UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

ANÁLISIS COMPARATIVO DE CUATRO METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN SECTORES TÍPICOS DE LAS RUTAS A CARGO DE LA ADMINISTRACIÓN VIAL DEL INVIAS TERRITORIAL META, MÓDULO 1, GRUPO 3

Juan David Mendoza Castro

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Civil
Manizales, Colombia
2021

ANÁLISIS COMPARATIVO DE CUATRO METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN SECTORES TÍPICOS DE LAS RUTAS A CARGO DE LA ADMINISTRACIÓN VIAL DEL INVIAS TERRITORIAL META, MÓDULO 1, GRUPO 3

Juan David Mendoza Castro

Trabajo final presentado como requisito para optar al título de:

Magister en Ingeniería - Infraestructura y Sistemas De Transporte

Director:

M.Sc. Luis Ricardo Vásquez Varela

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Civil

Manizales, Colombia

2021

Dedicatoria

Dedicado especialmente a mi madre quien es la persona que me brindó su apoyo incondicional. A mi novia, quien, con su dedicación y tiempo, pudo apoyarme en cada instante de este nuevo proceso.

Lema

La medida de lo que somos, es lo que hacemos con lo que tenemos.

Vince Lombardi

Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

JUAN DAVID MENDOZA CASTRO

19/10/2021

Agradecimientos

El autor expresas sus agradecimientos a:

Ingeniero Luis Ricardo Vásquez Varela por el conocimiento brindado y la guía para el desarrollo del presente trabajo.

Consorcio CH AMV Meta por la información brindada, la cual fundamental para la elaboración del presente trabajo final.

Resumen

Análisis comparativo de cuatro metodologías de evaluación superficial de pavimentos flexibles en sectores típicos de las rutas a cargo de la Administración Vial del INVIAS Territorial Meta, módulo 1, grupo 3

El presente trabajo consistió en realizar el análisis comparativo de cuatro metodologías de evaluación superficial de pavimentos flexibles en sectores típicos de las rutas a cargo de la administración vial del INVIAS territorial Meta, módulo 1, grupo 3, se desarrolló en tres sectores típicos de las rutas 6508 “Cruce de Puerto Rico Meta - Ye de Granada Meta”, y 65A02 “Uribe Meta - Ye de Granada Meta”, teniendo en cuenta las metodologías PCI, VIZIR, PCR y el Manual para la Clasificación de Condición de Pavimentos Flexibles del Ministerio de Transporte de Ontario, En los tres tramos auscultados para el estudio, se obtienen como resultados, las siguientes calificaciones: tramo 1; metodología PCI, 9.78 (un pavimento fallado), método VIZIR 5 (pavimento deficiente), metodología del PCR 61.21 (pavimento de regular a malo) y el método del Ministerio de Transporte de Ohio 31 (pavimento en malas condiciones). Tramo 2; metodología PCI 70.07 (pavimento satisfactorio), el método VIZIR 3 (pavimento en estado marginal), metodología del PCR 78.91 (pavimento bueno) y método del Ministerio de Transporte de Ohio 72 (pavimento bueno con deterioros leves). Tramo 3; la metodología PCI 90.97 (un pavimento bueno), método VIZIR 1 (un pavimento en buenas condiciones), metodología del PCR 97.35 (un pavimento muy bueno) y el método del Ministerio de Transporte de Ohio 97 (pavimento excelente, condición de marcha excelente). Al respecto se concluye que: la metodología más completa es la Pavement Condition Index (PCI), a causa de que posee 7 rangos para calificar, cuenta con 19 patologías para evaluar la capa de rodadura del pavimento y es la más objetiva al asignar la calificación del índice del estado de la superficie del pavimento. Por lo tanto, para el caso de realizar una inspección rigurosa se recomienda el método del PCI, mientras que si lo que se quiere es evaluar de una forma ágil y sencilla se sugiere utilizar el método VIZIR y el sistema de evaluación del Departamento de Transporte de Ohio (PCR).

Palabras clave: Pavimento, Condición del pavimento, Evaluación del pavimento.

Abstract

Comparative analysis of four methodologies for the surface evaluation of flexible pavements in typical sectors of the routes in charge of the Road Administration of INVIAS Territorial Meta, module 1, group 3

The current study consisted of a comparative analysis of four methodologies for surface evaluation of flexible pavements in typical sectors of the routes under the responsibility of the road administration of INVIAS territorial Meta. Module 1, group 3, was developed in three typical sectors of the routes 6508 "Puerto Rico Meta - Ye Granada Meta crossing", and 65A02 "Uribe Meta - Ye Granada Meta", taking into account the methodologies PCI, VIZIR, PCR and the Manual for Condition Classification of Flexible Pavements of the Ministry of Transportation of Ontario. In the three sections examined for the study, the following results were obtained: section 1; PCI methodology, 9. 78 (pavement failure), VIZIR method 5 (deficient pavement), PCR methodology 61.21 (fair to poor pavement) and Ohio Ministry of Transportation method 31 (pavement in poor condition). Section 2; PCI methodology 70.07 (satisfactory pavement), VIZIR method 3 (pavement in marginal condition), PCR methodology 78.91 (pavement in good condition) and Ohio Department of Transportation method 72 (pavement in good condition with slight deterioration). Section 3; PCI methodology 90.97 (pavement in good condition), VIZIR 1 method (pavement in good condition), PCR methodology 97.35 (pavement in very good condition) and Ohio Department of Transportation method 97 (pavement in excellent condition).In this regard it is concluded that the most complete methodology is the Pavement Condition Index (PCI), because it has 7 ranges to qualify and19 pathologies to evaluate the pavement surface index, besides being the most objective when assigning the rating of the pavement surface condition. Therefore, in the case of a rigorous inspection, the PCI method is recommended, while the VIZIR method and the Ohio Department of Transportation's Pavement Condition Rating System (PCR) are suggested for a quick and easy evaluation.

Keyboard: Pavement, Pavement condition, Pavement evaluation.

Contenido

Pag.

1. Introducción ... 14
1.1 Descripción del problema ... 15
1.2 Antecedentes ... 15
1.3 Justificación ... 18
1.4 Alcance ... 19
1.5 Objetivos ... 19
1.5.1 Objetivo general ... 19
1.5.2 Objetivos específicos ... 20
2. Marco referencial ... 21
2.1 Marco teórico ... 21
2.1.1 Método VIZIR (LCPC, 1991) ... 21
2.1.2 Método del PCI (ASTM International, 2020) ... 22
2.1.3 Método del Ministerio de Transporte de Ontario (Ministry of Transportation, 2016) 24
2.1.4 Método del Departamento de Transporte de Ohio (The Ohio Department of Transportation, 2006) ... 26
2.2 Marco espacial ... 27
2.2.1 Clima ... 29
2.2.2 Geología y topografía ... 30
3. Metodología ... 32
3.1 Definición de tramos de evaluación ... 32
3.2 Trabajo de campo ... 35
3.2.1 Abcisado de los tramos y definición de las unidades de inspección ... 35
3.2.2 Método VIZIR ... 36
3.2.3 Método del PCI ... 37
3.2.4 Método del Ministerio de Transporte de Ontario ... 39
3.2.5 Método del Departamento de Transporte de Ohio ... 41
3.3 Procesamiento de la información ... 42
3.4 Resultados ... 42

4. Procesamiento de la información 44
4.1 Método VIZIR 44
4.2 Método del PCI 48
4.3 Método del Ministerio de Transporte de Ontario 51
4.4 Método del Departamento de Transporte de Ohio 52
5. Resultado y análisis 55
5.1 Tramo 1 pavimento en mal estado 55
5.1.1 Método VIZIR 55
5.1.2 Método PCI 57
5.1.3 Método del Ministerio de Transporte de Ontario 58
5.1.4 Método del Departamento de Transporte de Ohio (PCR) 60
5.1.5 Comparación de las metodologías en el tramo 1 61
5.1.6 Identificación de los sectores homogéneos. 67
5.2 Tramo 2 pavimento en estado regular 72
5.2.1 Método VIZIR 73
5.2.2 Método PCI 74
5.2.3 Método del Ministerio de Transporte de Ontario 75
5.2.4 Método del Departamento de Transporte de Ohio (PCR) 75
5.2.5 Comparación de las metodologías en el tramo 2 77
5.2.6 Identificación de los sectores homogéneos 83
5.3 Tramo 3 pavimento en buen estado 88
5.3.1 Método VIZIR 88
5.3.2 Método PCI 89
5.3.3 Método del Ministerio de Transporte de Ontario 90
5.3.4 Método del Departamento de Transporte de Ohio (PCR) 90
5.3.5 Comparación de las metodologías en el tramo 3 91
5.3.6 Identificación de los sectores homogéneos 96
6. Conclusiones y recomendaciones 101
7. Referencias 104

Lista de tablas

Pag.

Tabla 2-1. Rango de clasificación del PCI 23
Tabla 2-2. Rango de clasificación del MTO 24
Tabla 2-3. Rango de Calificación de Condición del Pavimento (PCR) 27
Tabla 2-4 Vías que componen las rutas 65 y 65 A 28
Tabla 3-1. Sectores definidos a analizar 32
Tabla 4-1. Grado de deterioro de la primera unidad de inspección del pavimento regular. 45
Tabla 4-2. Índice de fisuración y deformación 45
Tabla 4-3. Primera calificación del índice de deterioro Is 46
Tabla 4-4. Valor de corrección en función de la extensión y de la gravedad de los parcheos y bacheos 46
Tabla 4-5. Rango de clasificación del VIZIR 47
Tabla 4-6. Clasificación de la primera unidad de inspección del pavimento regular. 47
Tabla 4-7. Valor deducible del DOT 52
Tabla 4-8. Valor deducido primera unidad de evolución del pavimento regular 53
Tabla 4-9. Calificación de la condición del pavimento. 54
Tabla 5-1. Deterioros metodología VIZIR 56
Tabla 5-2. Deterioros metodología PCI 57
Tabla 5-3. Deterioros metodología del MTO 59
Tabla 5-4. Deterioros metodología PCR 60
Tabla 5-5. Clasificación promedio de los métodos en el tramo 1 61
Tabla 5-6. Sectores homogéneos método VIZIR en el tramo 1 68
Tabla 5-7. Sectores homogéneos método PCI en el tramo 1 70
Tabla 5-8. Sectores homogéneos método de Ontario en el tramo 1 71
Tabla 5-9. Sectores homogéneos método PCR en el tramo 1 72
Tabla 5-10. Deterioros metodología VIZIR 73
Tabla 5-11. Deterioros metodología PCI 74
Tabla 5-12. Deterioros metodología del MTO 75
Tabla 5-13. Deterioros metodología PCR (Tramo 2) 76
Tabla 5-14. Promedio de clasificación tramo 2 77
Tabla 5-15. Sectores homogéneos método VIZIR en el tramo 2 84
Tabla 5-16. Sectores homogéneos método PCI en el tramo 2 85
Tabla 5-17. Sectores homogéneos método de Ontario en el tramo 2 86
Tabla 5-18. Sectores homogéneos método PCR en el tramo 2 87
Tabla 5-19. Deterioros metodología VIZIR 88
Tabla 5-20. Deterioros metodología PCI (Tramo 3) 89
Tabla 5-21. Deterioros metodología del MTO 90
Tabla 5-22. Deterioros metodología PCR (Tramo 1) 91
Tabla 5-23. Promedio de clasificación del tramo 3 91

Tabla 5-24. Sectores homogéneos método VIZIR en el tramo 3 96
Tabla 5-25. Sectores homogéneos método PCI en el tramo 2 98
Tabla 5-26. Sectores homogéneos método de Ontario en el tramo 2 99
Tabla 5-27. Sectores homogéneos método PCR en el tramo 2 100

Lista de figuras

Pag.

