tiene como capa de rodadura bloques de concretos prefabricados, denominados adoquines, los cuales deben tener un mismo espesor. Según la calidad de la subrasante y los esfuerzos transmitidos por el tránsito, los adoquines pueden ir con una capa de arena de asiento y apoyados sobre una capa de subbase o directamente sobre la subrasante.

Figura 3 Estructura típica de un pavimento articulado

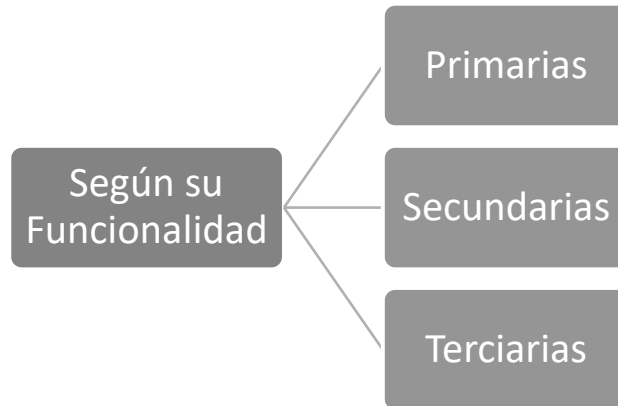


Fuente: (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala, pág. 9)

5.3 Clasificación de las Carreteras

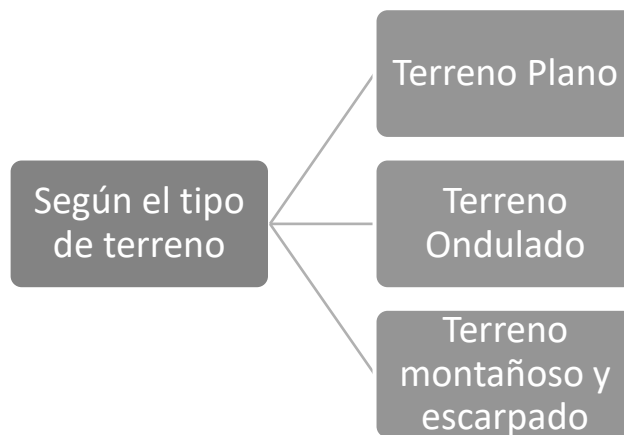
De acuerdo con (Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías, 2008) las carreteras se clasifican según su funcionalidad en la tabla 2 o tipo de terreno en la tabla 3, como se muestra a continuación:

Tabla 2 Clasificación de carreteras según su funcionalidad



Adaptado de: (Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías, 2008)

Tabla 3 Clasificación de carreteras según el tipo de terreno

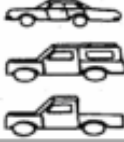
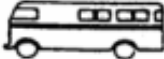


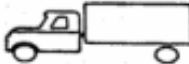
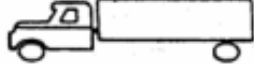

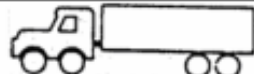

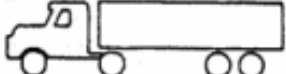

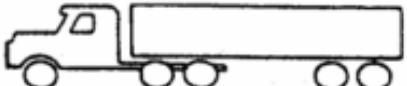
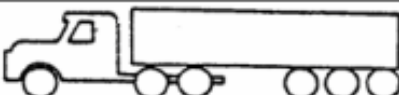


Adaptado de: (Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías, 2008).

5.4 Clasificación de los vehículos

Según el Instituto Nacional de Vías (2007), en el territorio nacional los vehículos se clasifican de acuerdo con la configuración de sus ejes, como se muestra a continuación:

Figura 4 Clasificación de los vehículos en Colombia

TIPO DE VEHÍCULO		ESQUEMA
AUTOS		
BUSES	BUSETA	
	BUS	
	BUS METROPOLITANO	
C2-P	CAMIÓN DE DOS EJES PEQUEÑOS	
C2-G	CAMIÓN DE DOS EJES GRANDES	
C3 Y C4	CAMIÓN C3	
	CAMIÓN C4	
	TRACTOR-CAMIÓN C2-S1	
	TRACTOR-CAMIÓN C2-S2	
	TRACTOR CAMIÓN C3-S1	
C5	TRACTOR CAMIÓN C3-S2	
> C5	TRACTOR CAMIÓN C3-S3	

Fuente: (Ministerio de Transporte; Instituto Nacional de Vías, 2007, pág. 12)

5.5 Metodología del Índice de Condición del Pavimento (PCI)

Esta metodología es la más completa para una evaluación objetiva de la condición en la que se encuentra un pavimento flexible o rígido, la cual se fundamenta en una inspección visual a la superficie del pavimento, en donde se realiza un inventario de daños presentes, teniendo en cuenta, la clase de daño, su severidad y la cantidad que se manifiesta.

El PCI es para (ASTM Internacional, 2003) un índice numérico que determina la condición en la que se encuentra un pavimento, éste evalúa mediante una escala que varía desde cero (0) para un pavimento fallado hasta cien (100) para un pavimento en excelente estado.

El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie. La información de los daños obtenida como parte del inventario ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima. (Vásquez Varela, 2002, pág. 2)

A continuación, en la tabla 4, se muestran los rangos del PCI con la descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Tabla 4 Rangos del PCI

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

Adaptado de: (Vásquez Varela, 2002)

Para (Vicuña Vergara, 2015) la metodología PCI es un método confiable para la evaluación de pavimentos teniendo en cuenta costo – eficiencia para la determinación de opciones de rehabilitación a partir de una inspección visual. Además, los resultados obtenidos reducirán costos a comparación de intervenciones como la reconstrucción de la vía.

5.6 Tipos de Fallas

Los daños que se pueden presentar en los pavimentos flexibles y rígidos son los siguientes:

5.6.1 Pavimento Asfáltico

En la Tabla 5 se definirán brevemente cada una de las fallas que se pueden presentar en un pavimento asfáltico, se explicaran sus niveles de severidad y la opción de reparación.

Tabla 5 Fallas en pavimentos asfálticos

Tipo de Daño		Unidad de medida	Nivel de Severidad	Opciones de Reparación
1	Piel de Cocodrilo	m ²	Bajo: Grietas Finas (3mm)	Sello Superficial
			Medio: Grietas medias (entre 1 y 3 mm)	Parqueo Parcial
			Alto: Grietas definidas (> a 3mm)	Reconstrucción
2	Exudación	m ²	Bajo: Asfalto no pegajoso	Se aplica arena
			Medio: Asfalto pegajoso	Se aplica arena
			Alto: Asfalto muy pegajoso	Se aplica agregados
3	Agrietamiento en Bloque	m ²	Bajo: Grietas finas	Sellado de grietas
			Medio: Grietas medias	Sellado de grietas
			Alto: Grietas definidas	Sellado de grietas
4	Abultamientos y Hundimientos	m	Bajo: Pequeña afectación	No se hace nada
			Medio: Media afectación	Parqueo parcial
			Alto: Alta afectación	Parqueo profundo
5	Corrugación	m ²	Bajo: Pequeña afectación	No se hace nada
			Medio: Media afectación	Reconstrucción
			Alto: Alta afectación	Reconstrucción
6	Depresión	m ²	Bajo: Entre 13 y 25 mm	Parqueo superficial
			Medio: Entre 25 y 51 mm	Parqueo superficial
			Alto: > 51 mm	Parqueo profundo
7	Grieta de Borde	m ²	Bajo: Grietas finas	Parqueo parcial
			Medio: Grietas medias	Parqueo parcial
			Alto: Grietas definidas	Parqueo profundo
8		m	Bajo: < 10 mm	Parqueo parcial
			Medio: Entre 10 y 76 mm	Parqueo parcial

	Grieta de Reflexión de Junta		Alto: > 76 mm	Reconstrucción
9	Desnivel Carril / Berma	m	Bajo: Entre 25 y 51 mm	Renivelación
			Medio: Entre 51 y 102 mm	Renivelación
			Alto: Desnivel > 102 mm	Renivelación
10	Grietas Longitudinales y Transversales	m	Bajo: < 10 mm	Sellado de grietas
			Medio: Entre 10 y 76 mm	Sellado de grietas
			Alto: > 76 mm	Parcheo parcial
11	Parcheo y Acometida de Servicios Públicos	m ²	Bajo: Parcheo bueno	No se hace nada
			Medio: Parcheo deteriorado	Sustituir el parche
			Alto: Parcheo muy deteriorado	Sustituir el parche
12	Pulimiento de Agregados	m ²	No se toma en cuenta el nivel de severidad, pero debe ser considerable	Tratamiento superficial o un fresado
13	Huecos	U	Bajo: Prof. máx de 12.7 a 25.4 con un diámetro de 102 a 457 mm y Prof. máx > 25.4 a 50.8 con un diámetro de 102 a 203	B: Parcheo parcial
			Medio: Prof. Máx de 12.7 a 25.4 con un diámetro de 457 a 762 mm, > 25.4 a 50.8 con un diámetro entre 203 y 457 mm, Prof. Máx. > 50.8 con un diámetro entre 102 y 457 mm.	M: Parcheo profundo
			Alto: Prof. Máx de > 25.4 a 50.8 y > a 50.8 con un diámetro de 457 a 762 mm.	A: Parcheo profundo
14	Cruce de Vía Férrea	m ²	Bajo: Pequeña afectación	Parcheo superficial
			Medio: Media afectación	Parcheo parcial
			Alto: Alta afectación	Parcheo profundo
15	Ahuellamiento	m ²	Bajo: Entre 6 a 13 mm	Parcheo superficial
			Medio: Entre 13 a 25 mm	Parcheo parcial
			Alto: > 25 mm	Parcheo profundo
16	Desplazamiento	m ²	Bajo: Pequeña afectación	Parcheo parcial
			Medio: Media afectación	Parcheo profundo
			Alto: Alta afectación	Fresado

17	Grieta Parabólica	m	Bajo: < 10 mm	Parqueo parcial
			Medio: Entre 10 y 38 mm	Parqueo parcial
			Alto: > 38 mm	Parqueo parcial
18	Hinchamiento	m ²	Bajo: Pequeña afectación	No se hace nada
			Medio: Media afectación	No se hace nada
			Alto: Alta afectación	Reconstrucción
19	Desprendimiento de Agregados	m ²	Perdida de agregados	Sello superficial
			Pérdida de agregados o ligante	Tratamiento superficial
			Pérdida considerable de agregados o ligante	Reconstrucción

Adaptado de: (Freire Ochoa, 2020)

5.6.2 Pavimento en Concreto

A continuación, en la tabla 6 se definirán brevemente cada una de las fallas que se pueden presentar en un pavimento rígido, se explicaran sus niveles de severidad y la opción de reparación.

Tabla 6 Fallas en pavimentos rígidos

Tipo de Daño		Unidad de medida	Nivel de Severidad	Opciones de Reparación
1	Blowup-buckling	m	Bajo: Grietas Finas	Parqueo profundo o parcial
			Medio: Grietas medias	Reemplazo de la losa
			Alto: Grietas definidas	Reemplazo de la losa
2	Grieta de esquina	m	Bajo: Ligeramente agrietada	Sellado de grieta de más de 3" mm
			Medio: Junta presenta severidad media	Sellado de grieta/parqueo profundo
			Alto: Junta y grieta muy agrietada	Parqueo profundo

3	Losas divididas	m	Bajo: 4 a 5 y 6 a 8 fragmentos de la losa.	Sellado de grietas ancho > 3mm
			Medio: 4 a 5 y 6 a 8 fragmentos de la losa.	Reemplazo de la losa
			Alto: 8 o más fragmentos de la losa.	Reemplazo de la losa
4	Grietas de durabilidad	m	Bajo: Cubren menos del 15% del área	No se hace nada
			Medio: Cubren entre menos del 15% y más del 15% del área	Reconstrucción de juntas
			Alto: Cubren más del 15% del área	Reemplazo de la losa
5	Escala	mm	Bajo: 3 a 10mm	No se hace nada
			Medio: 10 a 19 mm	Fresado
			Alto: Mayor de 19 mm	Fresado
6	Daño del sello de la junta	mm	Bajo: El sellante está en buena condición	No se hace nada
			Medio: con 1 o más tipos de daño en grado moderado	Resellado de juntas
			Alto: El sellante requiere reemplazo inmediato	Resellado de juntas
7	Desnivel carril/berma	m	Bajo: Entre 25 y 51 mm	Renivelación y llenado de berma
			Medio: Entre 25 y 51 mm	Renivelación y llenado de berma
			Alto: Desnivel > 102 mm	Renivelación y llenado de berma
8	Grietas lineales	mm	Bajo: Grietas no selladas	No se hace nada
			Medio: Entre 10 y 76 mm	Sellado de grietas
			Alto: Grieta no sellada > 51.0mm	Parqueo profundo/reemplazo de losa

9	Parce grande (mayor de 0.45 m ²) y acometidas de servicios públicos)	m ²	Bajo: Funciona bien con o sin daño	No se hace nada
			Medio: Moderadamente deteriorado	Sellado de grietas o reemplazo de parche
			Alto: el estado de deterioro exige reemplazo	Reemplazo de parche
10	Parche pequeño (menor de 0,45 m ²)	m ²	Bajo: Funciona bien con o sin daño	No se hace nada
			Medio: Moderadamente deteriorado	Sellado de grietas o reemplazo de parche
			Alto: el estado de deterioro exige reemplazo	Reemplazo de parche
11	Pulimientto de Agregados	m ²	No se toma en cuenta el nivel de severidad, pero debe ser considerable	Ranurado superficial o un sobrecarpeta
12	Popouts	m ²	La densidad promedio debe exceder tres metros cuadrados	No se hace nada
13	Bombeo	m ²	No se toma en cuenta el nivel de severidad, pero debe ser considerable	Sellado de juntas y grietas
14	Punzonamiento	U	Bajo: 2 a 3 y 4 a 5 # de pedazos.	No se hace nada
			Medio: 4 a 5 o más de 5 # de pedazos.	Parqueo profundo
			Alto: 4 a 5 o más de 5 # de pedazos.	Parqueo profundo
15	Cruce de Vía Férrea	m ²	Bajo: Pequeña afectación	No se hace nada
			Medio: Media afectación	Reconstrucción del cruce
			Alto: Alta afectación	Reconstrucción del cruce

16	Grieta de retracción	mm	No se toma en cuenta el nivel de severidad, pero debe ser considerable	No se hace nada
17	Desconchamiento, mapa de grietas, craquelado	mm ²	Bajo: Descamado menor presente	No se hace nada
			Medio: Descamado menor al 15% de la losa	Reemplazo de la losa
			Alto: Descamado más del 15% de su área	Reemplazo de la losa /sobrecarpeta
18	Descascaramiento de esquina	m	Bajo: Menor de 25.0 mm	No se hace nada
			Medio: Mayor 25.0mm a 51.0 mm	Parqueo parcial
			Alto: Mayor de 51.0 mm	Parqueo parcial
19	Descascaramiento de junta	m ²	Bajo: Ancho <102 mm- Longitud < 0.6m	No se hace nada
			Medio: Ancho <102mm- Longitud >0.6m	Parqueo parcial
			Alto: Ancho >102mm- Longitud >0.6m	Parqueo parcial /Reconstrucción de la junta

Adaptado de: (Vásquez Varela, 2002, págs. 46, 79)

6. MARCO CONCEPTUAL

- **Carpeta Asfáltica**

Para (Copa, 2016) la carpeta asfáltica de un pavimento flexible se encuentra ubicada en la parte superior, la cual, está en contacto directo con los vehículos que transitan por la vía, permitiendo el rodamiento para todo tipo de vehículo, que lo requiera. La carpeta asfáltica está ubicada sobre la base y subbase, las cuales, ayudan a transmitir de una forma uniforme, dirigiéndolas a la subrasante, soportar las cargas del pavimento flexible.