Figura 2-1. Localización de las vías objeto de estudio. 29
Figura 2-2. Mapa topográfico de la zona de estudio. 31
Figura 3-1. Sector en buen estado. 33
Figura 3-2. Sector en marginal. 34
Figura 3-3. Sector en mal estado. 34
Figura 3-4. Abcisado de la zona de estudio 35
Figura 3-5. Formato método del VIZIR 36
Figura 3-6. Actividad de campo del método VIZIR 37
Figura 3-7. Actividad de campo del método PCI 37
Figura 3-8. Formato método del PCI 38
Figura 3-9. Actividad para obtención del RCR 39
Figura 3-10. Formato método del MTO 40
Figura 3-11. Actividad de campo del método MTO 40
Figura 3-12. Actividad de campo del método DOT 41
Figura 3-13. Formato de campo del método DOT 42
Figura 4-1. Aproximación de grado de deterioro 45
Figura 4-2. Implementación del archivo UNPCIA2018.xls 49
Figura 4-3. Archivo CSV 49
Figura 4-4. Resultados del UNPCIA de la primera unidad evaluada del pavimento regular 50
Figura 5-1. Grafica comparativa de la metodología VIZIR con PCI 62
Figura 5-2. Grafica comparativa de la metodología VIZIR con PCR 63
Figura 5-3. Grafica comparativa de la metodología VIZIR con ONTARIO 64
Figura 5-4. Grafica comparativa de la metodología PCI con ONTARIO 65
Figura 5-5. Grafica comparativa de la metodología PCI con PCR 66
Figura 5-6. Grafica comparativa de la metodología PCR con ONTARIO 67
Figura 5-7. Grafica diferencias acumuladas metodología VIZIR del tramo 1 68
Figura 5-8. Grafica diferencias acumuladas metodología PCI del tramo 1 69
Figura 5-9. Grafica diferencias acumuladas metodología de Ontario del tramo 1 70
Figura 5-10. Grafica diferencias acumuladas metodología de Ontario del tramo 1 71
Figura 5-11. Grafica comparativa de la metodología VIZIR con PCI 78
Figura 5-12. Grafica comparativa de la metodología VIZIR con PCR 79
Figura 5-13. Grafica comparativa de la metodología VIZIR con ONTARIO 80
Figura 5-14. Grafica comparativa de la metodología ONTARIO con PCI 81
Figura 5-15. Grafica comparativa de la metodología PCR con PCI 82
Figura 5-16. Grafica comparativa de la metodología PCR con Ontario 83
Figura 5-17. Grafica diferencias acumuladas metodología VIZIR del tramo 2 84
Figura 5-18. Grafica diferencias acumuladas metodología PCI del tramo 2 85
Figura 5-19. Grafica diferencias acumuladas de metodología de Ontario del tramo 2 86

Figura 5-20. Grafica diferencias acumuladas de metodología de PCR del tramo 2.....87
Figura 5-21. Grafica comparativa de la metodología VIZIR con PCI.....92
Figura 5-22. Grafica comparativa de la metodología VIZIR con PCR 93
Figura 5-23. Grafica comparativa de la metodología VIZIR con Ontario.....94
Figura 5-24. Grafica comparativa de la metodología PCI con Ontario 94
Figura 5-25. Grafica comparativa de la metodología PCR con PCI.....95
Figura 5-26. Grafica comparativa de la metodología PCR con Ontario 95
Figura 5-27. Grafica diferencias acumuladas metodología VIZIR del tramo 3.....96
Figura 5-28. Grafica diferencias acumuladas metodología PCI del tramo 3 97
Figura 5-29. Grafica diferencias acumuladas metodología de Ontario del tramo 3 98
Figura 5-30. Grafica diferencias acumuladas metodología PCR del tramo 3.....99

1. Introducción

Las vías actualmente cumplen un papel fundamental para el desarrollo del país, debido a la alta demanda que se presenta en el transporte de pasajeros y cargas, siendo necesario velar por buen servicio, comodidad y cumplir con todas las especificaciones necesarias, para garantizar un ahorro de tiempo y disminución de los costó de operación de los vehículos. Por lo tanto, es fundamental conocer el estado de las rutas mediante la implementación de herramientas de evaluación de los pavimentos y una de estas herramientas es la auscultación superficial, la cual consiste en un método de fácil aplicación, que realiza un levantamiento de deterioros, con el fin de darle una evaluación a la capa de rodadura y definir las necesidades que presenta la vía.

Existen diferentes sistemas de auscultación superficial de pavimentos, entre estos están el Manual para la Clasificación de Condición de Pavimentos Flexibles del Ministerio de Transporte de Ontario (Canadá) (Ministry of Transportation, 2016), el Sistema de Clasificación del Estado del Pavimento (PCR, por sus siglas en inglés) del Departamento de Transporte de Ohio (Estados Unidos de América) (The Ohio Department of Transportation, 2006), el método de la ASTM D6433-20 (ASTM International, 2020) y la Metodología de Auscultación Francesa VIZIR (LCPC, 1991).

Debido a los diferentes métodos que existen para la evaluación superficial de los pavimentos, se han realizado diversos estudios donde se aplican varias metodologías y posteriormente efectúan una comparación entre ellas. Para el caso en particular se realiza un análisis y comparación de los métodos PCI, VIZIR, PCR y el Manual para la Clasificación de Condición de Pavimentos Flexibles del Ministerio de Transporte de Ontario en un tramo de un (1) kilómetro en buen estado, un sector de dos (2) kilómetros en estado regular y finalmente un tramo de un (1) kilómetro en un estado muy deteriorado en las rutas a cargo de la administración vial del INVIAS Territorial Meta, modulo 1, grupo 3. Esto permitirá dar una calificación en los tramos estudiados, comparar el sistema de evaluación

de cada metodología con el fin de formular algunas recomendaciones sobre la posible adopción de los otros métodos para la práctica de ingeniería en el país.

1.1 Descripción del problema

En Colombia, las vías terrestres son el principal medio de comunicación entre diferentes lugares a nivel municipal, departamental y nacional. Las vías permiten el desarrollo económico y cultural, por tal motivo su explotación es constante y es importante aplicar metodologías que permitan evaluar y verificar su estado periódicamente.

Actualmente, se pueden emplear diferentes metodologías para evaluar la condición de los pavimentos, las cuales se diferencian en la forma de plantear la calificación de los tipos de daños que se puedan presentar.

En el año 2002 el INVIAS implemento el método francés VIZIR para realizar la inspección de daños de las vías con pavimento asfáltico que hacen parte de la red vial nacional. No obstante, es deseable comparar esta metodología con otras disponibles en la literatura técnica que pudieran ofrecer un diagnóstico alternativo, más detallado o diferente que el método adoptado por el INVÍAS.

1.2 Antecedentes

La auscultación de los pavimentos es importante porque permite conocer a tiempo los deterioros presentes en la superficie y de esta manera, realizar las reparaciones correspondientes, consiguiendo así ofrecer al usuario una vía en óptimas condiciones que garantice seguridad y comodidad. Con la evaluación constante de la capa superficial de rodadura se pueden formular modelos de deterioro para predecir el nivel de vida de una red o un proyecto y mejorar costos de rehabilitación, pues si se interviene una falla de forma temprana se prolonga la vida útil del pavimento.

Para la auscultación visual de pavimentos existen diferentes metodologías que permiten realizar un diagnóstico del estado de estos, donde se establecen posibles causas y consecuencias de cada falla. Dentro de las diferentes metodologías se pueden citar el Manual para la Clasificación de Condición de Pavimentos Flexibles del Ministerio de Transporte de Ontario (Canadá) (Ministry of Transportation, 2016), el Sistema de

Clasificación del Estado del Pavimento (PCR, por sus siglas en inglés) del Departamento de Transporte de Ohio (Estados Unidos de América) (The Ohio Department of Transportation, 2006), el Índice de Condición del Pavimento (PCI, por su sigla en inglés) que se encuentra estandarizado en el método ASTM D6433-20 (ASTM International, 2020) y la Metodología de Auscultación Francesa VIZIR (LCPC, 1991). Esta última se adoptó como base para la clasificación y cuantificación de los deterioros de un pavimento asfáltico en la Guía Metodológica para el Diseño de Obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de Carreteras del Instituto Nacional de Vías de Colombia en (2008).

Reza, Boriboonsomsin y Bazlamit (2006) desarrollaron un nuevo índice para pavimentos que incorpora aspectos de calidad junto a los estados de la superficie del pavimento. Este se denomina Índice de Calidad del Pavimento (PQI) el cual implementa la combinación de las metodologías del PCR y el Índice Internacional de Rugosidad (IRI, por su sigla en inglés).

En el caso de implementación de metodologías de evaluación visual de pavimentos se puede citar el trabajo de Chan, Cui y Lee (2016) quienes implementaron las diversas combinaciones de manuales de clasificación visual de pavimentos, entre ellas la metodología del del Ministerio de Transporte de Ontario, con el fin de realizar una transición de la clasificación de deterioros a una forma automatizada y así brindar seguridad al personal, reduciendo la exposición de los trabajos de campo.

Debido a los diferentes métodos que existen para la evaluación superficial de los pavimentos, se han realizado diversas investigaciones donde se aplican varias metodologías y posteriormente efectúan una comparación entre ellas, como lo evidencian Gharaibeh, Zou y Saliminejad (2010), quienes analizaron y compararon seis índices de condición del pavimento en donde evidenciaron que existen diferencias significativas entre los índices de condición. Generalmente, la diferencias entre estos se atribuyen a la forma de considerar los tipos de deterioros, factores de ponderación y formas matemáticas de los índices. De forma similar Peraza García (2016) realizó un estudio que consistió en la evaluación de un tramo de la carretera rural Santa Clara entronque Vuelta (Cuba) aplicando el método "Pavement Condition Index" y los métodos cubanos, quien concluyó que la metodología más conservadora es la del PCI, debido a que posee siete rangos para

calificar desde cero que es una superficie fallada hasta 100 en excelente estado, además de contar con 19 patologías para evaluar la superficie de un pavimento asfáltico.

Cabe considerar, por otra parte, que en Colombia se han realizado varios estudios de aplicación y comparación de las metodologías VIZIR y PCI. Algunos de los trabajos realizados son: Comparación de las metodologías VIZIR y PCI en la evaluación de tramos de pavimento de las vías: Manizales – Chinchiná (PR 39+000 – PR 44+000) y Variante Santa Rosa de Cabal (PR00+000 – PR03+000) de los autores Aristizábal Parra y Dussán Medina (2005), quienes concluyen que la metodología que mejor refleja el estado del pavimento es el método utilizado por el PCI debido a que es la más completa y objetiva de las dos comparadas en cuanto a la toma de datos y a la fácil implementación en campo dado a que no necesita herramientas especializadas.

El segundo trabajo que se considera lleva por título: Evaluación y comparación de metodologías VIZIR y PCI sobre el tramo de vía en pavimento flexible y rígido de la vía: Museo Quimbaya – CRQ Armenia Quindío (PR00+000 – PR02+600), de la autora Cerón Bermúdez (2006) cuyo resultado da una mejor calificación con la metodología PCI por ser más completa debido a que incluye daños específicos de la capa de rodadura como es el caso del pulimiento de agregados; también el rango de calificaciones de la metodología PCI es más amplio siendo este desde cero hasta 100 con siete rangos posibles, y la metodología VIZIR desde 1 hasta 7 con tres rangos posibles, haciendo más específica la calificación y clasificación de los daños.

Pasamos ahora a reconocer el estudio titulado: Aplicación y comparación de las diferentes metodologías de diagnóstico para la conservación y mantenimiento del tramo PR 00+000 – PR 01+020 de la vía al llano (Dg 78 Bis Sur – Calle 84 Sur) en la UPZ Yomasa, por los autores Sierra Diaz y Riveras Quintero (2016), quienes recomiendan el uso de la metodología francesa VIZIR, debido a que esta es más fácil de entender para así llevar acabo la evaluación y condición del pavimento.

El trabajo titulado: Diagnóstico de puentes mediante inspección visual de pavimento flexible, con base en la comparación de la metodología PCI (Pavement Condition Index) y VIZIR de la autora Coy Ramirez (2016), quien llega a la conclusión que la metodología VIZIR es más sencilla y de fácil aplicación, explica que los cálculos para ponderar la

calificación son más rápidos, mientras la metodología PCI es un poco más compleja y demorada porque cubre mayor número de tipo de daños, haciendo de esta que sea más detallada.

Otros aportes que se pueden citar son los trabajos de Amaya Camargo y Rojas Guavita (2017), y Coy Pineda (2017), en ambas investigaciones, los autores llegaron a una conclusión similar, al mencionar que la metodología PCI evalúa y tiene en cuenta todos los tipos de daños o fallas que pueda tener el pavimento para el cálculo del Índice de Condición del Pavimento, el cual no discrimina las fallas estructurales de las funcionales, en cambio la metodología VIZIR en su aplicación tiene en cuenta solo los daños estructurales a la hora de calificar, a pesar que los discrimina en dos categorías (estructurales y funcionales), los funcionales no los tiene en cuenta en la evaluación de su índice de deterioro.

De manera simultánea, se puede decir que el estudio titulado: Análisis Comparativo de Metodologías de Evaluación VIZIR y PCI (parte b), aplicado a la estructura de pavimento de una vía urbana, en el barrio Chicó Norte (localidad Chapinero) realizado por García Salazar y Silva Castillo (2018), concluyen que una de las diferencias más importantes establecidas entre las metodologías implementadas, es que el método PCI tiene en cuenta todos los deterioros que presenta el pavimento para el cálculo de su condición. Así como, en los últimos años se puede destacar los trabajos realizados por Cardenas Lemus, Holguin Rojas y Zabala Muñoz (2019) quienes recomiendan incluir una vía que se encuentre en buenas condiciones para la comparación de métodos. Para finalizar con los aportes de, Riveros Triviño y Vega Gaitan (2019) quienes recomiendan respetar la longitud de muestreo de la metodología PCI.