- **Base**

Según (Rodríguez, 2009) la base es la segunda capa del pavimento, luego de la capa de rodadura, la cual, tiene como principal objetivo de soportar, distribuir y transmitir las cargas a la tercera capa, (subbase), que se encuentra ubicada en la parte inferior, sobre la subrasante. Esta, está conformada por material granular (piedra tritura, y/o agregados naturales del suelo), de igual forma, la base puede ser estabilizada por medio de cal u otros materiales bituminosos, para soportar la carga de la superficie y transmitirla hacia los niveles inferiores como lo es la subrasante.

- **Subbase**

De acuerdo con lo mencionado por (Rodríguez, 2009) la subbase se encuentra ubicada por debajo de la segunda capa del pavimento (base), la cual está sobre la subrasante, destinada a cumplir las mismas funciones que la base, la cual, es transmitir y distribuir las cargas proporcionadas por la carpeta asfáltica, dirigiéndolas a la subrasante uniformemente, permitiendo drenar y controlar los ascensos capilares ocasionados por el agua. Así, evitando que se lleguen a producir fallas por hinchamiento del agua, controlando los cambios de volúmenes y de elasticidad del terreno que hace parte de la fundación, minimizando los daños en el pavimento.

- **Rehabilitación**

Para (Pacheco Leguía, 2016) la rehabilitación es una actividad necesaria la cual permite devolver al pavimento flexible las condiciones óptimas para lograr el soporte de las cargas con las que inicialmente se diseñó y construyó, brindando seguridad y comodidad a los vehículos que transitan por el sector. la rehabilitación no eleva el estándar de la vía, pero, realiza un reforzamiento al pavimento flexible, proporcionando un mayor alcance al tránsito a futuro, solucionando las necesidades

de no haberse conservado en sus condiciones iniciales, ya sea por aumento en el tránsito y/o efectos del medio ambiente.

- **Muestra adicional.**

El Instituto Nacional de Vías nos proporciona la siguiente información:

Una unidad de muestra inspeccionada adicionalmente a las seleccionadas aleatoriamente para incluir unidades de muestra no representativas en la determinación de la condición del pavimento. Estas unidades presentan condiciones extremas, muy pobres o excelentes, que no son típicas de la sección, y fallas poco comunes, como los cortes en el pavimento para instalaciones. Si una unidad de muestra con fallas inusuales es seleccionada aleatoriamente debe ser contabilizada como una Muestra Adicional y otra muestra aleatoria debe ser elegida. Si todas las unidades de muestra son inspeccionadas no existen Muestras Adicionales. Esta información se encuentra en la (pág. 7)

- **Muestra aleatoria.**

De acuerdo con la NORMA ASTM D 5340 brinda la siguiente información:

“Una unidad de muestra de la sección de pavimento seleccionada para la inspección utilizando técnicas aleatorias de muestreo como la tabla de número aleatorio o procedimiento sistemático aleatorio”

- **Fallas del Pavimento.**

Según (Vásquez Varela, 2002), menciona Indicadores externos del deterioro del pavimento causado por cargas, factores atmosféricos, deficiencias en su construcción, o una combinación de estas ocasionando que los pavimentos tengan menos serviciabilidad y durabilidad.

- **Materiales e instrumentos.**

Para (Rodríguez, 2009) proporciona un documento donde se registrará toda la información obtenida durante la inspección visual: fecha, ubicación, tramo, sección, tamaño de la unidad de muestra, tipos de fallas, niveles de severidad, cantidades, y nombres del personal encargado de la inspección. La cual, podrán observar más adelante.

7. MARCO GEOGRÁFICO

De acuerdo con (Colombia.com, s.f.) Colombia se encuentra ubicada entre la latitud $04^{\circ} 00' N$ y longitud $72^{\circ} 00' W$, situado en la esquina noreste de América del Sur. El territorio colombiano cuenta con una superficie de $2'129.748 \text{ km}^2$, de los cuales $1'141.748 \text{ km}^2$ corresponden a su territorio continental; los restantes 988.000 km^2 a su extensión marítima. Limita al sur con Perú y Ecuador, al este con Venezuela y Brasil y al noreste con Panamá. En la figura 5 se observa el mapa de Colombia.

Figura 5 Mapa de Colombia

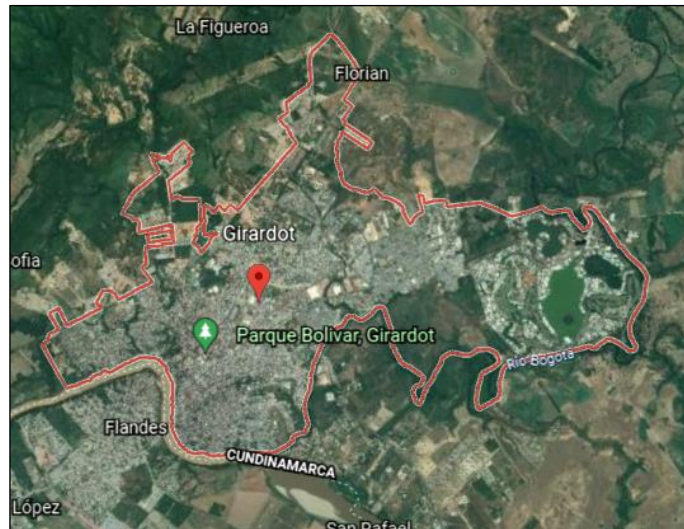


Fuente: Google Earth

De acuerdo con (Asociación Municipal de Juntas de Acción Comunal, 2012) Girardot es un municipio del Departamento de Cundinamarca, está situado en la parte media de la provincia del Alto Magdalena, en la zona tropical hacia el centro de la República de Colombia, ubicado a $4^{\circ}17'36''$ de latitud Norte y $0^{\circ} 44' 55'' W$ de longitud con respecto al meridiano de la capital del país. Cuenta con una extensión de 138 km^2 , limita por el Norte con los municipios de Nariño y Tocaima, por el Sur con Flandes Departamento del Tolima y el Río Magdalena, por el Oriente con el municipio de Ricaurte y el Río Bogotá, por el Occidente con el Departamento del Tolima y parte del municipio de Nariño.

En la Figura 6 se observa el municipio de Girardot y algunas de sus limitaciones.

Figura 6 Municipio de Girardot



Fuente: Google Earth

La vía seleccionada para la evaluación del estado actual del pavimento está ubicada entre la comuna 4 y 5 del municipio de Girardot, así como se evidencia en la figura 7. Ésta inicia en la glorieta de Unicentro y finaliza en la calle 48 del barrio Portachuelo.

Figura 7 Localización del Tramo vial



Fuente: Google Earth

8. MARCO CONTEXTUAL

La vía en estudio es una de las principales del municipio de Girardot, pues comunica a varios barrios entre sí y actualmente es una zona en donde se presenta una expansión urbana por conjuntos y condominios. Esta vía es transitada por diferentes medios de transporte, por lo tanto, debe ofrecer seguridad y comodidad a sus usuarios.

El tramo de vía seleccionado para el desarrollo de este trabajo divide a las comunas 4 y 5 del municipio de Girardot, tal como se observa en la figura 8. Inicia en la Diagonal 8 desde la Glorieta ubicada junto al Centro Comercial Unicentro, pasando por los conjuntos residenciales Alicante I y II, el sector conocido como la carbonera, los barrios Altos del Peñón y Triunfo, atravesando la calle 40, por el Condominio Reservas del Peñón, el Condominio Parque Central, el Condominio Montana, el Barrio Kennedy, el Conjunto Residencial Altos de Chicalá hasta llegar a la Calle 48 del Barrio Portachuelo.

El tramo de vía tiene una extensión de 2.196 km y cuenta con dos tipos de pavimentos: pavimento rígido y pavimento flexible, siendo en su mayoría este último.

En la figura 8 se muestra el inicio del tramo desde la diagonal 8 sector de la Glorieta de Unicentro Av. Portachuelo

Figura 8 Inicio del Tramo: Diagonal 8 - Glorieta de Unicentro



Fuente: Google Earth

En la figura 10 se observa la parte final de tramo de vía seleccionado, en la calle 48 del barrio Portachuelo.

Figura 9 Fin del Tramo: Calle 48 del Barrio Portachuelo



Fuente: Google Earth

En la siguiente figura 11 se observan los tramos en los que se dividió la vía de acuerdo con el tipo de pavimento, siendo el color amarillo el pavimento flexible y el rojo el pavimento rígido.

Figura 10 Tramo de vía seleccionado



Fuente: Google Earth

9. MARCO INSTITUCIONAL

La información de la reseña histórica, misión y visión de la universidad Piloto de Colombia, expuesta en este marco de referencia fue extraída de la página oficial citada a continuación (Universidad Piloto de Colombia , s.f.).

9.1 Reseña Histórica

Hace 58 años un grupo de estudiantes de la facultad de Arquitectura de una Universidad de la ciudad de Bogotá, inconformes con la educación y en desacuerdo con el sistema educativo universitario colombiano, en un acto de rebeldía proclamaron en un movimiento de renovación estudiantil para crear una institución que cumpliera con sus expectativas para y así dar respuesta a la juventud del país.

Por el inconformismo de la educación de los años 60s estos estudiantes decidieron fundar una Universidad a finales de agosto de 1962, agrupándose todos los estudiantes y conformando equipos de trabajo se instalaron temporalmente en el teatro del parque nacional.

Un grupo de Senadores de la República, destacando a los doctores Alfonso Palacio Rudas y Raúl Vázquez Vélez apoyaron la idea, facilitando a los estudiantes y padres de familia el Salón Elíptico del Capitolio Nacional, para que allí reunidos aprobaran el Estatuto del 14 de septiembre de 1962 y dieran origen a la universidad denominada como CORPORACIÓN UNIVERSITARIA PILOTO DE COLOMBIA.

Los estudiantes invitaron a profesionales para encargarnos de las cátedras, con el pasar de los años culminaron su preparación académica y profesional, obteniendo finalmente su título en la universidad que habían fundado el 27 de mayo de 1970 siendo esta la primera promoción de la UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA.

Los gestores de la Universidad Piloto de Colombia siguieron el ejemplo de la Universidad Italiana de Bolonia creada en el año 1153, es decir que 800 años después se revivió la “Universitas Scholarium”, en donde los estudiantes convocaron a sus maestros y le dieron a la organización su propio estilo de administración”.

9.2 Visión

La Universidad Piloto de Colombia se proyecta como un centro universitario de excelencia, que fundamenta su prestigio en la práctica de la gestión institucional en el impacto en la cultura, en la ciencia, en la tecnología y en el desarrollo de la sociedad. (Par.1)

El alcance de la Universidad Piloto de Colombia se basa en el reconocimiento por la comunidad académica y científica, como líder en la formación integradora del ser social para el progreso intelectual y científico del hombre libre, con altos valores humanos y comprometidos con la sociedad en general. (Par. 2)

9.3 Misión

La Universidad Piloto de Colombia forma profesionales con pensamiento crítico, conocimiento científico, respetuosos de la diversidad humana y sus expresiones culturales; comprometidos con la solución de problemas en el contexto nacional e internacional; mediante la investigación científica, la formación integral de personas como actores de cambio, para contribuir al mejoramiento de la calidad de vida y la sostenibilidad. (Par.1)

Institución de formación que hace investigación. (Par.2)

9.4 Características

La Universidad forma personas emprendedoras, a la vanguardia del desarrollo científico y tecnológico para liderar una sociedad que fomente la democracia participativa, la tolerancia, la libertad, el compromiso con la comunidad, la ciencia y el respeto por el entorno y por la vida en todas sus formas y manifestaciones.

Busca fortalecer el entorno del cual hace parte, principalmente en sectores estratégicos del desarrollo regional, en lo urbano, lo financiero, en las organizaciones, la informática y las telecomunicaciones; fomentando el conocimiento y el respeto a la protección del medio ambiente.

10. MARCO LEGAL

10.1 ASTM D6433 – 03 “Procedimiento Estándar para la Inspección del Índice de Condición del Pavimento en Caminos y Estacionamientos”

El tramo de vía seleccionado para el desarrollo del presente proyecto se evaluó mediante la metodología del índice de Condición del Pavimento (PCI), desarrollada por la ASTM, la cual nos brinda el procedimiento para realizar la evaluación de la condición del pavimento de la vía, de acuerdo con los daños presentes en el asfalto y en las losas de concreto, teniendo en cuenta la clase, cantidad y severidad de estos.

10.2 Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras

Este documento es tomado como guía para el desarrollo del presente proyecto el documento, el Manual fue elaborado por el Ingeniero Luis Ricardo Vásquez Varela, el cual se basa en la ASTM D6433 – 03, brindando un informe traducido en donde de manera resumida explica la aplicación de la metodología.

10.3 Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles

Este manual elaborado en un convenio por la Universidad Nacional de Colombia y el Instituto Nacional de Vías, nos proporcionará una guía para la inspección visual y reconocimiento de daños presentes en un pavimento flexible, brindándonos información tal como, daños más comunes con su respectiva definición, las causas que los generan, la unidad de medición, así como sus severidades y evolución probable.

10.4 Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos

Este manual elaborado en un convenio por la Universidad Nacional de Colombia y el Instituto Nacional de Vías, nos proporcionará una guía para la inspección visual y reconocimientos de los daños presentes en un pavimento rígido, brindándonos información tal como, daños encontrados en la inspección visual, que permita identificar el tipo, magnitud y severidad.

11. DISEÑO METODOLÓGICO

Mediante una inspección visual al tramo de vía de la diagonal 8 y la avenida el peñón hasta la calle 48 del municipio de Girardot – Cundinamarca, se evidenciará el estado actual de la vía y se identificarán los daños presentes en el pavimento flexible y pavimento rígido evaluándose mediante la metodología del Índice de Condición del Pavimento (PCI).

Se aplicará una metodología descriptiva, explicando los daños encontrados en la inspección visual realizada al pavimento flexible y pavimento rígido, desarrollándose mediante un enfoque mixto, empleando la metodología cualitativa al momento de recoger información basada en hechos reales, recolectando datos del tránsito vehicular que hace uso de esta vía, mediante aforos que se llevarán a cabo en un punto estratégico del tramo vial. Se empleará la metodología cuantitativa al momento de analizar la información obtenida en la inspección visual, para el cálculo del índice de condición del pavimento (PCI).

El desarrollo de la metodología del presente trabajo se llevará a cabo por las fases expuestas a continuación:

Fase I. Recolección de la información preliminar.