1.3 Justificación

Debido a la importancia del estado óptimo de las vías para un país, se hace necesario implementar métodos que evalúen el estado de estas. A nivel nacional se implementan diferentes metodologías de mantenimiento, siendo de vital importancia debido a que la intervención de un deterioro de forma temprana genera una prolongación de la vida útil del pavimento, lo que a largo tiempo significará una consideración para optimizar costos de planes de mantenimiento y rehabilitación de las redes evaluadas

En los sectores típicos que se evaluarán en este trabajo, se aplicarán las metodologías propuestas, se hará un análisis detallado y una comparación sobre las semejanzas, ventajas y desventajas de cada método para así poder concluir sobre la conveniencia de cada alternativa disponible de evaluación del estado de la estructura.

1.4 Alcance

El desarrollo del trabajo será mediante un inventario manual e inspección visual de la superficie de pavimento flexible en sectores típicos de las vías que forman parte de la administración vial del INVIAS Territorial Meta, módulo 1, grupo 3

Se tendrán en cuenta los tipos de daño presentes registrándolos conforme con las metodologías escogidas.

Se evaluarán tres sectores típicos:

- Un (1) kilómetro en buen estado.
- Dos (2) kilómetros en estado marginal o regular.
- Un (1) kilómetro en un estado muy deteriorado.

Se propondrán conclusiones sobre el estado actual de los sectores típicos y las posibles causas de los deterioros que se observen según los métodos empleados.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Analizar y comparar cuatro metodologías de evaluación superficial de pavimentos flexibles en tres sectores típicos de las rutas a cargo de la administración vial del INVIAS Territorial Meta, módulo 1, grupo 3.

1.5.2 Objetivos específicos

- En los sectores identificados determinar y localizar los diferentes tipos de daño que se presentan en el pavimento y consignarlos de acuerdo con los sistemas de clasificación de daños.

- Sectorizar de acuerdo con la clasificación obtenida con las metodologías empleadas.

- Comparar los resultados de los métodos de inventario y diagnóstico de daños entre sí, tomado como línea base los resultados del método VIZIR.

- Concluir sobre los resultados obtenidos con la aplicación de las metodologías y formular algunas recomendaciones sobre la posible adopción de los otros métodos para la práctica de ingeniería en el país.

2. Marco referencial

En este capítulo se presenta una breve recopilación de teorías y localización de la zona en la que se pretende desarrollar el presente trabajo, para ello se propone el abordaje investigativo y conceptual a partir de un marco teórico y marco espacial.

2.1 Marco teórico

Esta fase comprende la explicación breve de las metodologías a implementar en el presente trabajo, por ende, se relacionarán los métodos VIZIR, PCI, Método del Ministerio de Transporte de Ontario y el Método del Ministerio de Transporte de Ohio.

2.1.1 Método VIZIR (LCPC, 1991)

Este método es un sistema de fácil implementación con el cual se puede evaluar y calificar la condición superficial de los pavimentos flexibles, se caracteriza por dar una clasificación entre fallas estructurales y funcionales, categorizadas entre tipo A y B respectivamente. Los daños tipo A son asociados generalmente a insuficiencia de la capacidad estructural del pavimento, de una forma general se comprenden por fallas de deformaciones y los agrietamientos ligados a la fatiga del pavimento, mientras que los daños tipo B están asociados a aspectos constructivos.

De acuerdo con el resultado de esta evaluación la cual se procesa mediante un equipo de medición básico, se calcula el Índice de deterioro superficial (Is), el cual se determina a partir de sectorizar los tramos de vía por áreas y analizar su estado.

El proceso de este método sería el siguiente:

- Se realiza la auscultación en campo, donde se distinguen los daños Tipo A o B, para posteriormente identificar el tipo de daño específico y la causa que lo origino.
- Determinar la gravedad del daño: los niveles de gravedad se determinan según lo establecido en la Guía Metodología para el Diseño de Obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de Carreteras (2008).
- Posteriormente se procesa la información de manera tal que se obtengan un promedio ponderado de la condición del pavimento asfáltico
- Una vez realizado este procedimiento se define el nivel de gravedad del daño, al cual se le aplica un Índice de corrección establecido por la Guía Metodología para el Diseño de Obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de Carreteras (2008).
- Realizada la corrección, cuando corresponda, se obtiene el "Índice de Deterioro Superficial, (Is)", el cual califica la calzada en la longitud escogida para el cálculo. El valor del Is varía entre 1 y 7 y, de acuerdo con el Instituto Nacional de Vías (2008).

2.1.2 Método del PCI (ASTM International, 2020)

Es una metodología de origen norteamericano, correspondiente a la norma internacional ASTM D6433-20 (2020). El índice de condición del pavimento (PCI) según Vásquez Varela (2002) se considera como el método más completo para la evaluación de los pavimentos, sean flexibles o rígidos. Es de fácil aplicación y para su diagnóstico no requiere de herramientas especializadas.

Cabe resaltar que, las fallas de la estructura de pavimento dependen del tipo de daño, su severidad y cantidad de este. Por consiguiente, Vasquez Varela (2002) afirmo lo siguiente:

> La formulación de un índice que tuviese en cuenta los tres factores mencionados ha sido problemática debido al gran número de posibles condiciones. Para superar esta dificultad se introdujeron los "valores deducidos", como un arquetipo de factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad tiene sobre la condición del pavimento. (p.2)

El PCI es un índice numérico que varía de cero a 100, siendo cero la peor condición posible y 100 la mejor condición posible. El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un

inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen clase, severidad y cantidad de cada daño presente. 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. En la Tabla 2-1 se presentan los rangos que comprende la calificación del PCI.

Tabla 2-1. Rango de clasificación del PCI

Rango	Clasificación
100 – 85	Bueno
85 – 70	Satisfactorio
70 – 55	Regular
55 – 40	Malo
40 – 25	Muy malo
25 – 10	Grave
10 – 0	Fallado

Fuente: ASTM (2020)

El proceso de este método es el siguiente:

- Inicialmente se definen las unidades de muestreo, esta consiste en la división de la vía en secciones y sus dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y de capa de rodadura
- Se inicia con el trabajo de campo, en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de estos. Esta información se registra en formatos establecidos por el método.
- Al completar la inspección de campo, la información sobre los daños se utiliza para calcular el PCI. El cálculo puede ser manual o computarizado y se basa en los “Valores Deducidos” de cada daño de acuerdo con la cantidad y severidad reportadas.

2.1.3 Método del Ministerio de Transporte de Ontario (Ministry of Transportation, 2016)

El Ministerio de Transporte de Ontario implementa este manual con el fin de calificar la condición de la superficie del pavimento y se basa en la interrelación de dos medidas, la calidad del viaje y las manifestaciones de deterioros. La calidad del viaje es el grado de comodidad que proporciona el pavimento al usuario de la vía, este varia de 0 a 10, siendo 0 excelente y 10 muy malo. Al calificar la condición del viaje, es importante que el evaluador no se vea influenciado por la apariencia de la superficie del pavimento; solo se debe considerar relevante la calidad de viaje que el pavimento le brinda al usuario. Por otra parte, las manifestaciones de deterioros son signos visibles del estado estructural del pavimento. Estas fallas son indicadores de problemas debidos a deficiencias de materiales, deficiencias de construcción, condiciones ambientales y climáticas, carga de tráfico entre otras. Esta medida tiene en cuenta los siguientes parámetros, el grado de severidad, que indica la gravedad de la falla y tiene cinco niveles: muy leve, leve, moderado, severo y muy severo. Y la extensión de la ocurrencia que describe qué tan grande es el problema y tiene cinco niveles: Pocos, Intermitente, Frecuente, Extenso y Completo.

En función de las dos mediciones descritas anteriormente, se realiza la calificación de la superficie del pavimento en una escala de 0 a 100, siendo 0 un pavimento en muy malas condiciones con una pésima calidad de viaje y 100, un pavimento en excelente condición de viaje.

En la Tabla 2-2 se presentan los rangos de calificación del manual del Ministerio de Transporte de Ontario (2016).

Tabla 2-2. Rango de clasificación del MTO

PCR	Una guía para la estimación de la calificación de condición del pavimento para pavimentos flexibles
90 - 100	El pavimento está en excelentes condiciones con pocas grietas.
	La calificación de condición de marcha es excelente, con pocas áreas de distorsión muy leves.
75 - 90	El pavimento está en buen estado con frecuentes fisuras.

	La calificación de condición de marcha es buena con algunas secciones ligeramente rugosa e irregulares.
65 - 75	El pavimento está en buenas condiciones con ligeras grietas, distorsiones leves, y algunas áreas leves de piel de cocodrilo.
	La calificación de la condición de viaje es bastante buena con secciones irregulares de forma intermitente.
50 - 65	El pavimento está en condiciones aceptables con grietas moderadas intermitente y frecuentes, con distorsión y piel de cocodrilo leves y moderadas
	La calificación de las condiciones de viaje es aceptable y la superficie es ligeramente rugosa y desigual.
40 - 50	El pavimento está en malas condiciones con tendencia a regular y se presentan frecuentes grietas y distorsiones moderadas, y piel de cocodrilo moderada
	La calificación de las condiciones de viaje es de mala a regular y la superficie es moderadamente rugosa y desigual.
30 - 40	El pavimento está en malas condiciones con tendencia a regular con frecuente piel de cocodrilo, extensas grietas y distorsiones moderadas.
	La calificación de las condiciones de viaje es de mala a regular y la superficie es moderadamente rugosa y desigual.
20 - 30	El pavimento se encuentra en malas condiciones con una piel de cocodrilo moderado y un gran agrietamiento y graves distorsión.
	La calificación de las condiciones de viaje es mala y la superficie es muy rugosa y desigual.
0 - 20	El pavimento está en muy malas condiciones con grietas, piel de cocodrilo y distorsión graves y extensas.
	La calificación de las condiciones de viaje es muy mala y la superficie es muy rugosa y desigual.

Fuente: Elaboración propia, adaptación de Ministry of Transportation (2016)

El proceso de este método es el siguiente:

- Para llevar a cabo la evaluación del estado del pavimento, conduzca lentamente sobre el pavimento para inspeccionar visualmente el estado general de la superficie para ver si hay uniformidad en la apariencia. Si se observan diferencias claras, entonces el pavimento debe subdividirse en dos (o más) secciones apropiadas para la evaluación.

- Sin embargo, cada sección de evaluación debe tener una longitud mínima de 1,6 km para caminos rurales. Este requisito de longitud mínima es estrictamente económico.
- Después de establecer la sección de evaluación, evalúe la condición funcional del pavimento obteniendo la clasificación de condición de conducción (RCR, por sus siglas en inglés). Esta calificación se obtiene promediando la calidad de conducción en ambas direcciones del pavimento. Conduzca sobre el pavimento al límite de velocidad indicado para la ruta. Sin embargo, si no es posible mantener el límite de velocidad indicado de manera segura, el pavimento debe tener una velocidad segura y debe anotarse esa velocidad.
- Después de determinar el RCR, evalúe el estado estructural del pavimento conduciendo lentamente para evaluar las manifestaciones de deterioro. Se deben realizar varias paradas por sección para examinar el tipo y la gravedad de la falla, en particular con respecto a los defectos superficiales y estructurales.
- Se diligencia el formato de la metodología registrando la calificación del viaje y todas las manifestaciones de deterioro observadas.
- Asigne una calificación de condición del pavimento (PCR) de acuerdo con la guía para la estimación de la calificación de condición del pavimento para pavimentos flexibles del Manual del Ministerio De Ontario (2016).

2.1.4 Método del Departamento de Transporte de Ohio (The Ohio Department of Transportation, 2006)

El método de clasificación se basa en la inspección visual del deterioro del pavimento, esta clasificación proporciona un procedimiento para identificar y describir uniformemente, en términos de severidad y extensión, el deterioro del pavimento. La clasificación del PCR se determina mediante una expresión matemática compuesta por los diferentes tipos de daños, la gravedad y la extensión sobre la condición general del pavimento.

Para describir el PCR se ha establecido una escala de calificación del estado del pavimento para describir la condición del pavimento utilizando los números de PCR calculados a partir de la ecuación matemática propuesta por el método. Esta escala tiene un rango de 0 a 100; un PCR de 100 representa un pavimento perfecto sin ningún daño observable y un PCR de 0 representa un pavimento con todos los daños presentes en sus niveles de

severidad "Alto" y niveles de extensión "Extenso". En la Tabla 2-3 se presenta la clasificación de la condición del pavimento.