- **Localización de la vía**

Se realiza la localización previa del tramo de vía seleccionado, y el registro fotográfico e ilustrativo, como se muestra a continuación:

La vía seleccionada para la evaluación de la condición del pavimento tal como se muestra en la figura 7.

La vía a evaluar consta de una longitud total de 2.196 km a la cual se decidió realizar una evaluación funcional del pavimento de la Diagonal 8 y la avenida el Peñón desde la Calle 40 hasta la Calle 48 del municipio de Girardot, mediante la metodología PCI, la cual, se llevó a cabo por medio del diagnóstico de la vía en cuatro tramos. Se distribuyó de esta forma de acuerdo con que la vía consta de dos tipos de pavimento, pavimento rígido y pavimento flexible. Como principal objetivo, dar un concepto claro de estado vial a partir de un inventario de daños vial, en cada tramo.

- **Estudio de Transito**

Se realiza un recorrido para un reconocimiento visual del tramo vial en estudio, y lograr recolectar información indispensable para el inicio del inventario de daños, como lo es identificar un lugar estratégico para realizar los aforos.

Luego de ello, se realizarán los aforos respectivos, en puntos estratégicos diligenciando un formato de aforos vehiculares para finalmente poder determinar el tipo y la cantidad de tránsito que se presenta en la vía.

El aforo se realizó a un lado de la intersección en cruz, de la avenida el Peñón y la Calle 40. Dicha actividad sen llevó a cabo el día 13 de septiembre del año 2021 en un lapso de 12 horas, desde las 6:30 de la mañana hasta las 6:30 de la tarde.

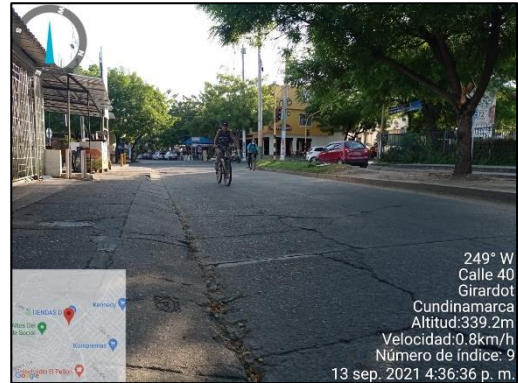
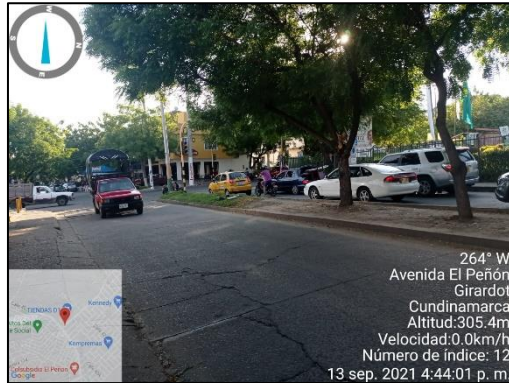
En la siguiente figura 12 se evidencia la intersección en la cual se realizó el aforo vehicular, posterior a esta en la figura 13 y 14 se muestra el registro fotográfico.

Figura 11 Ubicación de toma del aforo



Fuente: Google Maps

Figura 12 y Figura 13 Toma del Aforo




Fuente: Propia de los Autores

Los datos se registraron cada media hora en el siguiente formato:

El formato que se evidencia en la tabla 7, fue utilizado para registrar el aforo vehicular; esta hoja de registro cuenta con una serie de cuadros para marcar cada vez que pase un usuario por la vía, dependiendo el tipo de vehículo en el que este transite, este formato cuenta con casillas para taxis, autos, buses intermunicipales, busetas, vehículos de carga, tales como, C-2P, C-2G, C-3-4, C5 y >C6. También se debe registrar, el día, la condición climática, cada cuanto tiempo se tomaron los aforos, hora de inicio y fin.

Tabla 7 Formato para Aforo Vehicular

		NOMBRE DE PROYECTO: AFOROS VEHICULARES								INGENIERIA CIVIL REVISION 0		
Fecha (D.M.A.):		Estación de Aforo:								Esquema		
Condición Climática:		Movimientos Aforados:								<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
Aforador:		Hoja de								<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
Coordinador:		Hora de Inicio:				Hora Final:						
PER	MOV	TAXIS	AUTOS	BUS INTERM	BUSETA	C-2P	C-2G	C-3-4	C5	>C6	Motos	OBSERVACIONES

Fuente: Propia de los Autores

Fase II. Levantamiento de las fallas y determinación de las causas.

En esta segunda fase, realizaremos la identificación de las fallas que se presentan en el pavimento flexible y en el pavimento rígido, teniendo en cuenta la clase, severidad y cantidad del daño evidenciado en la superficie del pavimento.

Lo anterior teniendo en cuenta la (ASTM Internacional, 2003), así mismo para el inicio del levantamiento de fallas según la metodología PCI se debe determinar lo siguiente:

- **Unidades de Muestreo**

Inicialmente se debe dividir el tramo vial en varias secciones las cuales se determinan de acuerdo con el tipo de pavimento de la vía seleccionada.

Según (Vásquez Varela, 2002) en el Manual para determinar el Índice de condición para pavimentos flexibles y rígidos, las unidades de muestreo varían de acuerdo con la capa de rodadura:

“Para Carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7.30 m:
El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$ ”
(Vásquez Varela, 2002, pág. 3)

En la tabla 8 se establece de acuerdo con (Vásquez Varela, 2002) las longitudes de las unidades de muestreo para pavimento flexible dependiendo el ancho de la calzada que se va a evaluar.

Tabla 8 Longitudes de unidades de muestreo para pavimento flexible

Ancho de Calzada (m)	Longitud de la Unidad de muestreo (m)
5.0	46.0
5.5	41.8
6.0	38.3
6.5	35.4
7.3 (máximo)	31.5

Fuente: (Tacza Herrera & Rodriguez Paez, 2018, pág. 32)

Y para “Carreteras con capa de rodadura en losas de concreto de cemento Pórtland y losas con longitud inferior a 7.60 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango 20 ± 8 losas.” (Vásquez Varela, 2002, pág. 3)

Las posibles fallas presentes en el pavimento flexible y rígido se evidencian en las tablas 5 y 6.


Teniendo esto en cuenta se procede a realizar el levantamiento de fallas presentes en cada unidad de muestreo, midiendo el tipo, la cantidad y la severidad de los daños, usando las hojas de registro de las tablas 9 y 10 según el tipo de pavimento.

Fase III. Aplicación del método PCI.

Este método determina de una forma objetiva y racional las necesidades de mantenimiento y reparación, reconociendo el estado en el que se encuentra cada sector de la vía a evaluar. Teniendo en cuenta el tipo de daño, su severidad y la cantidad que se presenta. Este método califica el pavimento mediante unos rangos que van desde cero (0) para un pavimento fallado hasta cien (100) para un pavimento en excelente estado. (ASTM Internacional, 2003)


Para el desarrollo de esta metodología, se diligencian los siguientes formatos de las tablas 9 y 10 dependiendo del tipo de pavimento.

Tabla 9 Hoja de registro PCI para pavimento flexible

		METODO DE EVALUACIÓN DEL INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI) PAVIMENTO CON SUPERFICIE ASFÁLTICA						
HOJA DE REGISTRO								
NOMBRE DE LA VÍA				EVALUADORES				
UNIDAD DE MUESTRA				FECHA				
ÁREA DE MUESTREO				ESQUEMA				
ABSCISA INICIAL		ABSCISA FINAL						
ANCHO DE VÍA								
Tipos de Daños								
1. Piel de Cocodrilo		11. Parcheo y Acom. Serv. Pub.						
2. Exudación		12. Pulimento de Agregados						
3. Agrietamiento en bloque		13. Huecos						
4. Abultamientos y Hundimientos		14. Cruce de vía ferrea						
5. Corrugación		15. Ahuellamiento						
6. Depresión		16. Desplazamiento						
7. Grieta de Borde		17. Grieta Parabólica						
8. Grieta de Reflexión de Junta		18. Hinchamiento						
9. Desnivel carril / Berma		19. Desprendimiento de Agregados						
10. Grietas Long y Transv.								
Daño	Severidad	Cantidades Parciales			Total	Densidad (%)	Total Densidad	Valor Deducido
		Largo (m)	Ancho (m)	Prof. (m)				

Adaptado de: (Tacza Herrera & Rodriguez Paez, 2018)

Tabla 10 Hoja de registro PCI para pavimento rígido

 METODO DE EVALUACIÓN DEL INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI) PAVIMENTO CON SUPERFICIE EN CONCRETO				
HOJA DE REGISTRO				
NOMBRE DE LA VÍA				EVALUADORES
UNIDAD DE MUESTREO				
NUMERO DE LOSAS				FECHA
ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL	ESQUEMA		
Tipos de Daños				
1. Blow Up / Buckling	11. Pulimento de Agregados			
2. Grieta de Esquina	12. Popouts			
3. Losa dividida	13. Bombeo			
4. Grieta de Durabilidad "D"	14. Punzonamiento			
5. Escala	15. Cruce de vía ferrea			
6. Sello de Junta	16. Desconchamiento			
7. Desnivel carril / Berma	17. Retracción			
8. Grieta Lineal	18. Descascaramiento de esquina			
9. Parqueo (Grande)	19. Descascaramiento de junta			
10. Parqueo (Pequeño)				
<i>Daño</i>	<i>Severidad</i>	<i>Número de Losas</i>	<i>Densidad (%)</i>	<i>Valor Deducido</i>

Adaptado de: (Tacza Herrera & Rodriguez Paez, 2018)

Los formatos anteriormente expuestos se diligencian de la siguiente manera:

- Nombre de la vía: Denominación de la vía seleccionada
- Unidad de Muestra: Se divide la vía en secciones según su tipo de pavimento y capa de rodadura.
- Área de muestreo: Extensión del tramo de vía seleccionado.
- Abscisa inicial: Punto de inicio de la unidad de muestreo
- Abscisa Final: Punto final de la unidad de muestreo.
- Ancho de la Vía (m): Dimensiones de la vía
- Evaluadores: Aquellos que están realizando la evaluación del tramo vial
- Fecha: Día en que se llevó a cabo cada actividad.
- Daño: Tipo de falla que se esté presentando en la unidad de muestreo.
- Severidad: Nivel en el que se encuentra la falla (bajo, medio, alto)
- Cantidades parciales: Longitud o área en la que se presenta la falla.
- Densidad: División entre la cantidad de daños en un tramo y la cantidad total de daños del tramo, expresado en porcentaje (%).
- Valor deducido: se determina restándole 100% al índice de condición del pavimento, se expresa en porcentaje (%)
- Numero de losas: Cantidad de losas evaluadas (Pavimento rígido)
- Esquema: Fotografía general de las fallas presentes en el tramo evaluado.

En base a la información obtenida de la evaluación de campo se identifican los daños presentes en el pavimento, se diligencian los formatos anteriores, y se inicia con el desarrollo de los cálculos necesarios para determinar el índice de condición del pavimento del tramo vial en estudio.

En la siguiente fase, se establecen los cálculos que se llevarán a cabo para la determinación del estado actual en el que se encuentra el tramo de vía de la Diagonal 8 y la avenida el Peñón desde la Calle 40 hasta la Calle 48 del barrio Portachuelo, de acuerdo con la metodología PCI.

Cálculo PCI de las unidades de muestreo

- **Cálculo para carreteras con capa de rodadura asfáltica**

Según (ASTM Internacional, 2003) El cálculo del PCI se realiza mediante el cálculo de valores deducidos de acuerdo con la cantidad y severidad que los daños presentan.

1. Cálculo de Valores Deducidos

- Inicialmente se totaliza cada tipo y nivel de severidad del daño, ubicando dicho valor en la columna TOTAL de la hoja de registro para pavimento flexible
- La DENSIDAD se determina dividiendo la cantidad de cada clase de daño en cada nivel de severidad, en el área total del área de muestreo. Este valor se expresa en porcentaje (%).
- Finalmente, para el cálculo de los valores deducidos se deben tener en cuenta las curvas del valor deducido de acuerdo con el tipo de daños anexas en este documento, las cuales dependen de la densidad y severidad de cada falla.

2. Cálculo del número máximo admisible de valores deducidos (m)

De acuerdo con (Vásquez Varela, 2002) para el cálculo del número máximo admisible de valores deducidos (m) se debe tener en cuenta lo siguiente:

- “Si ninguno o tan sólo uno de los “Valores Deducidos” es mayor que 2, se usa el “Valor Deducido Total” en lugar del mayor “Valor Deducido Corregido”, CDV”
- Estos valores deducidos se deben organizar de mayor a menor.

- El valor del número máximo admisible de valores deducidos (m) se determina mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 1 Cálculo número máximo admisible de valores deducidos para vías pavimentadas

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDB_i)$$

En donde:

m_i = número máximo admisible de valores deducidos para la unidad de muestreo i

HDB_i = El mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo i.

3. Cálculo del máximo valor deducido corregido (CDV)

El cálculo del máximo valor deducido se determina mediante iteraciones, de la siguiente manera.

- Se determina el número de valores deducidos “q” mayores que 2.
- Se suman todos los valores deducidos para determinar el valor deducido total.
- El CDV se determina con el valor “q” y el “valor deducido total” de acuerdo con las curvas pertinentes al tipo de pavimento.
- Se reduce a 2 el menor de los “valores deducidos” que sea mayor que 2 y se realizan los cálculos anteriores hasta llegar a “q” igual a 1.
- El CDV máximo será el número mayor de todos los CDV anteriormente determinados.

La tabla 11 es el formato que se utilizará para la obtención de máximo valor deducido corregido (CDV)

Tabla 11 Formato para la obtención del CDV

Número	Valores Deducidos					VDT	q	CDV
							Máx. CDV	

Adaptado de: (Vásquez Varela, 2002, pág. 8)

4. Calculo PCI de la Unidad

Este valor se obtiene restando de 100 el valor deducido corregido (CDV) y una vez determinado se clasifica de acuerdo con la tabla 4.

- **Cálculo para carreteras con capa de rodadura en concreto de cemento portland.**

Según (ASTM Internacional, 2003) El cálculo del PCI se realiza mediante el cálculo de valores deducidos de acuerdo con la cantidad y severidad que los daños presentan.

1. Cálculo de los Valores Deducidos

- Inicialmente se debe contabilizar el número de losas que presentan cada combinación de daño y nivel de severidad en la hoja de registro para pavimento rígido.
- Se toma el resultado anterior y se divide entre el número de losas de la unidad de muestreo, obteniendo la DENSIDAD. Este valor se expresa en porcentaje (%).
- Finalmente, para el cálculo de los valores deducidos se deben tener en cuenta las curvas del valor deducido de acuerdo con el tipo de daños anexas en este documento, las cuales dependen de la densidad y severidad de cada falla.

2. Cálculo del número máximo admisible de valores deducidos (m)

Este valor se determina de la misma manera en la que se expresó para pavimento flexible.