Tabla 2-3. Rango de Calificación de Condición del Pavimento (PCR)

Rango	Clasificación
100 – 90	Muy bueno
90 – 75	Bueno
75 – 65	Regular
65 – 55	De regular a malo
55 – 40	Malo
40 – 0	Muy malo

Fuente: Elaboración propia, adaptación de The Ohio Department of Transportation (2006)

El proceso de este método es el siguiente:

- Realizar un recorrido por la sección predeterminada de la carretera a una velocidad de aproximadamente 60 km / hora. Durante este paso, se deben calificar las fallas fácilmente visibles como baches, exudación, asentamiento, deterioro de la superficie entre otras.
- Se debe hacer una segunda pasada a lo largo de la sección de la calzada con paradas a intervalos de aproximadamente 1,6 km (1 milla). En cada parada, se deberá evaluar la calzada observando 30 m del pavimento. Se debe realizar una inspección minuciosa del agrietamiento del pavimento y otros daños visibles.
- Se diligencia el formulario de PCR y se obtiene la calificación final de este.

2.2 Marco espacial

El estudio se hizo sobre tramos de la malla vial identificada como Ruta Nacional 65 que atraviesa el territorio en sentido noreste bordeando la Cordillera Oriental, desde Villa Garzón (Putumayo) hasta Saravena (Arauca) cerca de la frontera con Venezuela.

Específicamente, la Ruta 6508 “Cruce de Puerto Rico Meta - Ye de Granada Meta”, siendo el Cruce de Puerto Rico Meta el PR 00+000 y la Ye de Granda el PR 103+0900, teniendo así una longitud total del 103.9 Km y la Ruta 65A02 “Uribe Meta - Ye de Granada Meta”,

siendo Uribe el PR 00+000 y la Ye de Granda el PR 109+0820, teniendo así una longitud total del 109.820 Km.

Actualmente la administración de estas rutas se encuentra a cargo del Consorcio CH AMV Meta mediante el Contrato de Administración Vial No. 2617-2019 con el INVIAS y que tiene por objeto “Administración de Mantenimiento Vial módulo 1 grupo 3”. En la Figura 2-1 se presenta la localización de las rutas a cargo de la Administración de Mantenimiento Vial módulo 1 grupo 3.

El Consorcio CH AMV Meta (2021) describe la Ruta 6508 como una vía primaria, debido a que comunica a Granada con distintos municipios del área de influencia del rio Ariari, como lo son Fuente de Oro, Puerto Lleras, Puerto Rico, Puerto Concordia y es la única vía de acceso al Guaviare, cuenta con una de calzada de un ancho promedio de 7.5 metros que la conforma 2 carriles, una berma de 0.6 metro en ambos costados y sus pendientes longitudinales son normalmente menores de tres por ciento (3%).

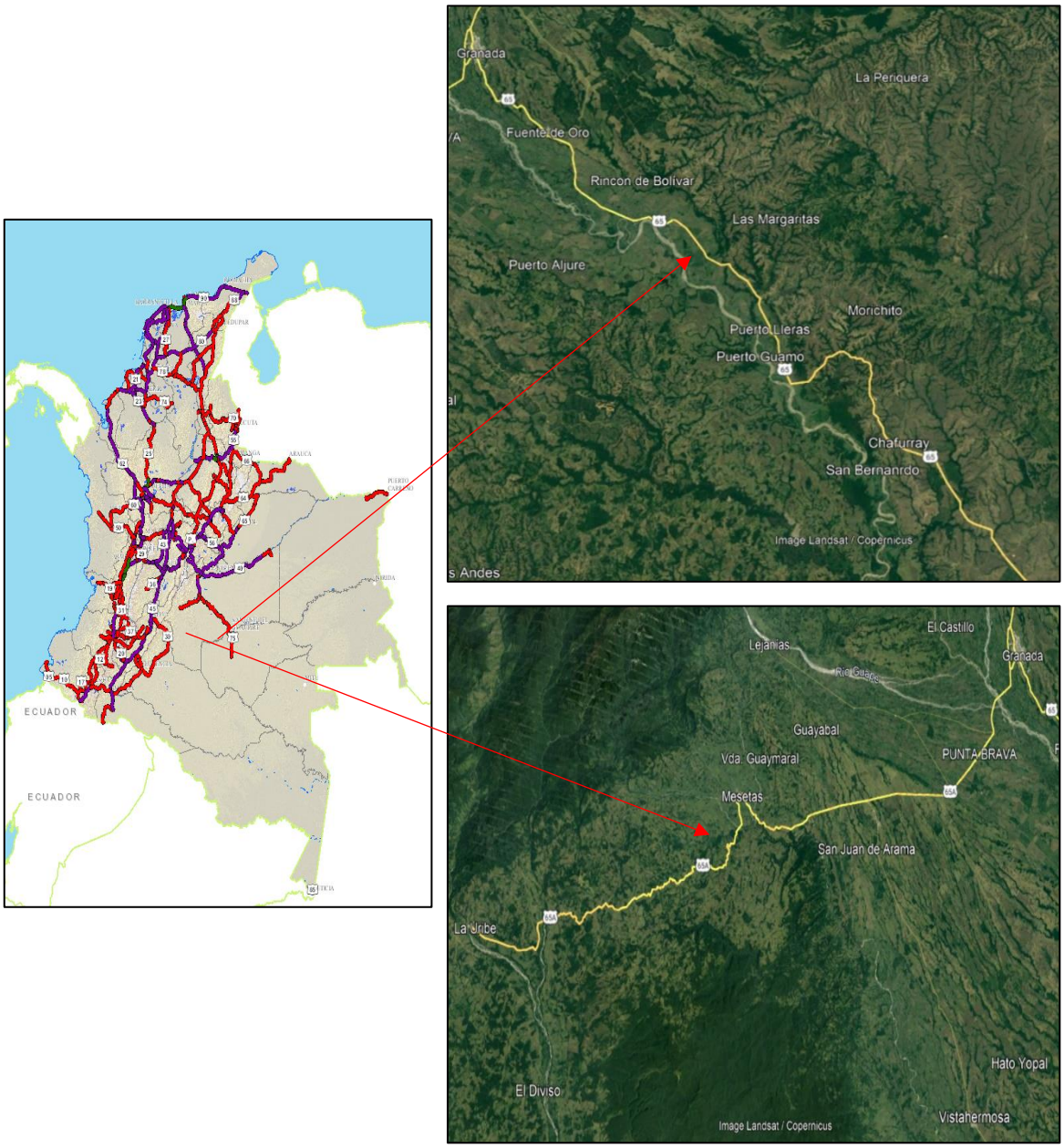
La Ruta 65A02 en una vía de primer orden debido a que comunica diferentes zonas de producción agrícola, cuenta con 2 carriles que conforma una calzada de un ancho promedio de 7.8 metros, bermas de ancho promedio de 0.5 metros y sus pendientes longitudinales se encuentran entre tres y seis por ciento (3% - 6%) del PR 00+000 al PR 70+000 y del PR 70+000 al PR 109+0820 regularmente son menores de tres por ciento (3%). (Consorcio CH AMV Meta, 2021)

Tabla 2-4 Vías que componen las rutas 65 y 65 A

Identificador	Ruta Nacional	Tipo de ruta	Recorrido actual	Longitud (km)
	Ruta 65	Troncal	Villa Garzón – Puerto Bello – San José del Fragua - Florencia – Puerto Rico – Mina Blanca - // San José del Guaviare – Cruce Puerto Rico - - Ye de Granada – Granada – Río Ocoa – Villavicencio - Barranca de Upía – Monterrey – Aguazul – Yopal – Paz de Ariporo – La Cabuya – Saravena	1.215.74
	Ruta 65 A	Troncal	La Uribe – Ye de Granada	118.23

Fuente: (INVIAS, 2020)

Figura 2-1. Localización de las vías objeto de estudio.



Fuente: Elaboración propia, adaptación del mapa de carreteras (INVIAS, 2020)

2.2.1 Clima

Según (Rodríguez Parra, 2001) informa que en el departamento del Meta se presentan varios pisos térmicos que en general ofrecen unas áreas de: 76.215 km2 en el piso cálido

o Ecuatorial; 4.281 km2 en el piso medio o Andino; 3.854 km2 en el piso frío, Subandino y Altoandino y 1.285 km2 en el piso de Páramo. De igual forma describe que la temperatura varía igualmente, de acuerdo con la altura de la capa atmosférica. En el Páramo de Sumapaz sobre los 4.000 m de altura sobre el nivel del mar-, las temperaturas no pasan en ningún momento durante el año de los 8°C. En el piedemonte –alturas entre los 1.000 y 4.000 m sobre el nivel del mar- oscila entre 18 y 24 °C y en la llanura aluvial – menos de 1.000 m sobre el nivel del mar-, se mantienen sobre los 24 °C. Estas variaciones térmicas favorecen la producción de alimentos específicos de cada piso térmico.

Las cantidades de pluviosidad anual varían de la misma manera. Entre 2.000 y 3.000 mm/año en la planicie aluvial hasta algo más de 6.000 mm/año en la región de El Castillo, piedemonte llanero, según datos de Himat (1983). Los meses de lluvia están comprendidos entre marzo y diciembre y los de verano entre diciembre y marzo, debido a igual variación en la dirección de las corrientes de vientos, las cuales entre diciembre y marzo provienen del noreste y entre marzo a noviembre soplan desde el sureste. (Rodríguez Parra, 2001)

2.2.2 Geología y topografía

En el informe realizado por (Rodríguez Parra, 2001) describe que:

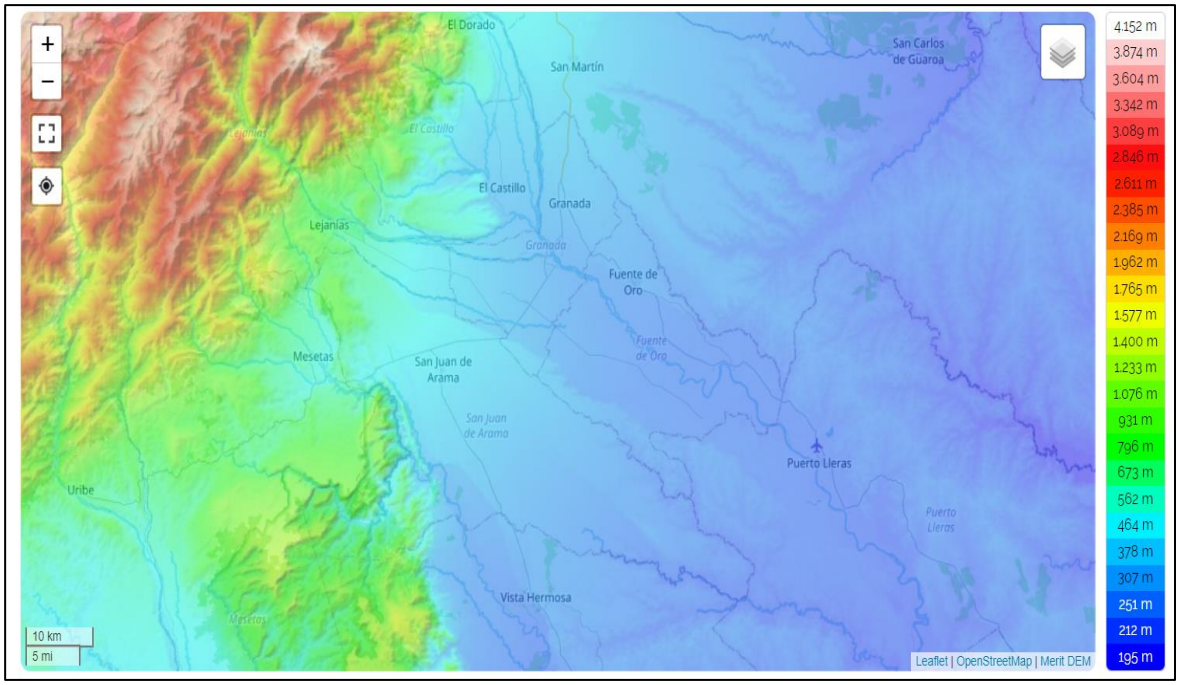
> La geología del Departamento del Meta muestra la influencia de dos grandes estructuras: al oriente la Cordillera Oriental junto con la Sierra de La Macarena y al occidente el Macizo de la Guayana, también denominado Basamento Guayanés.
>
> La cordillera oriental una vez levantada como estructura montañosa, comienza a ser modelada por los agentes climatológicos. Los últimos levantamientos del Neógeno y del Pleistoceno, apoyados por la sucesión de las diferentes épocas glaciares del Cuaternario o Reciente, produjeron grandes cauces por los que se transportaron enormes cantidades de sedimentos que se acumularon en la parte baja y plana de los Llanos orientales dando origen a la topografía actual del departamento.
>
> El Escudo Guayanés -de edad Precámbrica-, a más de que colaboró en la formación de la estructura andina, sirvió de base para soportar la acumulación de

esta gran cantidad de sedimentos, los cuales rellenaron sus principales depresiones dando origen al paisaje llano actual.