3. Cálculo del máximo valor deducido corregido (CDV)

Se procede de la misma manera expresada anteriormente con la tabla 11, teniendo en cuenta que las curvas serán aquellas para pavimentos rígidos.

4. Cálculo del PCI para la Unidad

Este valor se obtiene restando de 100 el valor deducido corregido (CDV) y una vez determinado se clasifica de acuerdo con la tabla 4.

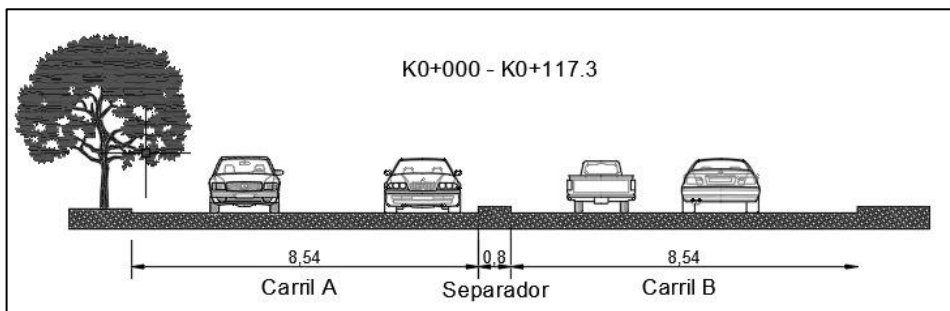
12. ANÁLISIS DE RESULTADOS

12.1 Información General

La vía en estudio cuenta con una longitud de 2.196 km y altitud de 305.40, esta vía conecta a varios barrios, por lo tanto, por allí transitan muchos vehículos, generando una exigencia mayor para el pavimento que no fue diseñado para soportar estas cargas, por ello esta vía presenta tantos deterioros.

A continuación, en la figura 14 se presentan en perfil de la vía del K0+000 hasta el K0+117.3, la cual cuenta con 2 carriles de 8.54 m y un separador de 80 cm.

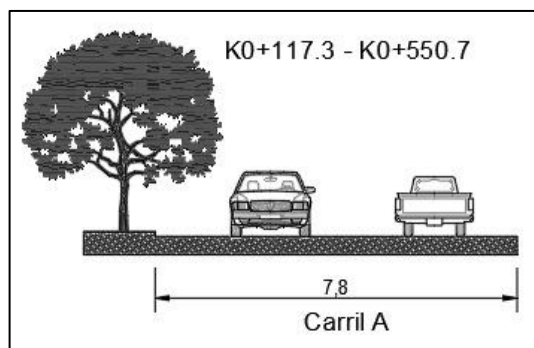
Figura 14 Perfil de la vía del K0+000 hasta el K0+117.3



Fuente: Propia de los Autores

En la figura 15 se evidencia el perfil de la vía comprendida desde la abscisa K0+117.3 hasta la K0+550.7, esta vía es una vía de 1 carril en donde se transita en ambos sentidos, con un ancho de 7.8 m.

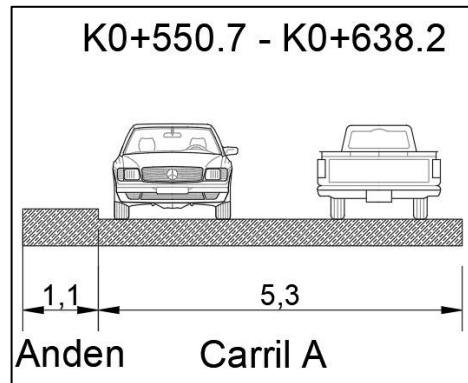
Figura 15 Perfil de la vía del K0+117.3 hasta el K0+550.7



Fuente: Propia de los Autores

En la figura 16 expuesta a continuación, se evidencia el perfil de la vía desde la abscisa K0+550.7 hasta la K0+638.2, la cual cuenta con un ancho de 5.3 m y es una vía compuesta por 1 carril en dos sentidos.

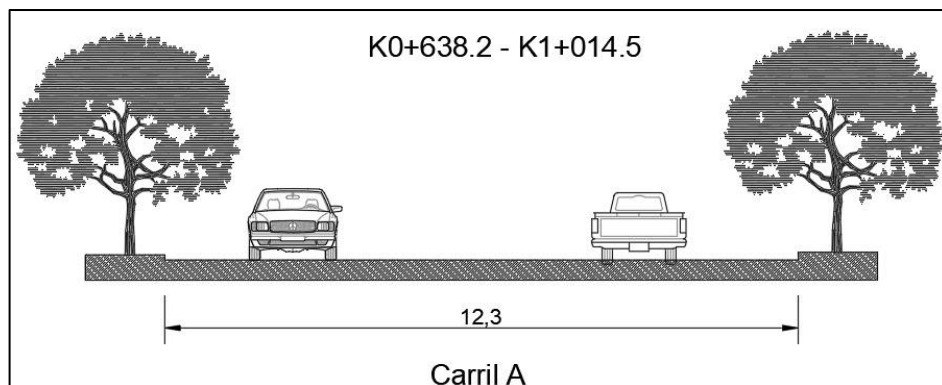
Figura 16 Perfil de la vía del K0+550.7 hasta el K0+638.2



Fuente: Propia de los Autores

En la siguiente figura, se muestra el perfil de la vía comprendida entre la abscisa K0+638.2 hasta la abscisa K1+014.5, la cual cuenta con una vía conformada por 1 carril con paso en ambos sentidos y un ancho de vía de 12.3 m.

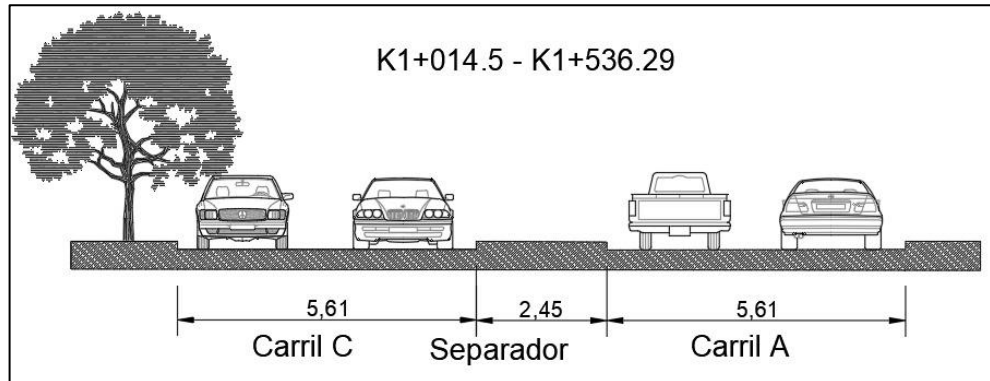
Figura 17 Perfil de la vía del K0+638.2 hasta el K1+014.5



Fuente: Propia de los Autores

En la siguiente figura se observa el perfil del tramo comprendido entre la abscisa K1+014.5 y la K1+536.29, la cual cuenta con 2 carriles con un ancho de 5.61m.

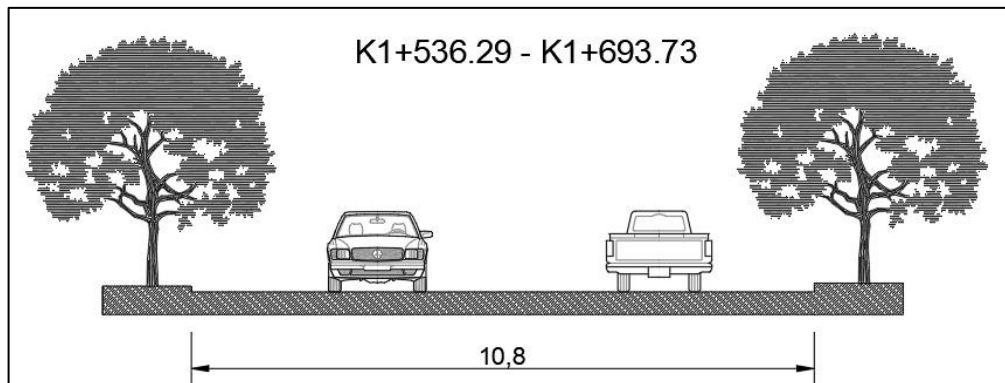
Figura 18 Perfil de la vía del K1+014.5 hasta el K1+536.29



Fuente: Propia de los Autores

En la figura 19 se observa el perfil de la vía en la unidad de muestreo comprendida desde la abscisa K1+536.29 hasta la K1+693.73, la cual cuenta con un ancho de 10.8m y es una vía de 1 carril en ambos sentidos.

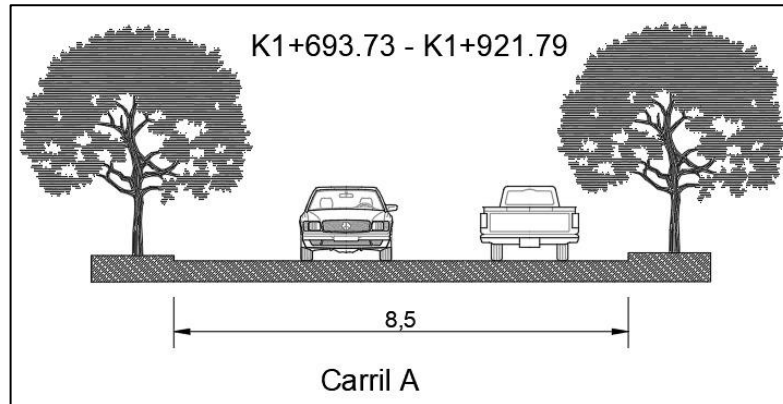
Figura 19 Perfil de la vía del K1+536.29 hasta el K1+693.73



Fuente: Propia de los Autores

La siguiente figura 20 muestra el perfil de la vía del tramo comprendido en la abscisa K1+693.73 hasta la K1+921.79, con un ancho de 8.5 m.

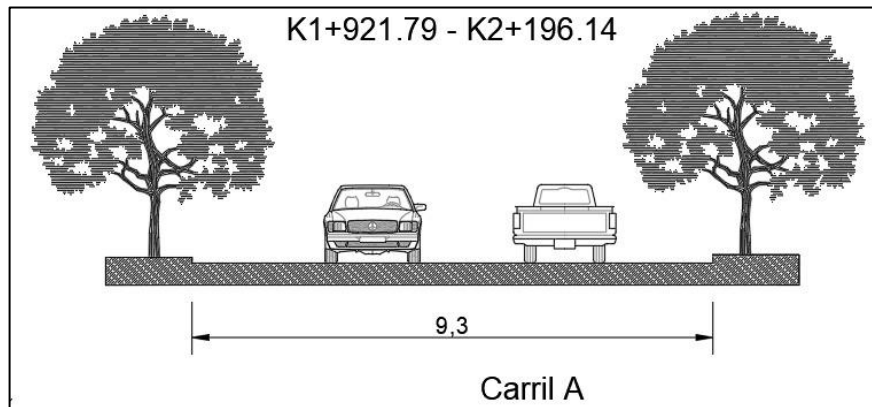
Figura 20 Perfil de la vía del K1+693.73 hasta el K1+921.79



Fuente: Propia de los Autores

El perfil de la vía del tramo entre la abscisa K1+921.79 y la K2+196.14 se muestra en la figura 21, la cual cuenta con un ancho de 9.3 m y es una vía de 1 carril en dos sentidos.

Figura 21 Perfil de la vía del K1+921.79 hasta el K2+196.14



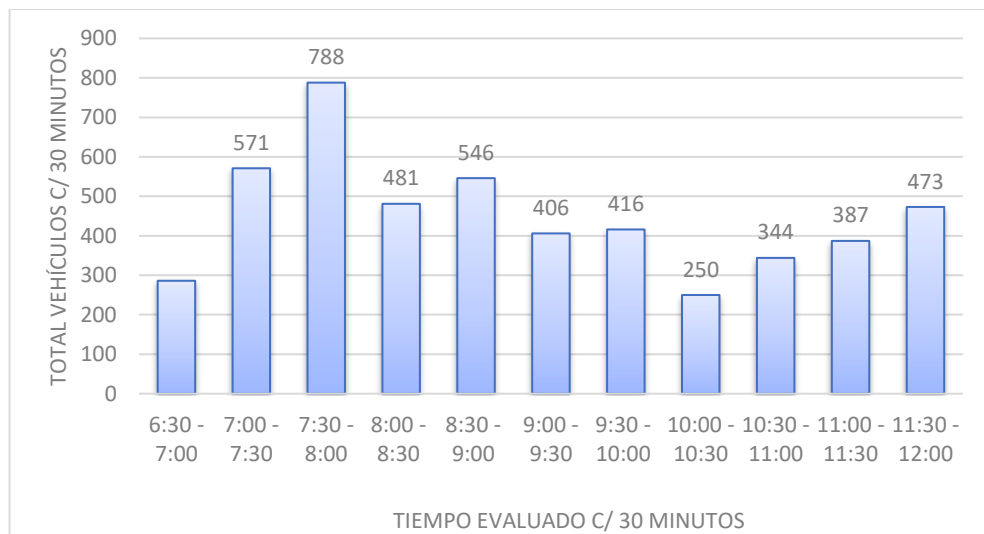
Fuente: Propia de los Autores

12.2 Estudio de Transito

Se realiza el trabajo de campo el día 13 de septiembre del año 2021 en donde se lleva a cabo el aforo vehicular, registrando los vehículos que transitan por el tramo de vía seleccionado, para ello se toma un punto estratégico desde donde se pueda visualizar los vehículos que pasan por la vía y aquellos que ingresan a ella. En el anexo A se encuentran los ocho (8) formatos la información recolectada durante el aforo vehicular.

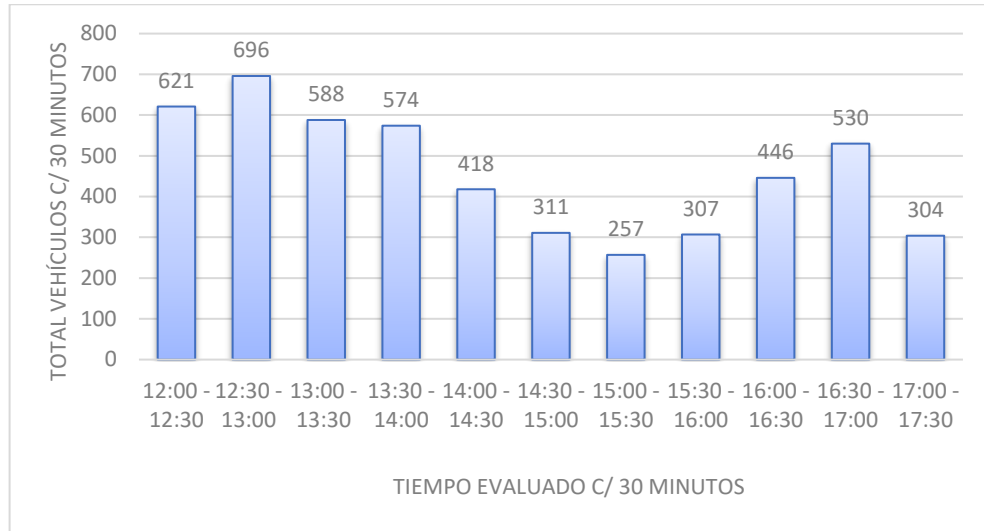
De acuerdo con la información recolectada se obtuvieron los siguientes datos: En las siguientes graficas 1 y 2 se observa la cantidad de vehiculos (Autos, Buses, Camiones y Motos) que transitan por la vía en un lapso de 12 horas, desde las 6:30 am hasta las 6:30 pm, datos tomados cada 30 minutos.

Gráfica 1 Cantidad de vehículos de 6:30 am a 12:00 pm



Fuente: Propia de los Autores

Gráfica 2 Cantidad de vehículos de 12:00 pm a 6:30 pm

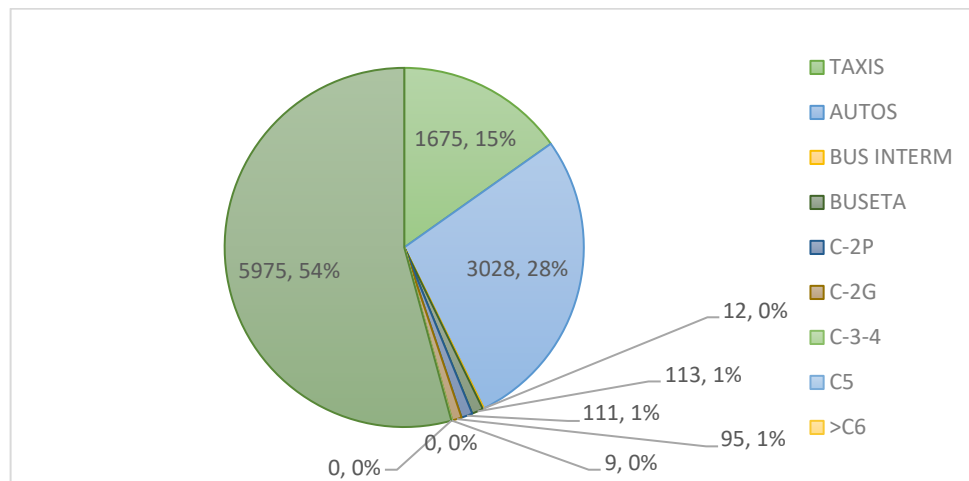


Fuente: Propia de los Autores

Teniendo en cuenta la información recolectada y las graficas 1 y 2, la hora en la cual transitan más vehículos por la vía es de 7:30 am a 8:00 am, hora en la cual la mayoría de personas se dirigen a su lugar de trabajo.

En la siguiente grafica 3 se muestra la cantidad de vehículos que se presentan en un día de acuerdo con su clase (Taxis, Autos, Buses, Camiones o Motos), en donde se evidencia que más de 50% de los vehículos que transitan en un día por esta vía son motos.

Gráfica 3 Cantidad de Vehículos según su Clase



Fuente: Elaboración Propia

12.3 Cálculo de los valores deducidos, del máximo valor deducido corregido (VDC) y del PCI de la unidad

A continuación, se ilustra la información obtenida en la inspección visual, realizada a la vía localizada en la Diagonal 8 y la avenida el Peñón desde la Calle 40 hasta la Calle 48 del barrio Portachuelo del municipio de Girardot, Cundinamarca, de acuerdo a lo recolectado en esta actividad de campo, se procedió a realizar el cálculo de los valores deducidos, del máximo valor deducido corregido (VDC) y finalmente se obtiene el estado en el que se encuentra cada unidad de muestreo inspeccionada con el cálculo del PCI.

Las unidades de muestreo se determinaron cada 31.5 m para pavimento flexible y cada 20 m para pavimento rígido para poder clasificar cada uno de estos daños de acuerdo con la metodología PCI.

La vía seleccionada para realizar el presente proyecto está conformada por dos tipos de pavimento flexible y rígido, para el desarrollo de este se dividió la vía en unidades de muestreo de acuerdo con lo mencionado anteriormente, obteniendo 85 abscisas, y 109 unidades de muestreo las cuales están distribuidas de la siguiente manera:

Tabla 12 Denominación de los Tramos de la vía

Tramo	Tipo de Pavimento	Carriles	Abscisa Inicial	Abscisa Final
1	Pavimento Flexible	2 carriles (A – B)	K0+000	K0+117.3
2	Pavimento Flexible	1 carril (2 sentidos)	K0+117.3	K0+1014.5
3	Pavimento Rígido	2 carriles (A – C)	K0+1014.5	K1+536.29
4	Pavimento Flexible	1 carril (2 sentidos)	K1+536.29	K1+921.79
5	Pavimento Rígido	1 carril (2 sentidos)	K1+921.79	K2+196.14

Fuente: Propia de los Autores

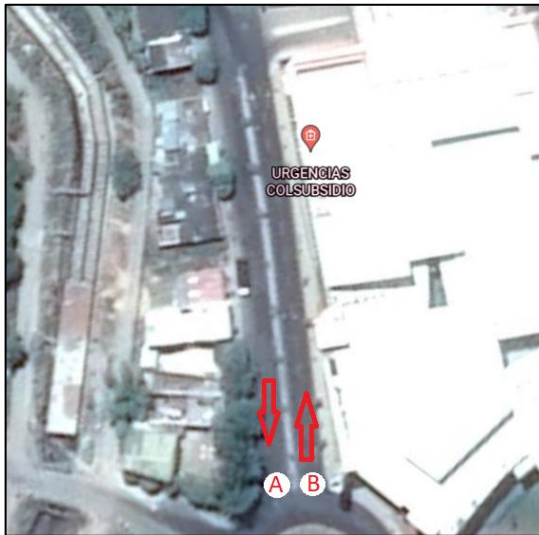
12 Pavimento Flexible

La evaluación del pavimento flexible inicia desde la determinación de las unidades de muestreo, de acuerdo con la capa de rodadura que lo conforma y al ancho de la vía, teniendo en cuenta esto, este pavimento se dividió en unidades de muestreo de 31.5 metros, obteniendo en total 46 unidades de muestreo para el pavimento flexible. La vía será dividida en 3 tramos de acuerdo con sus carriles.

A partir de allí, se inicia con el levantamiento de fallas y los cálculos mencionados, para finalmente determinar el estado en el que se encuentra cada unidad de muestreo, esto se puede evidenciar en el anexo C.

El primer tramo está comprendido desde el K0+000 hasta el K0+117.3 es una vía de 2 carriles denominados como se muestra en la figura 22:

Figura 22 Denominación Carriles Primer Tramo Abscisa K0+000 - K0+117.3



Fuente: Propia de los Autores

En la siguiente tabla 13 se evidencian los resultados del cálculo del PCI y el estado en el que se encuentra cada unidad de muestreo del primer tramo del pavimento flexible.

Tabla 13 Índice de Condición del Pavimento Tramo 1 Carril A

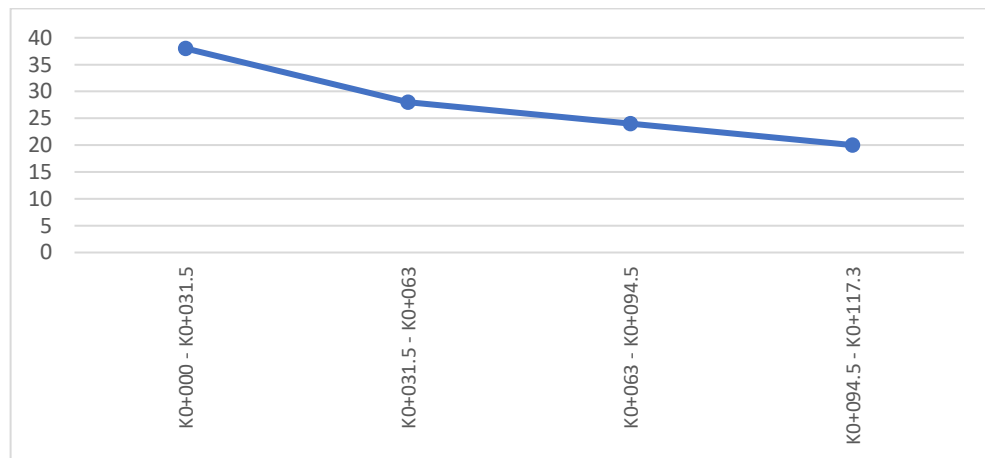
Diagonal 8 (Carril A)					
Nombre	Abscisa		CDV	PCI	Clasificación
1-2	K0+000	K0+031.5	62	38	Malo
2-3	K0+031.5	K0+063	72	28	Malo
3-4	K0+063	K0+094.5	76	24	Muy Malo
4-5	K0+094.5	K0+117.3	80	20	Muy malo

Fuente: Propia de los Autores

Con los datos expuestos en la tabla 13, se evidencia que el tramo evaluado se encuentra en un estado malo y muy malo.

En la siguiente grafica 4 se evidencia el estado en el que se encuentra cada unidad de muestreo.

Gráfica 4 PCI del Tramo 1 del pavimento flexible Carril A



Fuente: Propia de los Autores

En el Carril B de la Diagonal 8 no se presenta ningún tipo de daño, por lo tanto, este carril comprendido desde la abscisa K0+000 hasta la K0+117.3 se encuentra en excelente estado, tal y como se evidencia en la tabla 14.

Tabla 14 Índice de Condición del Pavimento Tramo 1 Carril B

Diagonal 8 (Carril B)					
Nombre	Abscisa		CDV	PCI	Clasificación
1-2	K0+000	K0+031.5	0	100	Excelente
2-3	K0+031.5	K0+063	0	100	Excelente
3-4	K0+063	K0+094.5	0	100	Excelente
4-5	K0+094.5	K0+117.3	0	100	Excelente

Fuente: Propia de los Autores

En la siguiente tabla 15 se evidencian los resultados del cálculo del PCI y el estado en el que se encuentra cada unidad de muestreo del segundo tramo del pavimento flexible, comprendido desde la abscisa K0+117.3 hasta la K0+1014.5 siendo este tramo 1 carril dos sentidos.

Tabla 15 Índice de Condición del Pavimento Tramo 2 Pav. Flexible

Diagonal 8					
Nombre	Abscisa		CDV	PCI	Clasificación
5-6	K0+117.3	K0+148.8	84	16	Muy malo
6-7	K0+148.8	K0+180.3	67	33	Malo
7-8	K0+180.3	K0+211.8	59	59	Muy malo
8-9	K0+211.8	K0+243.3	91	9	Fallado
9-10	K0+243.3	K0+274.8	69	31	Regular
10-11	K0+274.8	K0+306.3	82	18	Muy malo
11-12	K0+306.3	K0+0337.8	83	17	Muy malo
12-13	K0+0337.8	K0+0369.3	21	79	Muy bueno
13-14	K0+0369.3	K0+0400.8	16	84	Muy Bueno
14-15	K0+0400.8	K0+0432.3	32	68	Bueno
15-16	K0+0432.3	K0+0463.8	100	0	Fallado
16-17	K0+0463.8	K0+0495.3	48	52	Regular
17-18	K0+0495.3	K0+0520.9	35	65	Bueno
18-19	K0+0520.9	K0+0550.7	27	73	Muy bueno
19-20	K0+0550.7	K0+0596.7	48	52	Regular
20-21	K0+0596.7	K0+0606.7	20	80	Muy Bueno
21-22	K0+0606.7	K0+0638.2	51	49	Regular
22-23	K0+0638.2	K0+0669.7	31	69	Bueno
23-24	K0+0669.7	K0+0701.2	23	77	Muy Bueno
24-25	K0+0701.2	K0+0732.7	33	67	Bueno
25-26	K0+0732.7	K0+0764.2	74	26	Malo
26-27	K0+0764.2	K0+0795.7	35	65	Bueno
27-28	K0+0795.7	K0+0827.2	69	31	Malo

28-29	K0+0827.2	K0+0858.7	43	57	Bueno
29-30	K0+0858.7	K0+0890.2	36	64	Bueno
30-31	K0+0890.2	K0+0921.7	30	70	Bueno
31-32	K0+0921.7	K0+0953.2	44	56	Bueno
32-33	K0+0953.2	K0+984.7	35	65	Bueno
33-34	K0+984.7	K1+014.5	43	57	Bueno

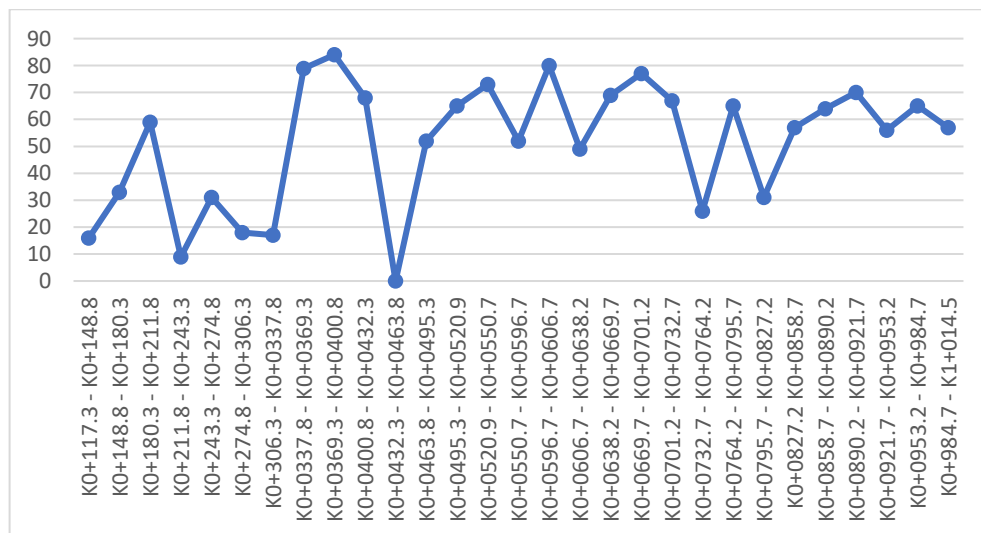
Fuente: Propia de los Autores

En la tabla 15 se observa que el estado del tramo vial varía en cada unidad de muestreo, se tienen 4 unidades de muestreo se encuentran en muy mal estado, 3 en malo, 2 en estado fallado, 4 en estado regular, 5 en muy buen estado y 11 unidades de muestreo se encuentran en buen estado.

También se evidencia que la unidad de muestreo comprendida en la abscisa K0+0432.3 – K0+0463.8 se encuentra en estado fallado con un índice de condición del pavimento de 100, siendo este el trayecto más afectado.

En la gráfica 5, mostrada a continuación se evidencia el estado en el que se encuentra actualmente cada unidad de muestreo del segundo tramo evaluado.