En las estribaciones de la cordillera y de la serranía de La Macarena, los materiales se depositaron de tal manera que semejan grandes y extendidos abanicos recostados en la cordillera, terminados a trechos largos en una serie de colinas de no más de 50 metros de altura que es a lo que hoy se denomina como piedemonte y altillanura respectivamente. (p.23)

La topografía del departamento del Meta se caracteriza en su gran mayoría por ser plana, de una forma particular en la Figura 2-2 se observa las variaciones de altura sobre el nivel de mar en las zonas aledañas a las vías objeto de este estudio

Figura 2-2. Mapa topográfico de la zona de estudio.



Fuente: Topographic-map (2021)

3. Metodología

La metodología implementada para este trabajo contemplo un conjunto de fases que se explican a continuación:

3.1 Definición de tramos de evaluación

Aquí se describe como se definió los tramos analizados y el proceso que permitió obtener la información base para la aplicación y discusión de los resultados obtenidos.

En esta fase se considera la información brindada por la administración vial, donde se encuentra la relación del estado de la red de la ruta 6508 “Cruce de Puerto Rico Meta - Ye de Granada Meta” y la ruta 65A02 “Uribe Meta - Ye de Granada Meta”. El cual evalúan trimestralmente con un criterio visual y de transitabilidad.

Dado a lo anterior y teniendo en cuenta el alcance del presente estudio se establecen los sectores a analizar que se plasman en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1. Sectores definidos a analizar

Código vía	PR inicial	PR final	Carretera	Longitud (km)	Tipo de superficie	Estado
6508	68+000	69+000	Cruce Puerto Rico - Ye de Granada	0.98	P	Bueno
6508	69+000	70+000	Cruce Puerto Rico - Ye de Granada	1.01	P	Bueno

65A02	85+000	86+000	La Uribe - Ye de Granada	0.99	P	Malo
65A02	86+000	87+000	La Uribe - Ye de Granada	1.01	P	Malo
65A02	107+000	108+000	La Uribe - Ye de Granada	1	P	Regular
65A02	108+000	109+000	La Uribe - Ye de Granada	0.94	P	Regular
65A02	109+000	109+821	La Uribe - Ye de Granada	1.01	P	Regular

Fuente: Elaboración propia, adaptación Consorcio CH AMV Meta (2021)

Teniendo en cuenta la anterior tabla se establecen los tres tramos de la siguiente manera:

Un (1) Km en buen estado en el sector comprendido entre el PR 68+000 al PR 70+000 de la ruta 6508 y se presente en la Figura 3-1.

Figura 3-1. Sector en buen estado.

Fuente: Google Earth (2021)

Dos (2) Km en estado marginal en el tramo del PR 107+000 al 109+821 de la ruta 65A02, se evidencia en la Figura 3-2.

Figura 3-2. Sector en marginal.

Fuente: Google Earth (2021)

Un (1) Km estado muy deteriorado en el sector del PR 85+000 al PR 87+000 de la ruta 65A02 y se observa en la Figura 3-3.

Figura 3-3. Sector en mal estado.

Fuente: Google Earth (2021)

3.2 Trabajo de campo

El trabajo de campo consiste en ubicar las zonas a analizar e identificar los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de estos con base en cada metodología de evaluación.

3.2.1 Abcisado de los tramos y definición de las unidades de inspección

Para este trabajo se implementó un decámetro y pintura para realizar un abcisado cada 10 metros a lo largo de los tramos de vía que comprende el alcance de este estudio y así tener una referencia para la identificación de cada falla superficial mediante la implementación de cada metodología de evaluación del estado del pavimento como se evidencia en la Figura 3-4.

Figura 3-4. Abcisado de la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia.

Con fin de tener una similitud de las secciones a evaluar en cada método, se establecen las unidades de inspección de igual longitud en todos los sectores, en los tramos de un (1) Km en buen estado y un (1) Km en estado muy deteriorado, se implementan 32 secciones de 30 metros y una de 40 metros y en el sector de dos (2) Km en estado marginal se adoptan 66 secciones de 30 metros y una de 20 metros. Cabe resaltar que estas unidades de inspección cumplen con el criterio establecido por el método PCI, con respecto a los métodos del MTO y DOT no establecen criterios para la definición de los sectores a evaluar. Referente al método VIZIR, adaptada por el INVIAS define secciones de 100 metros, pero no restringe a otra longitud, por lo cual se toma las secciones definidas. En

conclusión, las unidades definidas no generan cambios con respecto a los criterios de evaluación.

3.2.2 Método VIZIR

De acuerdo a las pautas establecidas en la Guía Metodológica para el Diseño de Obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de Carreteras del INVIAS, se realiza el formato de levantamiento de deterioros en campo, en la Figura 3-5 se observa el formato para la inspección visual.

Figura 3-5. Formato método del VIZIR

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

ANÁLISIS COMPARATIVO DE CUATRO METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN SECTORES TÍPICOS DE LAS RUTAS A CARGO DE LA ADMINISTRACIÓN VIAL DEL INVIAS TERRITORIAL META, MÓDULO 1, GRUPO 3

FORMATO DE CAMPO DE INVENTARIO DE DETERIOROS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Nombre de la carretera							
Codigo de la carretera		Abcisa inicial		Abcisa final		Tramo	Fecha
Levantado por	Juan David Mendoza Castro						
Ancho de calzada (m)		Longitud de seccion (m)		Tipo de via		Berma	
Numero de carriles				Existencia de arboles si		Hoja 1	de 1

Tipo de deterioro	Nombre del deterioro	Codigo	Gravedad 1	Gravedad 2	Gravedad 3	Representacion grafica
Deterioro de tipo A Condicion estructural	Ahuellamiento	AH				
	Depresiones o hundimientos longitudinal	DL				
	Depresiones o hundimientos tranversal	DT				
	Fisuras longitudinales	FL				FL
	Fisura piel de cocodrilo	FPC				
	Bacheo y parcheos	B				
Deterioro de tipo B Condicion funcionales	Fisura longitudinal junta de construccion	FLJ				
	Fisura transversal junta de construccion	FTJ				
	Fisura de construccion termica	FCT				
	Fisura parabolicas	FP				
	Fisura de Borde	FB				
	Ojo de Pescado	O				O
	Desplazamiento o abultamiento o ahuellamiento	DM				
	Perdida dela pelicula de ligante	PL				PL
	Perdida de agregado	PA				
	Descascaramiento	D				
	Pulimiento de agregados	PU				
	Exudacion	EX				
	Afloramiento de mortero	AM				AM
	Afloramiento de agua	AA				AA
	Desintegracion de bordes de pavimento	DB				DB
	Escalonamiento entre calzada y Berman	ECB				
	Erosion de las bermas	EB				EB
	Segregacion	S				S

Observaciones

Fuente: Adaptación (Instituto Nacional de Vias, 2008)

Implementando el anterior formato y conforme a las unidades de inspección establecidas con anterioridad se realiza el levantamiento de los daños de los tramos de estudio. En la Figura 3-6 se observa el levantamiento de información del método VIZIR.

Figura 3-6. Actividad de campo del método VIZIR

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Método del PCI

Conforme a los criterios de la norma ASTM D6433-20 para el levantamiento de los daños superficiales se realiza el formato de campo que se presenta en la Figura 3-8

Posteriormente y mediante la implementación de equipos de medición recomendados para la toma de información de las patologías superficiales del pavimento, se realizó el recorrido en las diferentes secciones en las zonas de estudio registrando cada una de las fallas de la capa de rodadura como se evidencia en la Figura 3-7

Figura 3-7. Actividad de campo del método PCI

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-8. Formato método del PCI

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

ANÁLISIS COMPARATIVO DE CUATRO METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN SECTORES TÍPICOS DE LAS RUTAS A CARGO DE LA ADMINISTRACIÓN VIAL DEL INVIAS TERRITORIAL META, MÓDULO 1, GRUPO 3

CODIGO DE LA VÍA :	
UNIDAD DE MUESTRA :	
PR INICIAL (Km) :	
PR FINAL (Km) :	
ANCHO DE VÍA (m) :	
ÁREA DE LA UNIDAD (m2) :	
EVALUADOR :	
FECHA :	

ESQUEMA

Nº	TIPO DE FALLA	Nº	TIPO DE FALLA
1	Piel de Cocodrilo (m2).	13	Huecos (und).
2	Exudación (m2).	14	Cruce de vía Férrea (m2).
3	Agrietamiento en Bloque (m2).	15	Ahuellamiento (m2).
4	Abultamiento y Hundimientos (m2).	16	Desplazamiento (m2).
5	Corrugación (m2).	17	Grieta Parabólica (m2).
6	Depresión (m2).	18	Hinchamiento (m2).
7	Grieta de Borde (ml).	19	Desprendimiento de Agregados (m2)
8	Grieta de Reflexión de Junta (ml).		
9	Desnivel Carril/Berma (ml).		
10	Grietas Longitudinales y Transversales (ml).		
11	Parcheo (m2).		
12	Pulimiento de Agregados (m2).		

SEVERIDADES	DESCRIPCIÓN
Baja	L
Media	M
Alta	H

FALLA SEVERIDAD	CANTIDADES													TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO (VD)

Fuente: Elaboración propia, adaptación ASTM International (2020)

3.2.4 Método del Ministerio de Transporte de Ontario

Según lo establecido en el Manual para Clasificación de Condiciones de Pavimentos Flexibles del Ministerio de Ontario se evalúan los siguientes parámetros físicos del pavimento.

1. Se evalúa calificación de las condiciones de conducción (RCR, por su sigla en inglés), para esta evaluación se implementó una camioneta Renault Oroch y la velocidad de conducción fue la establecida por la señalización de cada tramo de estudio en toda su longitud.

Figura 3-9. Actividad para obtención del RCR

Fuente: Elaboración propia.

2. Se valora la extensión y gravedad de las manifestaciones del deterioro en la superficie del pavimento, bajo las especificaciones establecidos por el manual se elabora el formato de levantamiento de campo presentado en la Figura 3-10

Figura 3-10. Formato método del MTO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

ANÁLISIS COMPARATIVO DE CUATRO METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN SECTORES TÍPICOS DE LAS RUTAS A CARGO DE LA ADMINISTRACIÓN VIAL DEL INVIAS TERRITORIAL META, MÓDULO 1, GRUPO 3

CODIGO DE LA VÍA :		Evaluador :	
UNIDAD DE MUESTRA :		Fecha :	
PR INICIAL (m) :			
PR FINAL (m) :		Comentarios	
ANCHO DE VÍA (m) :			
Longitud de la seccion (m) :			

Clasificación de condiciones de conducción (RCR)	
RCR	Descripción

RCR	Descripción uniforme del estado de la vía a la velocidad establecida
9 – 10	Excelente
7 – 9	Bueno
5 – 7	Regular
2 – 5	Malo
0 – 2	Muy malo

Pavimento flexible Evaluación de la condición			Severidad del deterioro	Extension del deterioro		
Tipos de deterioro de pavimento				Longitud	%	Extension
Defectos superficiales		Pérdida de agregados gruesos y desmoronamiento				
		Exudación				
Deformaciones superficiales		Ondulaciones y Abultamientos				
		Ahuellamiento en paso de la rueda				
		Distorsión				
Fisuras	Via longitudinal de las ruedas	Simple y múltiple				
		Cocodrilo				
	Linea central	Simple y múltiple				
		Cocodrilo				
	Borde del pavimento	Simple y múltiple				
		Cocodrilo				
	Transversal	Medio, completo y múltiple				
		Cocodrilo				
	Meandro longitudinal y carril central					
	Aleatoria					

Extension	Escala de valoración
Pocos	1.00
Intermitente	2.00
Frecuente	3.00
Extenso	4.00
En todo	5.00

Severidad	Escala de valoración
Muy leve	1.00
Leve	2.00
Moderado	3.00
Grave	4.00
Muy grave	5.00

Fuente: Elaboración propia, adaptación Ministry of Transportation (2016)

En la Figura 3-11 se observa la toma de información de campo del presente método.