Gráfica 5 PCI del segundo tramo del pavimento flexible



Fuente: Propia de los Autores

De la evaluación del estado en el que se encuentra el tramo 4 comprendido desde la abscisa K1+536.29 hasta la K1+921.79 del pavimento flexible, se obtuvieron los siguientes resultados, expuestos en la tabla 16:

Tabla 16 Índice de condición del pavimento Tramo 4 Pav. Flexible

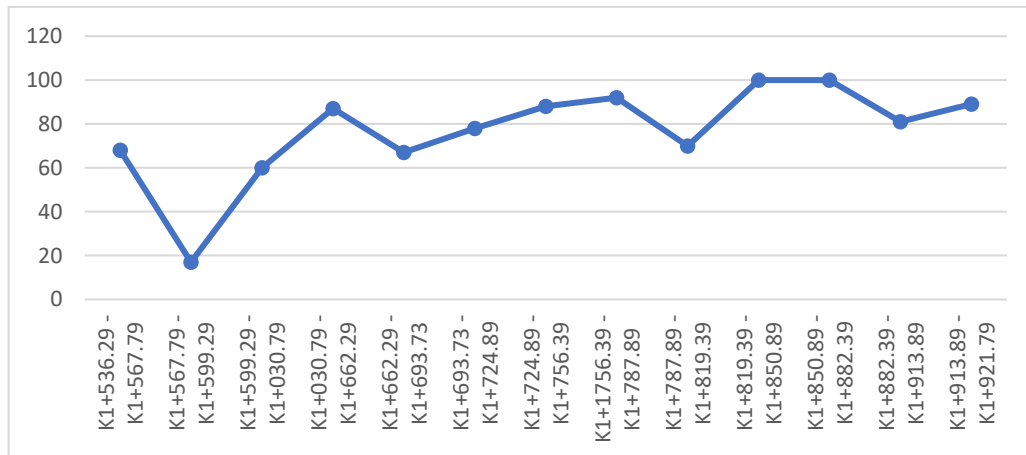
Transversal 9 entre Calle 43 B y 48					
Nombre	Abscisa		CDV	PCI	Clasificación
60-61	K1+536.29	K1+567.79	32	68	Bueno
61-62	K1+567.79	K1+599.29	83	17	Muy malo
62-63	K1+599.29	K1+030.79	40	60	Bueno
63-64	K1+030.79	K1+662.29	13	87	Excelente
64-65	K1+662.29	K1+693.73	33	67	Bueno
65-66	K1+693.73	K1+724.89	22	78	Muy Bueno
66-67	K1+724.89	K1+1756.39	12	88	Excelente
67-68	K1+1756.39	K1+787.89	8	92	Excelente
68-69	K1+787.89	K1+819.39	30	70	Bueno
69-70	K1+819.39	K1+850.89	100	100	Excelente
70-71	K1+850.89	K1+882.39	100	100	Excelente
71-72	K1+882.39	K1+913.89	19	81	Muy Bueno
72-73	K1+913.89	K1+921.79	11	89	Excelente

Fuente: Propia de los Autores

De acuerdo con lo expuesto en la tabla 16 el cuarto tramo del pavimento flexible se encuentra en mejores condiciones a comparación con el primer tramo, ya que se obtuvo una clasificación así: 4 unidades de muestreo en buen estado, 1 en muy mal estado, 6 en excelente estado y 2 en estado muy bueno.

En la gráfica 6 mostrada a continuación se evidencia el estado en el que se encuentra actualmente cada unidad de muestreo del tramo evaluado.

Gráfica 6 PCI del cuarto tramo del pavimento flexible



Fuente: Propia de los Autores

A continuación, en la tabla 17 se mostrará la calificación general del pavimento flexible que conforma la vía evaluada:

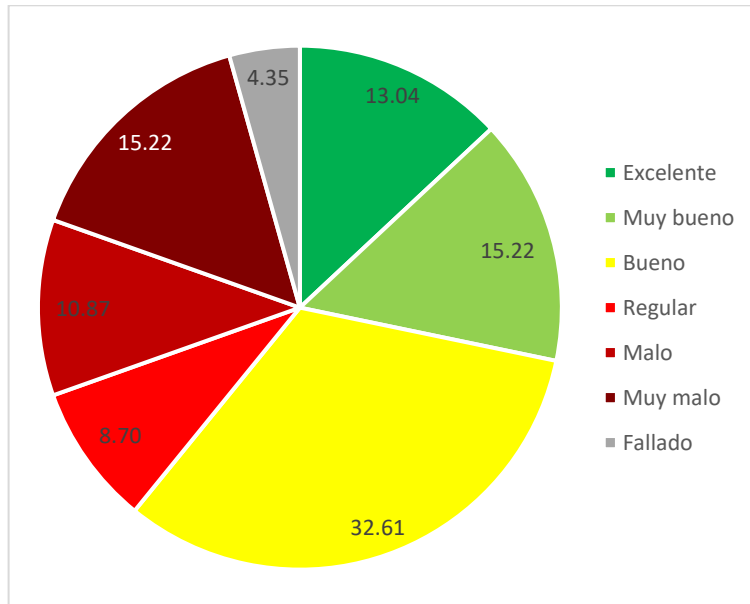
Tabla 17 Estado del Pavimento Flexible

Rango	Calificación	Cantidad	%
100 – 85	Excelente	6	13.04
85 – 70	Muy bueno	7	15.22
70 – 55	Bueno	15	32.61
55 – 40	Regular	4	8.70
40 – 25	Malo	5	10.87
25 – 10	Muy malo	7	15.22
10 – 0	Fallado	2	4.35
Total		46	100

Fuente: Propia de los Autores

De acuerdo con los valores expuestos en la tabla 17, se obtiene la gráfica 7:

Gráfica 7 Estado del Pavimento Flexible



Fuente: Propia de los Autores

En la tabla 17 se evidencia la calificación del pavimento flexible, en donde se obtuvo que este pavimento se encuentra en gran parte en buen estado con un 32.61%, más sin embargo se debe tener en cuenta que el 4.35 % se encuentran es estado fallado, 15.22 % en muy mal estado y 10.87% en mal estado. Por lo que, al inicio de la vía, esta presenta deterioros de consideración, es así como es necesaria su intervención en estos tramos para mejorar la serviciabilidad y brindar a los usuarios un paso cómodo y seguro.

De acuerdo con la evaluación al pavimento flexible el PCI promedio para este pavimento, es de 51.84 (PCI entre 55 – 40), para un estado regular.

En la siguiente tabla 18 se evidencian los daños presentados a lo largo de la vía y la cantidad:

Tabla 18 Daños presentados en el Pavimento Flexible

<i>Daño</i>	<i>Cantidad</i>	<i>%</i>
Parcheo y Acom. Serv. Pub.	146	32.96
Agrietamiento en bloque	50	11.29
Huecos	79	17.83
Depresión	14	3.16
Grietas Long y Transv.	68	15.35
Piel de Cocodrilo	46	10.38
Pulimento de Agregados	21	4.74
Desprendimiento de Agregados	16	3.61
Abultamientos y Hundimientos	3	0.68
<i>Total</i>	443	100.00

Fuente: Propia de los Autores

A continuación, se hablará un poco de las razones por las que se generan cada uno de estos daños de acuerdo con el manual de daños de la (ASTM Internacional, 2003):

- Parcheo y Acometidas de Servicios Públicos

Un parche es un área del pavimento que es reemplazada por material nuevo, con la finalidad de reparar el pavimento existente, este se considera un daño ya que este parche nuevo no se comporta igual que el original.

- Agrietamiento en Bloque

Las fisuras en bloque son causadas por la contracción del asfalto y a los cambios de temperatura, que resulta en ciclos diarios de esfuerzo/deformación.

- Huecos

Los huecos se producen cuando el tránsito arranca pedazos del pavimento, estos progresan debido a una mezcla pobre en la superficie, puntos débiles en la base o subrasante, o por un daño de piel de cocodrilo de severidad alta.

- Depresión

Este daño es generado por asentamientos ocurridos en la subrasante o son resultado de malos procesos constructivos.

- Grietas Longitudinales y Transversales

Estas pueden ser causadas por, juntas de carril del pavimento pobremente construidas, a la contracción del pavimento asfáltico debido a las variaciones de temperatura o una grieta de reflexión causada por el agrietamiento bajo la capa de base.

- Piel de Cocodrilo

Este daño se presenta en zonas afectadas por repetidas cargas de tránsito tales como las huellas de las llantas, este es considerado un daño estructural importante.

- Pulimiento de Agregados

El pulimiento de agregados es generado por la repetición de las cargas de tránsito.

- Desprendimiento de Agregados

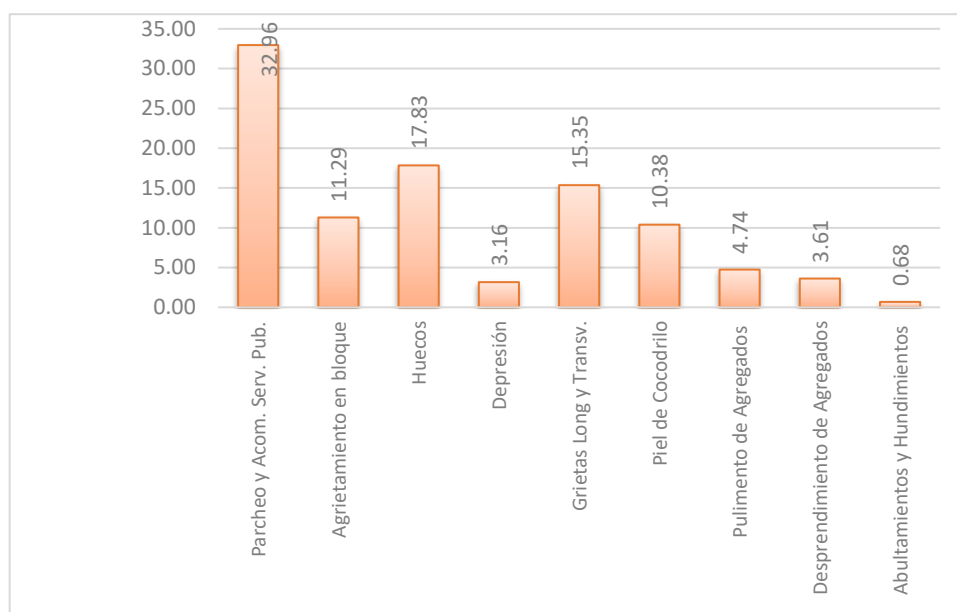
Es la pérdida de la superficie del pavimento debido a la pérdida del ligante y de las partículas sueltas de agregado.

- Abultamientos y Hundimientos

Estos pueden ser causados por varios factores, tales como: levantamiento de las losas de concreto con una sobrecarpeta de asfalto, expansión por congelación o infiltración y elevación del material en una grieta en combinación con las cargas del tránsito.

A partir de la tabla 18 se realiza la siguiente gráfica en la cual se evidencia que el daño que más se presenta en el pavimento flexible, es debido a los parcheos y acometidas de servicio público, ya que estas están presentes a lo largo de la vía con un 32.96 % y el menor son los Abultamientos y hundimientos con un 0.68%.

Gráfica 8 Daños presentes en el Pavimento Flexible



Fuente: Propia de los Autores

13 Pavimento Rígido

A continuación, se realizará el análisis de los resultados recolectados durante la inspección efectuada a la vía, en donde se obtuvieron un total de 63 unidades de muestreo en todo el tramo de estudio.

La evaluación del pavimento rígido se realizó cada cierta cantidad de losas de acuerdo con sus dimensiones, durante la recolección de datos en el pavimento rígido se identificaron las fallas presentadas en cada una de las unidades de muestreo, calculando el índice de condición del pavimento PCI y determinando el estado de cada tramo evaluado, esto se puede evidenciar en el anexo C.

Es necesario tener en cuenta que desde el K1+014.5 hasta el K1+536.29 es una vía de 2 carriles denominados como se muestra en la figura 23:

Figura 23 Denominación Carriles Abscisa K1+014.5 - K1+536.29



Fuente: Propia de los Autores

En la siguiente tabla 19 se encuentran los datos obtenidos de acuerdo con la información recolectados en el tramo inicial de pavimento rígido denominado como tramo 3, con los cuales, se hará un análisis general con su respectiva gráfica.

Tabla 19 Índice de Condición del Pavimento Tramo 3 Pav. Rígido Carril A

Avenida el Peñón (Carril A)					
Nombre	Abscisa		CDV	PCI	Clasificación
34-35	K1+014.5	K1+037.9	71.5	28.5	Malo
35-36	k1+037.9	K1+060.3	53.1	46.9	Regular
36-37	K1+060.3	K1+082.7	71.5	28.5	Malo
37-38	K1+082.7	K1+101	65.5	34.5	Malo
38-39	K1+101	K1+119.8	53.4	46.6	Regular
39-40	K1+119.8	K1+143.5	42.9	57.1	Bueno
40-41	K1+143.5	K1+162.8	78.3	21.7	Muy malo
41-42	K1+162.8	K1+185.1	67.6	32.4	Malo
42-43	K1+185.1	K1+207.5	26.7	73.3	Muy bueno
43-44	K1+207.5	K1+229.6	54.3	45.7	Regular
44-45	K1+229.6	K1+252	54.3	45.7	Regular
45-46	K1+252	K1+271.7	75.1	24.9	Muy malo
46-47	K1+271.7	K1+289.9	59.6	40.4	Regular
47-48	K1+289.9	K1+309.2	58.6	41.4	Regular
48-49	K1+309.2	K1+328.7	69.7	30.3	Malo
49-50	K1+328.7	K1+348.2	85.5	14.5	Muy malo
50-51	K1+348.2	K1+370.8	51.4	48.6	Regular

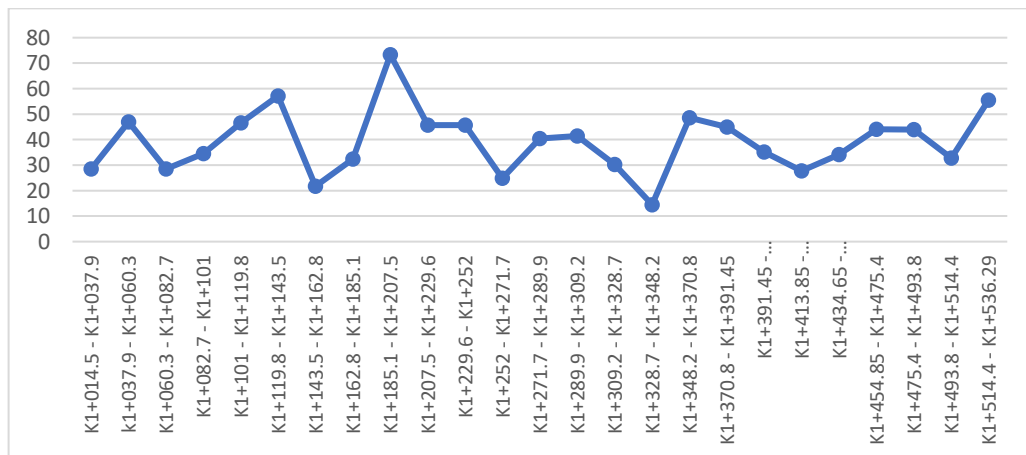
51-52	K1+370.8	K1+391.45	55.1	44.9	Regular
52-53	K1+391.45	K1+413.85	64.8	35.2	Malo
53-54	K1+413.85	K1+434.65	72.8	27.8	Malo
54-55	K1+434.65	K1+454.85	65.9	34.1	Malo
55-56	K1+454.85	K1+475.4	55.9	44.1	Regular
56-57	K1+475.4	K1+493.8	56	44	Regular
57-58	K1+493.8	K1+514.4	67.2	32.8	Malo
58-59-60	K1+514.4	K1+536.29	44.5	55.5	Bueno

Fuente: Propia de los Autores

Basándose en la tabla 18 ilustrada anteriormente se puede apreciar que el tramo cuenta con 25 abscisas; de las cuales, 1 se encuentra en un estado muy bueno, 2 se encuentran en un estado bueno, 10 se encuentran en un estado regular, 9 que se encuentran en un estado malo, por último, 3 que se encuentran en un estado muy malo. Esto permite concluir que este tramo se presenta en un estado regular dependiendo su clasificación.