Figura 3-11. Actividad de campo del método MTO

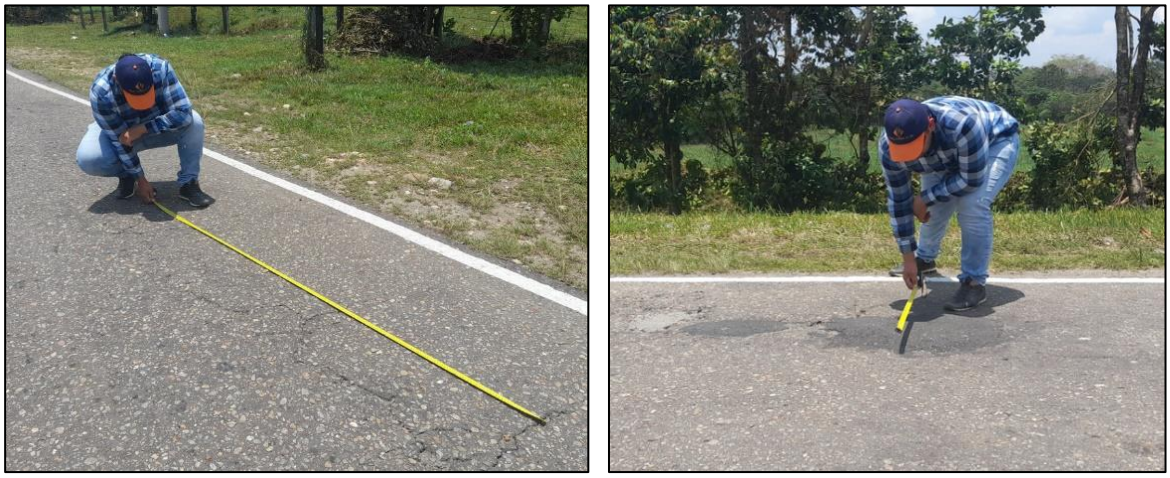
Fuente: Elaboración propia.

3.2.5 Método del Departamento de Transporte de Ohio

Conforme a lo establecido en el sistema de clasificación del estado del pavimento del Departamento de Transporte de Ohio (DOT, por sus siglas en ingles), se establece el formato de levantamiento de información de campo el cual se muestra en la Figura 3-13.

En las unidades de inspección se procedió hacer la toma de información del estado superficial del pavimento mediante la implementación del formato establecido con anterioridad como se evidencia en la Figura 3-12

Figura 3-12. Actividad de campo del método DOT



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-13. Formato de campo del método DOT

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	ANÁLISIS COMPARATIVO DE CUATRO METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN SECTORES TÍPICOS DE LAS RUTAS A CARGO DE LA ADMINISTRACIÓN VIAL DEL INVIAS TERRITORIAL META, MÓDULO 1, GRUPO 3
CODIGO DE LA VÍA :	
UNIDAD DE MUESTRA :	
PR INICIAL (m) :	
PR FINAL (m) :	
ANCHO DE VÍA (m) :	
Longitud de la seccion (m) :	
EVALUADOR :	
FECHA :	

CALIFICACIÓN DEL ESTADO DEL PAVIMENTO								
Fallas	Und	Cantdad	Severidad		Extension			Valor deducido
Desprendimiento de agregados	m							
Exudación	m							
Parcheo	und							
Descascaramiento	und							
Deficiencia en el sellado de grietas	m							
Ahuellamiento **	m							
Asentamiento	und							
Huecos **	und							
Grieta en el paso de las ruedas **	m							
Grieta en bloque y transversal	m							
Grieta longitudinal **	m							
Grieta de brode **	m							
Agrietamiento termico (Separacion de grietas)	m							
				Total valor				
				Suma de la deducion estructural				

Fuente: Elaboración propia, adaptación (The Ohio Department of Transportation, 2006)

3.3 Procesamiento de la información

Son los procedimientos que se realizaron con la información recolectada en campo, hasta llegar a la calificación del estado de superficial del pavimento de cada unidad de inspección establecida, con el fin de realizar el análisis y comparación de los resultados obtenidos para cada método (VIZIR, Manual para la Clasificación de Condición de Pavimentos Flexibles del Ministerio de Transporte de Ontario, PCR y PCI).

3.4 Resultados

- Padilla Martinez & Pinto Castro (2019) describen que el método de las diferencias acumuladas como un procedimiento estadístico mediante el cual se establecen secciones homogéneas. Con el objetivo de analizar los tramos del presente estudio se aplicó la metodología de las diferencias acumuladas para cada método de inspección visual de pavimentos.

- Con la finalidad de establecer similitudes o diferencias a lo largo de los tramos establecidos, se implementan gráficas comparativas con los resultados de las metodologías utilizadas en el presente estudio.
- Con el propósito de obtener explicación de las diferencias o semejanzas de los métodos de inspección visual implementados, se realiza un análisis y comparación de los resultados en las vías objeto de estudio.

4. Procesamiento de la información

En este capítulo se presenta el proceso que se realiza con la información recolectada en campo, hasta llegar a la calificación del estado superficial de cada unidad de inspección establecida, información necesaria para la realizar las comparaciones y análisis de cada metodología de auscultación.

Con el objetivo de establecer una similitud para el análisis de información en la comparación de los resultados se implementan unidades de inspección de igual longitud en todos los métodos de evaluación superficial de pavimentos a aplicar. A continuación, se presenta el procedimiento que se realizó en cada metodología para una unidad de inspección. En las otras unidades de inspección se realiza el mismo proceso.

4.1 Método VIZIR

Inicialmente se digitaliza la información recolectada en campo mediante el formato presentado en la Figura 3-5.

Posteriormente se determina el nivel de gravedad ponderado de los diferentes deterioros presentes en cada unidad de inspección y se debe establecer mediante la ecuación 4-1 :

$G = \frac{l_1 + 2l_2 + 3l_3}{l_1 + l_2 + l_3}$	**4-1**

Fuente: Instituto Nacional de Vias, 2008

Donde: li: Longitud ocupada por el deterioro con gravedad “i” dentro de las secciones definidas para cada tramo.

Debido a que la gravedad es un número entero de 1 a 3, el valor obtenido al realizar la ponderación se deberá redondear de acuerdo con el siguiente criterio:

Figura 4-1. Aproximación de grado de deterioro

Aproximación Grado de Deterioro		
Si G < 1.5	se toma	1
Si G ≤ 1.5 < 2.5	se toma	2
Si G ≥ 2.5	se toma	3

Fuente: Instituto Nacional de Vias, 2008

Una vez realizado este procedimiento se define el nivel de gravedad representativo en cada sección. Con el fin de ejemplificar el anterior proceso se presenta los cálculos de la primera unidad de inspección del pavimento en estado regular.

En la Tabla 4-1 se evidencia los resultados obtenidos mediante la implementación de la ecuación 4-1 y el criterio establecido en la Figura 4-1.

Tabla 4-1. Grado de deterioro de la primera unidad de inspección del pavimento regular.

Fisuras piel de cocodrilo			Bacheos y parcheos			Nivel de Gravedad Representativo GR
FPC Long (m)	Deterioro %	Gravedad	B Long (m)	Deterioro %	Gravedad	
7.50	25.00	1.00	12.00	40.00	2.00	2

Fuente: Elaboracion propia

Posteriormente se determina la extensión del daño y conforme a establecido por la Guía Metodológica para la Rehabilitación de Pavimentos se obtiene el índice de fisuración (If) y índice de deformación (Id) mediante la siguiente tabla:

Tabla 4-2. Índice de fisuración y deformación

Índice de fisuración (If)				Índice de deformación (Id)			
Gravedad	Extensión			Gravedad	Extensión		
	0 - 10%	10 - 50%	> 50%		0 - 10%	10 - 50%	> 50%
1	1	2	3	1	1	2	3
2	2	3	4	**2**	2	3	4
3	3	4	5	**3**	3	4	5

Fuente: Instituto Nacional de Vias, 2008

A partir de los valores del índice de fisuración (If) y índice de deformación (Id) se obtiene un valor inicial del Índice de deterioro superficial (Is), mediante la combinación de los índices presentada en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3. Primera calificación del índice de deterioro Is

If / Id	0	1 a 2	3	4 a 5
0	1	2	3	4
1 a 2	3	3	4	5
3	4	5	5	6
4 a 5	5	6	7	7

Fuente: Instituto Nacional de Vias, 2008

Seguidamente, y si es del caso, se procederá a determinar el valor de la corrección, en función de la extensión y de la gravedad de los parcheos y bacheos en cada sección evaluada, conforme a la siguiente tabla.

Tabla 4-4. Valor de corrección en función de la extensión y de la gravedad de los parcheos y bacheos

Gravedad	Extensión		
	0 - 10%	10 - 50%	> 50%
1	0	0	0
2	0	0	+1
3	0	+1	+1

Fuente: Instituto Nacional de Vias, 2008

Por lo tanto, el Índice de deterioro superficial final (Is) es el valor obtenido al sumar el índice de deterioro superficial inicial y el valor por corrección si este existe, de lo contrario el valor Is inicial sería el Índice de deterioro superficial final y se clasifica el estado del pavimento mediante la siguiente tabla.

Tabla 4-5. Rango de clasificación del VIZIR

Rango	Clasificación
1 y 2	Bueno
3 y 4	Regular
5,6 y 7	Deficiente

Fuente: Instituto Nacional de Vias, 2008

Mediante la aplicación del anterior procedimiento se determina la calificación del estado superficial de la capa de rodadura de la unidad de inspección inicial del pavimento en estado regular. Conforme a lo anterior en la Tabla 4-6 se observa los resultados obtenidos.

Tabla 4-6. Clasificación de la primera unidad de inspección del pavimento regular.

Cálculo del Índice de Fisuración (If)							Cálculo del Índice de Deformación (Id)			Índice de Deterioro Superficial Inicial Is	Corrección y Cálculo Índice de Deterioro Superficial				Categoría
Fisuras longitudinales por fatiga (FLF)			Fisuras piel de cocodrilo (FPC)			Índice de Fisuración If	Ahuellamiento y otras deformaciones estructurales (AH, DL, DT)				Bacheos y parcheos			Índice de Deterioro Superficial Final Is	
Extensión % de longitud	Gravedad	If(1)	Extensión % de longitud	Gravedad	If(2)		Extensión % de longitud	Gravedad	Id		Extensión % de longitud	Gravedad	Corrección		
0.0	0	0	25	1	2	2	0	0	0	2	40	2	0	2	Buena

Fuente: Elaboracion propia

4.2 Método del PCI

Con el fin de obtener el Índice de condición de pavimento (PCI) se implementa el software UNPCIA2018 (Vásquez Varela L. R., 2018).

Basándose en la información obtenida en campo y lo indica en el Instructivo sobre el manejo del software UNPCI 2018 (Vasquez Varela, 2021). Se realiza el siguiente procedimiento:

Inicialmente se digita la información de los formatos de campo en una hoja electrónica de Microsoft® Excel®. Cada línea en el archivo de Excel® representa una unidad de inspección. Se deben diligenciar los siguientes campos:

- Código del ramal y la sección.
- Fecha de inspección.
- Abscisa o progresiva inicial de la unidad de inspección.
- Abscisa o progresiva final de la unidad de inspección.
- Unidad de inspección.
- Área de la unidad inventariada en pavimentos asfálticos (m²).
- Medida del daño para las 20 patologías de pavimento en los tres niveles de severidad.

Dado a lo anterior en la Figura 4-2 se observa una parte de la digitación de los datos obtenido del pavimento en estado regular en el archivo UNPCIA2018.xls (Vasquez Varela, 2021).

Figura 4-2. Implementación del archivo UNPCIA2018.xls

UNPCIA2018

Programa para el cálculo del índice de condición de pavimentos asfálticos en calles y carreteras
Sistema métrico

Por: Luis Ricardo Vásquez Varela, M.Sc.

Planilla para el ingreso de datos de inventario de daños y creación del archivo CSV para el cálculo del PCI.

Código del ramal y la sección	Fecha de inspección	Abscisa (progresiva) inicial	Abscisa (progresiva) final	Unidad de inspección	Área (m²)	01. Piel de cocodrilo (fatiga) (m²)			02. Exudación (m²)			03. Agrietamiento en bloque (m²)		
						L	M	H	L	M	H	L	M	H
ASTMD6433-18	7/03/2021	0	30	1	225	6.4	0	0	0	0	0	0	0	0
ASTMD6433-18	7/03/2021	30	60	2	225	6.35	0	0	0	0	0	0	0	0
ASTMD6433-18	7/03/2021	60	90	3	225	16.2	0	0	0	0	0	0	0	0
ASTMD6433-18	7/03/2021	90	120	4	225	25.4	0	0	0	0	0	0	0	0
ASTMD6433-18	7/03/2021	120	150	5	225	3	0	0	0	0	0	0	0	0
ASTMD6433-18	7/03/2021	150	180	6	225	21	0	0	0	0	0	0	0	0
ASTMD6433-18	7/03/2021	180	210	7	225	3.8	0	0	0	0	0	0	0	0
ASTMD6433-18	7/03/2021	210	240	8	225	5	0	0	0	0	0	0	0	0
ASTMD6433-18	7/03/2021	240	270	9	225	17.5	0	0	0	0	0	0	0	0
ASTMD6433-18	7/03/2021	270	300	10	225	9.9	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Vasquez Varela (2021).

Con la finalidad de ingresar la información en el programa, se crea un archivo en formato CSV (valores separados con coma) excluyendo las líneas de los encabezados como se observa en la Figura 4-3

Figura 4-3. Archivo CSV

ASTMD6433-18	2021-03-07	0	30	1	225	6	0	0	0	0	0	0	0
ASTMD6433-18	2021-03-07	30	60	2	225	6	0	0	0	0	0	0	0
ASTMD6433-18	2021-03-07	60	90	3	225	16	0	0	0	0	0	0	0
ASTMD6433-18	2021-03-07	90	120	4	225	25	0	0	0	0	0	0	0
ASTMD6433-18	2021-03-07	120	150	5	225	3	0	0	0	0	0	0	0
ASTMD6433-18	2021-03-07	150	180	6	225	21	0	0	0	0	0	0	0
ASTMD6433-18	2021-03-07	180	210	7	225	4	0	0	0	0	0	0	0
ASTMD6433-18	2021-03-07	210	240	8	225	5	0	0	0	0	0	0	0
ASTMD6433-18	2021-03-07	240	270	9	225	18	0	0	0	0	0	0	0
ASTMD6433-18	2021-03-07	270	300	10	225	10	0	0	0	0	0	0	0
ASTMD6433-18	2021-03-07	300	330	11	225	16	0	0	0	0	0	0	0
ASTMD6433-18	2021-03-07	330	360	12	225	25	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboracion propia

El anterior archivo se ingresa al software UNPCIA2018 (Vásquez Varela L. R., 2018) y se ejecuta. En la

Figura **4-4** se ilustra los resultados obtenidos del programa implementado.

Figura 4-4. Resultados del UNPCIA de la primera unidad evaluada del pavimento regular

```
CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO UNPCIA2018
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela - M.Sc.
Pavimentos asfálticos - Sistema internacional de unidades (SI)
--------------------------------------------------------------------------------
Archivo de datos            :     Input_pav_regular.csv
Código de ramal y sección   :     ASTMD6433-18
Fecha de inspección         :     2021-03-07
Abscisa (progresiva) inicial:     0+000.00
Abscisa (progresiva) final  :     0+030.00
Unidad                      :     0001
Área unidad (m²)            :     225.00
--------------------------------------------------------------------------------
Daño        (severidad)  Unidad    Cantidad          Densidad(%)    Valor deducible
--------------------------------------------------------------------------------
01.Piel de cocodrilo(L) - m²:       006.40           002.84           020.7
09.Des. carril-berma(M) - m :       030.00           013.33           009.5
11.Parcheo-acometida(L) - m²:       010.80           004.80           010.5

Número de valores deducibles: 3

--------------------------------------------------------------------------------
Daño                        Valor deducible
--------------------------------------------------------------------------------
01.Piel de cocodrilo(L)         020.7
11.Parcheo-acometida(L)         010.5
09.Des. carril-berma(M)         009.5

Valor deducible más alto:       020.7
Número máximo admisible de deducibles (asfalto - carreteras):
m = 1 + 9/98 * (100 - 020.7) = 08.29

--------------------------------------------------------------------------------
Proceso iterativo de obtención del valor deducible corregido (CDV).
--------------------------------------------------------------------------------
Valores deducibles > 2 (q)     : 3
Valores deducibles             : 020.7 | 010.5 | 009.5 |
Valor deducible total (TDV)    : 040.6
Valor deducible corregido (CDV): 024.4

Valores deducibles > 2 (q)     : 2
Valores deducibles             : 020.7 | 010.5 | 002.0 |
Valor deducible total (TDV)    : 033.1
Valor deducible corregido (CDV): 024.1

Valores deducibles > 2 (q)     : 1
Valores deducibles             : 020.7 | 002.0 | 002.0 |
Valor deducible total (TDV)    : 024.7
Valor deducible corregido (CDV): 024.7

--------------------------------------------------------------------------------

Máximo valor deducible corregido                                  : 24.7
Índice de condición del pavimento (PCI) de la unidad de inspección : 75.3
```

Fuente: Elaboracion propia

Finalmente, la información del Índice de condición de pavimento (PCI) obtenida de cada unidad de inspección se clasifica dentro de los rangos establecidos por la norma internacional ASTM D6433-20 presentados en la Tabla 2-1. Para el caso específico de la primera unidad de evaluación del pavimento en estado regular se obtuvo un PCI de 75.3, clasificando como un pavimento satisfactorio.

4.3 Método del Ministerio de Transporte de Ontario

Parte de la recopilación de los datos obtenidos en campo para cada una de las secciones evaluadas, la cual se digitaliza.

Conforme a la información obtenida en campo se asigna una evaluación de las condiciones de conducción que va desde 0 a 10, siendo 0 muy mala calidad del viaje y 10 excelente condición de marcha. Seguidamente se valora la extensión y gravedad de los deterioros superficiales del pavimento, y se evalúa en una escala de 1 a 5, siendo 1 deterioros leves poco extensos y 5 deterioros graves en toda la longitud.

Finalmente, con base a la relación de los dos parámetros físicos y de una manera subjetiva se asigna una calificación de las unidades de inspección de acuerdo como los establece el Manual para Clasificación de Condiciones de Pavimentos Flexibles de Ministerio de Transporte de Ontario, esta calificación de la superficie del pavimento contempla una escala de 0 a 100, siendo 0 un pavimento en muy malas condiciones con una pésima calidad de viaje y 100, un pavimento en excelente condición de viaje, cabe resaltar que este método no presenta un procedimiento matemático para la calificación final del estado del pavimento, su calificación se fundamenta en los criterios del evaluador conforme a las especificaciones descritas por el manual.

Con el objetivo de ejemplificar lo anteriormente expuesto se describe el procedimiento realizado en la primera unidad de evaluación del sector del pavimento en estado regular. El cuál es el siguiente:

- Inicialmente y de acuerdo a la información obtenida en campo se asigna una calificación de 7 a la condición de conducción, debido a que fue un viaje suave con

algunas depresiones que no causaban la disminución de la velocidad. Posteriormente y conforme al porcentaje de la extensión y la severidad del deterior superficial se asigna una calificación de 3, debido a que se presenta un deterioro muy grave de manera frecuente.

- Finalmente, y con la relación de los parámetros físicos se asigna de manera subjetiva una calificación del estado de la capa de rodadura de 75, debido a que el pavimento está en buen estado con frecuentes fisuras y la calidad de condición de marcha es buena con algunas secciones ligeramente rugosa e irregulares.

4.4 Método del Departamento de Transporte de Ohio

La información tomada en campo se digitaliza y se procede a determinar el valor deducible de cada falla observada, Inicialmente se selecciona los factores por severidad y por extensión de acuerdo con el nivel que se presenta en cada deterioro y como se establece en la siguiente Tabla 4-7.

Tabla 4-7. Valor deducible del DOT

Fallas	Peso de la falla	Severidad			Extensión		
		Leve (L)	Medio (M)	Alta (H)	Ocasional (O)	Frecuente (F)	Extensa €
Desprendimiento de agregados	10	0.30	0.60	1.00	0.50	0.80	1.00
Exudación	5	0.80	0.80	1.00	0.60	0.90	1.00
Parcheo	5	0.30	0.60	1.00	0.60	0.80	1.00
Descascaramiento	5	0.40	0.70	1.00	0.50	0.80	1.00
Deficiencia en el sellado de grietas	5	1.00	1.00	1.00	0.50	0.80	1.00
Ahuellamiento **	10	0.30	0.70	1.00	0.60	0.80	1.00
Asentamiento	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Huecos **	10	0.40	0.80	1.00	0.50	0.80	1.00
Grieta en el paso de las ruedas **	15	0.40	0.70	1.00	0.50	0.70	1.00
Grieta en bloque y transversal	10	0.40	0.70	1.00	0.50	0.70	1.00
Grieta longitudinal **	5	0.40	0.70	1.00	0.50	0.70	1.00
Grieta de borde **	10	0.40	0.70	1.00	0.50	0.70	1.00
Agrietamiento térmico (Separación de grietas)	10	0.40	0.70	1.00	0.50	0.70	1.00

Fuente: Elaboracion propia, adaptacion (The Ohio Department of Transportation, 2006)

Posteriormente se determina la Clasificación del Estado del Pavimento (PCR) mediante la implementación de la siguiente expresión.

$PCR = 100 - \sum_{I=1}^{n} Deducible_I$	**4-2**

Fuente: The Ohio Department of Transportation, 2006

Donde:

n= Numero de fallas observadas

Deducible= (Peso de la falla) (factor por severidad) (factor por extensión)

Finalmente, con el valor obtenido del PCR de cada sección se clasifica dentro de los rangos establecidos por sistema de clasificación del Departamento de Transporte de Ontario

Con el objeto de exponer la aplicación de lo anteriormente descrito en la Tabla 4-8 se presenta un resumen del valor deducible de la primera unidad de evaluación del pavimento en estado regular.

Tabla 4-8. Valor deducido primera unidad de evolución del pavimento regular

Fallas	Und	Cant	Severidad		Extensión			Valor deducido
Desprendimiento de agregados	m			0	0	-	0	
Exudación	m			0	0	-	0	
Parcheo	u	1	H	1	1	E	1	5
Descascaramiento	u			0	0	-	0	
Deficiencia en el sellado de grietas	m	30	H	1	1	E	1	5
Ahuellamiento **	m			0	0	-	0	
Asentamiento	u			0	0.00	-	0	
Huecos **	u			0	0	-	0	
Grieta en el paso de las ruedas **	m	7.5	H	1	25	F	0.70	10.
Grieta en bloque y transversal	m			0	0	-	0	
Grieta longitudinal **	m			0	0	-	0	
Grieta de borde **	m			0	0	-	0	
Agrietamiento térmico (Separación de grietas)	m			0	0	-	0	
				Valor total deducible				20.50

Fuente: Elaboracion propia

Finalmente, mediante la aplicación de la expresión 4-2 se obtiene la calificación del pavimento y posteriormente se califica su condición mediante los rangos presentados en la Tabla 2-3, lo anterior se observa en la Tabla 4-9.

Tabla 4-9. Calificación de la condición del pavimento.

CLASIFICACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCR):	
PCR = 100 - (Total VD)	
PCR =	79.50
CONDICIÓN DEL ESTADO DEL PAVIMENTO:	
Bueno	

Fuente: Elaboracion propia

5. Resultado y análisis

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos a partir de las metodologías propuestas en este estudio.

5.1 Tramo 1 pavimento en mal estado

Este tramo está conformado por un kilómetro en pavimento en mal estado (sector del PR 85+000 al PR 87+000 de la ruta 65A02), para el cual se tomó un punto de referencia inicial el PR 85 + 000 y la calzada cuenta con un ancho promedio de 8 metros. Donde previamente se definieron 33 unidades de muestro para cada método de auscultación, pudiendo observar los siguientes tipos de daños representativos para cada metodología. Para la interpretación de los resultados que se presentan a continuación, se aclarar que él porcentaje total de daño corresponde a la suma de todas las áreas de cada daño encontrado en todo el tramo de vía de estudiado; también se entiende por porcentaje total de zona representa cada daño dentro del área total del tramo estudiado que en este caso corresponde a 8000 m^2 (1000 metros de longitud y ancho de 8 metros).

5.1.1 Método VIZIR

La totalidad de los deterioros levantados por la metodología VIZIR se presentan en la siguiente tabla

Tabla 5-1. Deterioros metodología VIZIR

Tipos de daño	Total	% Total de zona	% Total de daño
Tipo A			
Ahuellamiento (m)	272	3.40	7.57
Fisuras longitudinales (m)	578.2	7.23	16.08
Fisura piel de cocodrilo (m)	943.4	11.79	26.24
Bacheo y parcheos (m)	103.6	1.30	2.88
Tipo B			
Fisura transversal junta de construcción (m)	67.1	0.84	1.87
Fisura de construcción térmica (m)	430.3	5.38	11.97
Fisura de Borde (m)	45.8	0.57	1.27
Desplazamiento o abultamiento o ahuellamiento de mezcla (m)	3	0.04	0.08
Perdida de la película de ligante (m)	960	12.00	26.7
Pulimiento de agregados (m)	30	0.38	0.83
Exudación (m)	28	0.35	0.78
Escalonamiento entre calzada y Berma (m)	134	1.68	3.73
Total	3595.4	44.96	100.00

Para el análisis de los resultados se hace un mayor énfasis en los daños tipo A debido a que estos son los que se tienen en cuenta para la calificación de los tramos. En este orden de ideas en la Tabla 5-1 se puede observar que el tipo de daño que más se presenta en el tramo de estudio es fisura piel de cocodrilo con un 26,24% la posible causa puede ser que esta es una vía nacional donde se presentan repetidamente cargas de tránsito. Seguido a este daño se encuentra las fisuras longitudinales 16,08% cuyo origen más común son los altos esfuerzos horizontales de tensión que producen los vehículos pesados, posible consecuencia del tráfico pesado que transita constantemente por este sector al ser vía nacional y zona de producción agrícola como le menciono el consorcio CH AMV Meta (2021).