A continuación, se puede observar la gráfica 9, la cual da a conocer el estado que presenta en primer tramo por medio de sus picos altos (bueno) y/o bajos (malo), definiendo la condición en la que se encuentra el Primer tramo en su totalidad.

Gráfica 9 PCI del primer tramo del pavimento rígido Carril A



Fuente: Propia de los Autores

A continuación, en la tabla 20 se observan los datos obtenidos de la evaluación del carril C del tercer tramo de la vía:

Tabla 20 Índice de Condición del Pavimento Tramo 3 Pav. Rígido Carril C

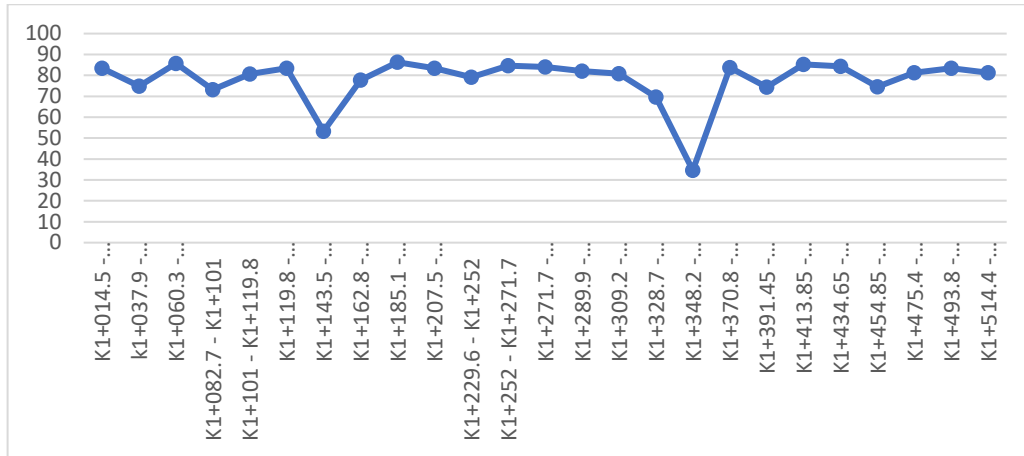
Avenida el Peñón (Carril C)					
Nombre	Abscisa		CDV	PCI	Clasificación
34-35	K1+014.5	K1+037.9	16.5	83.5	Muy bueno
35-36	k1+037.9	K1+060.3	25.2	74.8	Muy bueno
36-37	K1+060.3	K1+082.7	14.3	85.7	Excelente
37-38	K1+082.7	K1+101	26.8	73.2	Muy bueno
38-39	K1+101	K1+119.8	19.3	80.7	Muy bueno
39-40	K1+119.8	K1+143.5	16.5	83.5	Muy bueno
40-41	K1+143.5	K1+162.8	46.7	53.3	Regular
41-42	K1+162.8	K1+185.1	22.2	77.8	Muy bueno
42-43	K1+185.1	K1+207.5	13.7	86.3	Excelente
43-44	K1+207.5	K1+229.6	16.5	83.5	Muy bueno
44-45	K1+229.6	K1+252	20.8	79.2	Muy bueno
45-46	K1+252	K1+271.7	15.4	84.6	Muy bueno
46-47	K1+271.7	K1+289.9	16	84	Muy bueno
47-48	K1+289.9	K1+309.2	17.9	82.1	Muy bueno
48-49	K1+309.2	K1+328.7	19.2	80.8	Muy bueno
49-50	K1+328.7	K1+348.2	30.4	69.6	Bueno
50-51	K1+348.2	K1+370.8	65.4	34.6	Malo
51-52	K1+370.8	K1+391.45	16.3	83.7	Muy bueno
52-53	K1+391.45	K1+413.85	25.6	74.4	Muy bueno
53-54	K1+413.85	K1+434.65	14.7	85.3	Excelente
54-55	K1+434.65	K1+454.85	15.7	84.3	Muy bueno
55-56	K1+454.85	K1+475.4	25.5	74.5	Muy bueno
56-57	K1+475.4	K1+493.8	18.7	81.3	Muy bueno
57-58	K1+493.8	K1+514.4	16.5	83.5	Muy bueno
58-59-60	K1+514.4	K1+536.29	18.7	81.3	Muy bueno

Fuente: Propia de los Autores

Teniendo en cuenta la tabla 20 ilustrada anteriormente se puede apreciar que el tramo cuenta con 25 abscisas; de las cuales, 3 se encuentra en un estado excelente, 19 se encuentran en un estado muy bueno, 1 se encuentra en un estado bueno, 1 se encuentran en un estado regular y, por último, 1 que se encuentran en un estado malo. Esto permite concluir que este tramo se presenta en un estado muy bueno basándonos en su clasificación.

A continuación, se puede observar la gráfica 10, la cual da a conocer el estado que presenta el tercer tramo por medio de sus picos altos (bueno) y/o bajos (malo), definiendo la condición en la que se encuentra el segundo tramo en su totalidad.

Gráfica 10 PCI del tercer tramo del pavimento rígido Carril C



Fuente: Propia de los Autores

En la siguiente tabla 21 se encuentran los datos obtenidos de acuerdo con la información recolectados en el segundo tramo del pavimento rígido, denominado tramo 4, comprendido desde la abscisa K1+921.79 hasta la abscisa K2+196.14 siendo este tramo una vía de 1 carril dos sentidos.

Tabla 21 Índice de Condición del Pavimento Tramo 4 Pav. Rígido

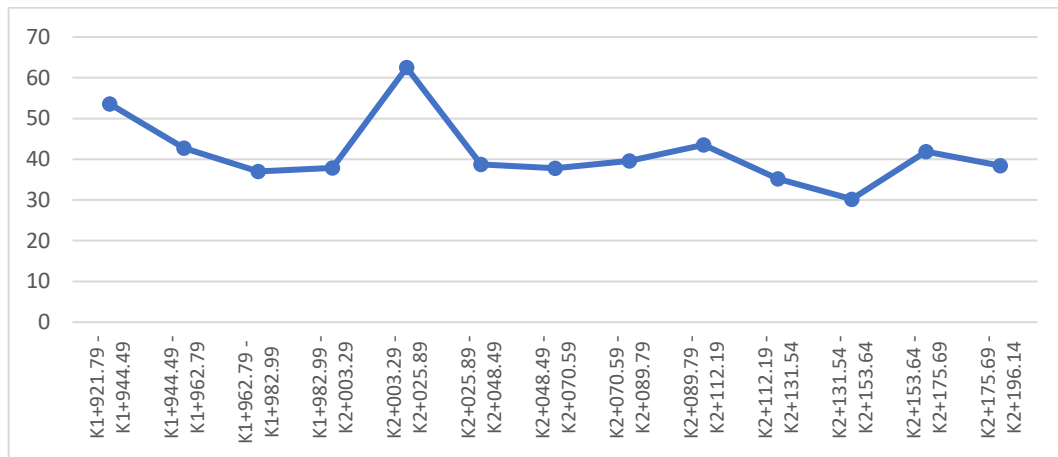
Transv. 9 Calle 45 - Calle 48					
Nombre	Abscisa		CDV	PCI	Clasificación
73-74	K1+921.79	K1+944.49	46.4	53.6	Regular
74-75	K1+944.49	K1+962.79	57.3	42.7	Regular
75-76	K1+962.79	K1+982.99	63	37	Malo
76-77	K1+982.99	K2+003.29	62.1	37.9	Malo
77-78	K2+003.29	K2+025.89	37.5	62.5	Bueno
78-79	K2+025.89	K2+048.49	61.3	38.7	Malo
79-80	K2+048.49	K2+070.59	62.2	37.8	Malo
80-81	K2+070.59	K2+089.79	60.4	39.6	Malo
81-82	K2+089.79	K2+112.19	56.5	43.5	Regular
82-83	K2+112.19	K2+112.19	64.8	35.2	Malo
83-84	K2+112.19	K2+153.64	69.8	30.2	Malo
84-85	K2+153.64	K2+175.69	58.1	41.9	Regular
85	K2+175.69	K2+196.14	61.6	38.4	Malo

Fuente: Propia de los Autores

Teniendo en cuenta la tabla 21 ilustrada anteriormente se puede apreciar que el tramo cuenta con 13 abscisas; de las cuales, 1 se encuentran en un estado bueno, 4 se encuentran en un estado regular y, por último, 8 que se encuentran en un estado malo. Esto permite concluir que este tramo se presenta en un estado malo basándonos en su clasificación.

A continuación, se puede observar la gráfica 11, la cual da a conocer el estado que presenta el cuarto tramo de la vía, por medio de sus picos altos (bueno) y/o bajos (malo), definiendo la condición en la que se encuentra el segundo tramo en su totalidad.

Gráfica 11 PCI del segundo tramo del pavimento rígido



Fuente: Propia de los Autores

A continuación, en la tabla 21 se mostrará la calificación general del pavimento rígido que conforma la vía evaluada:

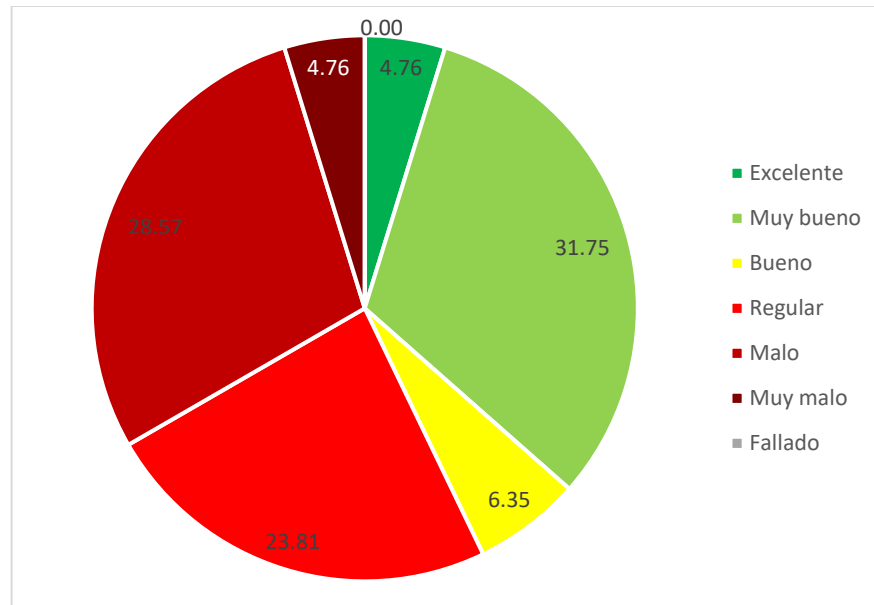
Tabla 22 Estado del Pavimento Rígido

Rango	Clasificación	Cantidad	%
100-85	Excelente	3	4.76
85-70	Muy bueno	20	31.75
70-55	Bueno	4	6.35
55-40	Regular	15	23.81
40-25	Malo	18	28.57
25 – 10	Muy Malo	3	4.76
10-0	Fallado	0	0.00
Total		63	100.00

Fuente: Propia de los Autores

De acuerdo con los valores expuestos en la tabla 22, se obtiene la gráfica 12:

Gráfica 12 Estado del Pavimento Rígido



Fuente: Propia de los Autores

En la gráfica expuesta antes, encuentra detalladamente la clasificación con su respectivo porcentaje, en la cual, se ve claramente que el porcentaje mayor, se encuentra en muy bueno con un porcentaje de 31.746 % y el que menor porcentaje que se presentan son excelente y muy malo con 4,7619% cada uno, durante el tramo evaluado.

De acuerdo con la evaluación al pavimento rígido el PCI promedio para este pavimento, es de 52.82 (PCI entre 55 – 40), para un estado regular.

En la siguiente tabla 23 se evidencian los daños presentados a lo largo de la vía y la cantidad:

Tabla 23 Daños presentados en el Pavimento Rígido

<i>Daño</i>	<i>Cantida</i>	<i>%</i>
Pulimento de Agregados	63	17.70
Sello de Junta	60	16.85
Grieta Lineal	60	16.85
Grieta de Esquina	51	14.33
Descascaramiento de esquini	38	10.67
Losa dividida	37	10.39
Parqueo (Grande)	35	9.83
Blow Up / Buckling	6	1.69
Punzonamiento	6	1.69
<i>Total</i>	356	100

Fuente: Propia de los Autores

A continuación, se dará a conocer algunas de las causas por las que se generan los daños que se observaron durante la inspección de la vía, de acuerdo con el manual de daños de la (ASTM Internacional, 2003)

- Pulimiento de agregados

Una de las principales causas de este deterioro es debido a las aplicaciones repetitivas de las cargas del tránsito, se logra observar cuando los agregados de la superficie se vuelven suaves al tacto, esto afecta la adherencia con las llantas.

- Daño del sello de la junta

Esta falla se presenta debida a la acumulación de material incomprensible que impide que la losa se expanda y puede resultar en fragmentación, levantamiento o Descascaramiento de los bordes de la junta.

- Grietas lineales

Estas grietas son causadas por la repetición de las cargas de tránsito y el alabeo por gradiente térmico o de humedad que se presenta en las losas y/o juntas de concreto.

- Grieta de esquina

Las grietas de esquina se presentan en la losa o junta de concreto, de acuerdo con las repeticiones de cargas combinadas con la perdida de soporte y más los esfuerzos de alabeo hace que se originen las estas grietas.

- Descascaramiento de esquina

Esta falla se presenta usualmente buza hacia abajo para interceptar la junta, sin extenderse verticalmente en la losa y/o junta de concreto.

- Losa dividida

Esta falla se presenta por medio de las grietas en cuatro o más fragmentos debido a la sobrecarga y/o al soporte de carga inadecuado de la losa de concreto. Por lo general, todos los pedazos o grietas de esquina, esto permite calcificarse como una falla severa.

- Parcheo y acometidas de servicios públicos (Grande).

Esta falla se presenta cuando el pavimento original es removido y es reemplazado por material nuevo para la mejorar el mismo. También puede originarse por una excavación con el fin de servicios públicos para permitir las instalaciones subterráneas.

- Blowup / Buckling

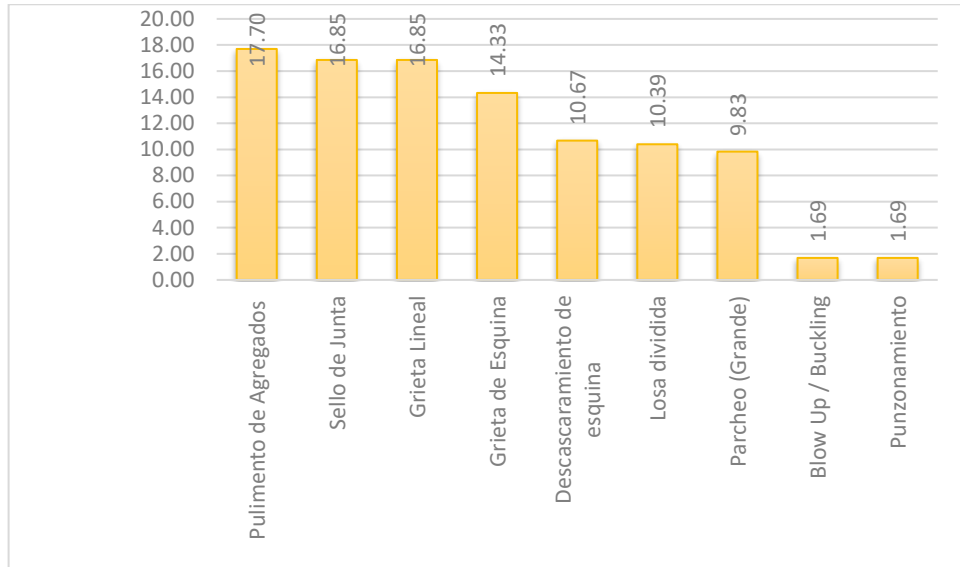
Este daño se presenta usualmente cuando la losa no puede disipar suficiente presión en su expansión, haciendo que ocurrirá un movimiento hacia arriba de los bordes de a losa o de la junta, aunque esta falla también se puede presentar en los sumideros y en los bordes de las zanjas realizadas para la instalación de servicios públicos.

- Punzonamiento

Este daño se origina por la repetición de cargas pesadas, el espesor indicado de la losa, la pérdida de soporte de la fundación o una deficiencia localizada de construcción del concreto (hormigueros, entre otros)

En la siguiente grafica 13 se encuentran las fallas que se presentan en el tramo, cada una con su respectivo porcentaje; desde la falla que más se presenta, la cual es, pulimiento de agregados con un 17.70 %, es decir, que se presenta durante casi todo el tamo del pavimento rígido evaluado, y las fallas que menos se presentan que son Blow Up / Buckling y punzonamiento con una presencia del 1.69 %.

Gráfica 13 Daños presentes en el pavimento rígido



Fuente: Propia de los Autores

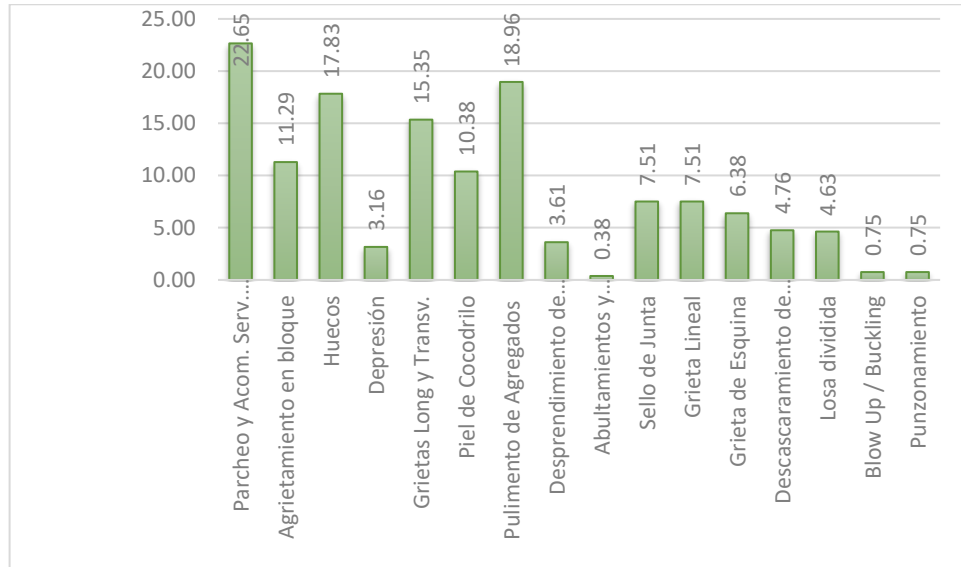
En la tabla 24 y grafica 14 presentadas a continuación, se muestran los daños presentados a lo largo de toda la vía seleccionada para el desarrollo de este trabajo.

Tabla 24 Daños presentados en la vía

Daño	Cantidad	%
Parcheo y Acom. Serv. Pub.	181	22.65
Agrietamiento en bloque	50	11.29
Huecos	79	17.83
Depresión	14	3.16
Grietas Long y Transv.	68	15.35
Piel de Cocodrilo	46	10.38
Pulimento de Agregados	84	18.96
Desprendimiento de Agregados	16	3.61
Abultamientos y Hundimientos	3	0.38
Sello de Junta	60	7.51
Grieta Lineal	60	7.51
Grieta de Esquina	51	6.38
Descascaramiento de esquina	38	4.76
Losa dividida	37	4.63
Blow Up / Buckling	6	0.75
Punzonamiento	6	0.75
Total	799	100.00

Fuente: Propia de los Autores

Gráfica 14 Daños presentados en la vía



Fuente: Propia de los Autores

Una vez realizado el análisis en cada tramo del pavimento flexible y el pavimento rígido, aplicando la metodología PCI; se logra determinar, que la vía no presenta un deterioro homogéneo, o de forma lineal, puesto que los deterioros se encuentran en puntos críticos específicos, en donde se observan daños severos en el pavimento, incluso llegando a una clasificación de cero (0), como lo es un estado fallado, y, por otro lado, se encuentran sectores en los que su estado es excelente.

Teniendo en cuenta la inspección visual, la recolección de datos y el análisis realizado a cada tramo se logró determinar que la fallas que más se presentan a lo largo de la vía, es parqueo y acometidas de servicios públicos, debido a que se han realizado intervenciones leves y no muy correctamente, debido a que sus parcheos cuentan con deformaciones en la cantidad de material nuevo en sus sectores más críticos, generando los parcheos presentados con un porcentaje 22,65%. Así mismo, la segunda falla más presentada como se evidencia en la tabla 24 y se muestra en la gráfica 14, es pulimiento de agregados, daño que se presenta a lo largo de toda la vía, en donde esta pierde sus materiales agregados y ligantes, dicha falla se presenta tanto en el pavimento rígido, como en el flexible, contando con un porcentaje 18,96%, entre otras fallas, expuestas anteriormente. Entre los daños menos presentados, se encuentran Blow up / Buckling y Punzonamiento en pavimento rígido, cada una presente en un 0.75%, y se presenta en pavimento flexible abultamientos y hundimientos en un 0.38%.

13. CONCLUSIONES

- En total se evaluaron 109 unidades de muestreo, obteniendo los siguientes resultados: pavimento flexible, el 32.61% de las unidades de muestra presentan un estado bueno; el 15.22% de las unidades presenta un estado muy malo; igualmente un 15.22% presenta un estado muy bueno; un 13.04% se encuentra en estado excelente, el 10.87% de unidades un estado malo, un 8.70% de las unidades presenta un estado regular y finalmente un 4.35% un estado fallado. Para el pavimento rígido se obtuvo la siguiente información; el 31.75% de las unidades presenta un pavimento en muy buen estado, un 28.57% se encuentra en mal estado, un 23.81% en estado regular, el 6.35% de las unidades de muestreo presenta buen estado, el 4.76% se encuentra en excelente estado y finalmente el 4.76% de las unidades presenta muy mal estado
- De acuerdo con el aforo realizado en un lapso de 12 horas, la vía evaluada cuenta con un tránsito alto de 11018 vehículos, en donde más del 50% de los vehículos que por allí transitan son motos, la hora pico de la vía es de 7:30 am a 8:00 am, hora en la cual los usuarios de la vía se dirigen a su lugar de trabajo.
- A lo largo de la vía se presentaron en total 799 daños, de los cuales el que más se evidencia es el daño generado por parcheos y acometidas de servicios públicos con un 22.65%, seguido del pulimiento de agregados con un 18.96%, los huecos con un 17.83%, Grietas longitudinales y transversales se encuentran en un 15.35%, Agrietamiento en bloque en un 11.29%, Piel de Cocodrilo con un 10.38%, Sello de junta en un 7.51% igual que las grietas lineales, Grieta de esquina con un 6.38%, Descascaramiento de esquina en un 4.76%, Losa dividida en un 4.63%, Desprendimientos de agregados en un 3.61%, Depresión en un 3.16%, Blow up / Buckling y Punzonamiento cada una presente en un 0.75%, finalmente se presentan abultamientos y hundimientos en un 0.38%.
- De acuerdo con los resultados obtenidos el PCI Promedio para el pavimento flexible es de 51.84 (PCI entre 40 – 55) según los rangos de la metodología PCI este tramo de vía se encuentra en estado regular. El PCI promedio para el pavimento rígido es de 52.81 (PCI entre 40 – 55) según los rangos de la metodología PCI este tramo de vía se encuentra en estado regular.
- La severidad de la mayoría de los daños presentes en el tramo vial está en un nivel medio, por lo que el pavimento requiere de intervención antes de que los daños aumenten, ya que generarían más costos a la hora de intervenir.
- Una de las posibles causas por las que pudo haberse presentado el deterioro en esta vía, es debido a que en el diseño inicial de este pavimento no se

evaluaron las cargas del tránsito que presenta hoy en día, de acuerdo con la expansión urbana de este sector, aumentando el tránsito y generando una exigencia mayor al pavimento.

14. BIBLIOGRAFÍA

- Asociación de Productores y Pavimentadores Asfálticos de Colombia . (2004). *Cartilla del Pavimento Asfáltico*. Bogotá, DC: ASOPAC.
- Asociación Mundial de Carreteras. (2014). *Importancia de la Conservación de Carreteras*. PIARC.
- Asociación Municipal de Juntas de Acción Comunal. (2012). *Ubicación Geográfica*. Obtenido de Asojuntas Girardot: <http://asojuntasgirardot.com/jac/ub/ubi.html>
- ASTM Internacional. (2003). *Procedimiento Estándar para la Inspección del Índice de Condición del Pavimento en Caminos y Estacionamientos D6433-03*. ASTM.
- Colombia.com. (s.f.). *Geografía*. Obtenido de Colombia.com: <https://www.colombia.com/colombia-info/informacion-general/geografia/>
- Copa, D. G. (Octubre de 2016). *Evaluación de las fallas de la carpeta asfáltica mediante el método PCI*. Obtenido de <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/647>
- Díaz Cardena, J. M. (Junio de 2014). *EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA PCI COMO HERRAMIENTA PARA LA TOMA DE*. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/12102/Evaluaci%C3%B3n%20d?sequence=1>
- Ezpinosa Ordinola, T. E. (2010). *Determinación y evaluación del nivel de incidencias de las patologías del concreto en los pavimentos rígidos de la provincia de Huancabamba, departamento de Piura*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/EYNERVVALDIVA/tesis-eyner>
- Freire Ochoa, J. E. (2020). *Determinación del índice de condición del pavimento en la av. circunvalación sur ente primera este y nueve de mayo*. Machala: Universidad técnica de Machala.
- Giordani, C., & Leone, D. (s.f.). *Pavimentos*. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rosario. Obtenido de https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_ano/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf
- Instituto del cemento y del concreto de Guatemala. (s.f.). *Guía de instalación de adoquines de concreto*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Vías. (30 de Junio de 2021). *Estado de la Red Vial*. Obtenido de INVIAS: <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/2-principal/57-estado-de-la-red-vial#2020>

- Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías. (2008). *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras*. Bogotá, DC.
- Ministerio de Transporte; Instituto Nacional de Vías. (2007). *Manual de diseño de pavimentos ásfalticos para vías con bajos volúmenes de tránsito*. Bogotá, DC: INVIAS.
- Miranda, R. R. (2010). *Deterioros en pavimento Flexibles y rígidos*. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfcim672d/doc/bmfcim672d.pdf>
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras* (Tercera ed.). Bogotá,DC: Universidad Católica de Colombia.
- Pacheco Leguía, P. (2016). *EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE POR EL MÉTODO PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) EN LAS VÍAS ARTERIALES: CINCUENTENARIO, COLÓN Y MIGUEL GRAU(HUACHO-HUAURA-LIMA)*. Obtenido de https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/2311/leguia_pacheco.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pavimentos*. (15 de Febrero de 2013). Obtenido de Blogger.com: <https://libro-pavimentos.blogspot.com/2013/02/elementos-de-la-estructura-de-pavimento.html>
- Quintana Diaz, L. E. (2018). *APLICACIÓN DEL MÉTODO ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO PARA EVALUAR LA SUPERFICIE DE RODADURADE LA CARRETERA REQUE - PUERTO ETEN*. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/25113/quintana_dl.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rodriguez, E. (05 de Octubre de 2009). Obtenido de CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO : https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1350/ICI_180.pdf
- Rondón Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2015). *Pavimentos: Materiales, construcción y diseño*. Bogotá, DC: Ecoe Ediciones.
- Tacza Herrera, E. B., & Rodriguez Paez, B. O. (2018). *Evaluación de fallas mediante el método PCI y planteamiento de alternativas de intervención para mejorar la condición operacional del pavimento flexible en el carril segregado del corredor Javier Prado*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Universidad Nacional de Colombia, INVIAS. (2006). *Manual para la inspeccion visual de pavimentos flexibles*. Bogotá, DC: Universidad Nacional de Colombia, Instituto Nacional de Vías INVIAS.
- Universidad Nacional de Colombia, INVIAS. (2006). *Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos*. Bogotá, DC: Universidad Nacional de Colombia, Instituto Nacional de Vías INVIAS.

- Universidad Piloto de Colombia . (s.f.). *Inicio Universidad Piloto de Colombia* .
Obtenido de Universidad Piloto de Colombia :
<https://girardot.unipiloto.edu.co/>
- Vanegas Miranda, J. D. (2012). *Análisis del Pavement Condition Index (PCI) a partir del inventario de daños realizado por diferentes metodologías en pavimentos asfálticos*. Bogotá,DC: Universidad de los Andes.
- Vásquez Varela, L. R. (2002). *Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos Asfálticos y de concreto en carreteras*. Manizales: ingepav.
- Vergara, V. A. (2015). *Evaluación del estado funcional y estructural del pavimento flexible mediante la metodología PCI tramo quichuay- ingenio del Km 1+000 2014*. Obtenido de https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/421/TCIV_29.pdf?sequence=1
- Vicuña Vergara, A. L. (2015). *Evaluación del estado funcional y estructural del pavimento flexible mediante la metodología PCI tramo Quichuay - Ingenio del KM 0+000 al KM 1+000 2014*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú .
- Yesquen Granda, A. (2016). *GESTIÓN Y CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, A TRAVÉS DEL ÍNDICE DE DESEMPEÑO "PCI" EN EL ENTORNO DEL DISTRITO DE SURQUILLO-LIMA*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/250076901.pdf>