Otro deterioro que se presenta repetidamente y que encontramos en tercer lugar dentro de los deterioros tipo A es el ahuellamiento con 7,57% y un posible origen podría ser tránsito constante de tráfico pesado que se presenta por esta ruta nacional. Por último y en un porcentaje menor se encuentran los bacheos y parcheos con un 2,88% esto se debe a

que, en diferentes zonas, el pavimento fue reemplazado con material nuevo para realizar reparaciones del pavimento existente.

Finalmente se destacan dos deterioros funcionales, la perdida de la película de ligante con un 26.70%, debido a que en la longitud se evidencia un desgaste del ligante asfaltico y con un 11.097% esta las fisuras de construcción térmica, este deterioro teóricamente se genera por la contracción térmica de las capas asfálticas, debido a cambios bruscos de temperatura, sin embargo, para el caso en particular no presentan cambios extremos de temperatura. Por consiguiente se plantea una hipótesis de la causa de este deterioro y es el uso inadecuado del asfalto.

5.1.2 Método PCI

La totalidad de los deterioros levantados por la metodología PCI se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5-2. Deterioros metodología PCI

Tipo de daño	Total	% Total de zona	% Total de daño
Piel de Cocodrilo (m^2).	3560.82	44.51	24.5
Exudación (m^2).	61.6	0.77	0.42
Agrietamiento en Bloque (m^2).	1615.13	20.19	11.11
Grieta de Borde (ml).	45.8	0.57	0.32
Desnivel Carril/Berma (ml).	134	1.68	0.92
Grietas Longitudinales y Transversales (ml).	712.3	8.90	4.9
Parcheo (m^2).	58.94	0.74	0.41
Pulimiento de Agregados (m^2).	240	3.00	1.65
Huecos (und).	3	0.04	0.02
Ahuellamiento (m^2).	577.4	7.22	3.97
Grieta Parabólica (m^2).	5.25	0.07	0.04
Desprendimiento de Agregados/Meteorización (m^2)	7520	94.00	51.74
Total	14534.24	181.69	100

Como se puede observar en la anterior tabla el tipo de daño que más se presenta en el tramo es el desprendimiento de agregados/meteorización con un 51.74% debido a que se puede observar en casi la totalidad de su longitud un desgaste del ligante asfáltico. Seguidamente se evidencia que la falla piel de cocodrilo presenta un 24.5 % la causa principal de este deterioro es la fatiga ocasionada por cargas repetidas de tránsito y como se mencionó en el método VIZIR esto se generar por ser una vía nacional.

En tercer lugar, se evidencia que el agrietamiento en bloque con un 11.11%, se plantea una hipótesis que este deterioro se originó debido al uso inadecuado del asfalto, debido a que en el tramo de estudio no presentan cambios extremos de temperatura. Posteriormente, con porcentajes de 4.9 se encuentra las grietas longitudinales y transversales probablemente ocasionada por el endurecimiento del asfalto y de 3.97 el ahuellamiento, cuyo origen es usualmente producido por el movimiento de los materiales debido a las cargas de tránsito que se presentan en el sector.

Finalmente, y en porcentajes menores se encuentra el pulimiento de agregados con un 1.67 %, cuyo origen es la repetición de cargas de tránsito, el desnivel de carril y berma con un 0.9%, debido a que se evidencia colocación de sobre carpetas, exudación con un 0.42%, debido a que se refleja material bituminoso en la superficie del pavimento, parcheos con un 0,41%. Debido a las reparaciones realizadas en el pavimento del sector en cuestión, Grietas de borde con un 0.32%, a causa de que se evidencia algunas fisuras cercas al borde del pavimento, grietas parabólicas con 0.04%, en razón a que se presentan pocas grietas en forma de media luna y los huecos con un 0.02%, en consecuencia, a la existencia de zonas con una severidad alta de las fisuras piel de cocodrilo.

5.1.3 Método del Ministerio de Transporte de Ontario

En la Tabla 5-3 se presenta los daños levantados mediante la metodología del MTO,

Tabla 5-3. Deterioros metodología del MTO

Tipos de deterioro de pavimento			Total	% Total de zona	% Total de daño
Defectos superficiales		Pérdida de agregados gruesos y desmoronamiento	1000.00	12.50	35.71
		Exudación	28.00	0.35	1
Deformaciones superficiales		Ahuellamiento en el trayecto de las huellas	281.00	3.51	10.04
Fisuras	Trayecto longitudinal de las huellas	piel de cocodrilo	934.40	11.68	33.37
	Borde del pavimento	Simple y múltiple	49.30	0.62	1.76
	Aleatoria		507.30	6.34	18.12
		Total	2800.00	35.00	100.00

Fuente: elaboración propia

En primera instancia se evidencia la presencia de un defecto superficial y es la pérdida de agregados y desmoronamiento con un 35.71%, una posible causa de este deterioro es endurecimiento del asfalto debido al envejecimiento. Seguido a este deterioro se presenta una fisura en el trayecto longitudinal de las fisuras de piel de cocodrilo con un 33.37%, consecuencia a una falla por fatiga debido a la circulación del tráfico de carga y transporte público que se presentan en la zona.

Otro daño que se presenta son las fisuras aleatorias con un 18.12% una posible causa es el endurecimiento y retracción del asfalto por envejecimiento. Seguidamente se tienen una deformación superficial y son el ahuellamiento en el trayecto de las huellas con un 10.04%, las posibles causas más probables de este deterioro son mezclas asfálticas inestables, capas estructurales mal compactadas, movimiento lateral de los materiales.

Por ultimo y en porcentajes menores se presenta las fisuras simples en el borde del pavimento con 1.76%, debido a la presencia de grietas en el borde del pavimento y la exudación con un 1%, dado a la presencia de material bituminoso en la capa rodadura.

5.1.4 Método del Departamento de Transporte de Ohio (PCR)

La totalidad de los deterioros levantados por la metodología PCR se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5-4. Deterioros metodología PCR

Tipo de daño	Total	% Total de zona	% Total de daño
Desprendimiento de agregados (m)	1000	12.50	22.45
Exudación (m)	28	0.35	0.63
Parcheo (und)	25	0.31	0.56
Deficiencia en el sellado de grietas (m)	1000	12.50	22.45
Ahuellamiento ** (m)	281	3.51	6.31
Huecos ** (und)	4	0.05	0.09
Grieta en el paso de las ruedas ** (m)	934.4	11.68	20.97
Grieta en bloque y transversal (m)	517.3	6.47	11.61
Grieta longitudinal ** (m)	616.2	7.70	13.83
Grieta de borde ** (m)	49.3	0.62	1.11
Total	4455.2	55.69	100.0

Fuente: Elaboración Propia

Inicialmente se interpretan los resultados de los deterioros que son de deducción estructural debido a que estos son los que más inciden en la calificación del PCR.

En este orden de ideas el deterioro de deducción estructural con mayor porcentaje son las grietas en el paso de las ruedas con un 20.97% cuyo origen se da por el fallo por fatiga de la capa asfáltica a consecuencia del tránsito que transita constantemente por tramo de vía analizada. Seguido a este deterioro se encuentra las grietas longitudinales con un 13.83% y sus posibles causas son las juntas de pavimentación, juntas que se reflejan a través de las capas de superposición.

Otro deterioro que se evidencia es el ahuellamiento con 6.31% y este es causado por la consolidación o el movimiento lateral de alguna o todas las capas del pavimento, incluyendo la subrasante, bajo el efecto tráfico. Por último y en un porcentaje menor se encuentran las grietas de borde con un 1,11% y los huecos con 0,09%, las cuales no representan un daño significativo en el tramo vial estudiado.

Finalmente se resaltan los siguientes deterioros debido a que se presentan en la mayoría de la longitud de tramo estudiado, son el deterioro de deficiencia en el sellado de grietas con un 22.45% debido a que ninguna grieta existente ha sido sellada y el desprendimiento de agregados en un 22.45% cuyo posible origen es resultado del envejecimiento del ligante asfáltico.

5.1.5 Comparación de las metodologías en el tramo 1

En este inciso se presenta la clasificación de los tipos de daños encontrados luego de aplicar las metodologías propuesta para este estudio, en la Tabla 5-5 se evidencia la clasificación promedio según cada método.

Tabla 5-5. Clasificación promedio de los métodos en el tramo 1

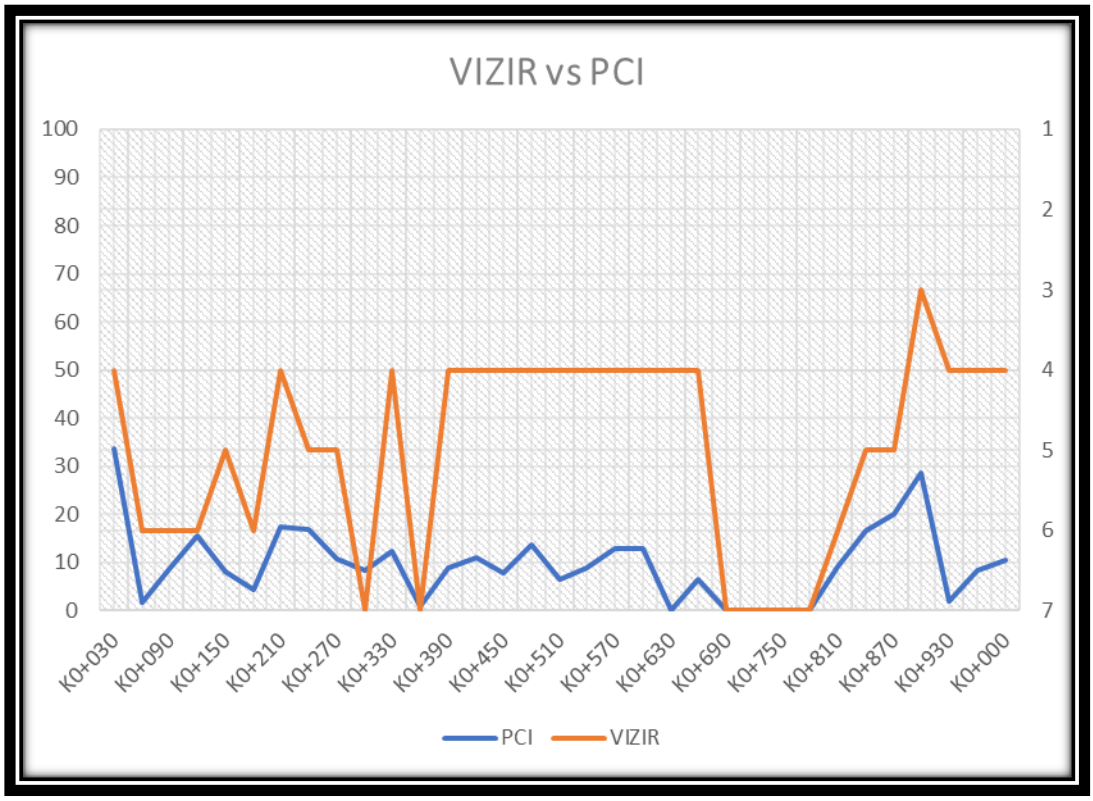
PCI		VIZIR		PCR (DOT)		ONTARIO (MTO)	
Índice	**Clasificación**	**Índice**	**Clasificación**	**Índice**	**Clasificación**	**Índice**	**Clasificación**
9.78	Fallado	5	Deficiente	61.21	De regular a malo	31	Pavimento en malas condiciones con tendencia a regular, condición de marcha de malo a regular

Fuente: elaboración propia

En la anterior tabla se observa el promedio general de las unidades de muestreo para las cuatro metodologías, se evidencia que el estado del pavimento tiene una tendencia similar en su clasificación, sin embargo, el método del Departamento de Transporte de Ohio (PCR) presenta un mayor índice y esto se debe a que la calificación se basa en la suma de puntos de deducción para cada tipo de deterioro, por lo tanto, debe presentar una cierta cantidad de deterioros para que su calificación coincidan con lo obtenido en los demás métodos.

En la Figura 5-1, se comparan las dos metodologías, en el eje izquierdo se encuentran los valores en que se clasifica el estado del pavimento por la metodología PCI y en el eje derecho los valores de VIZIR, como se observa ambas metodológicas tienen una tendencia similar, las diferencias que se observan básicamente radican en los rangos que tiene cada método para valorar el estado del pavimento, esto se debe a que la metodología PCI tiene un rango más amplio para clasificar el estado del pavimento.

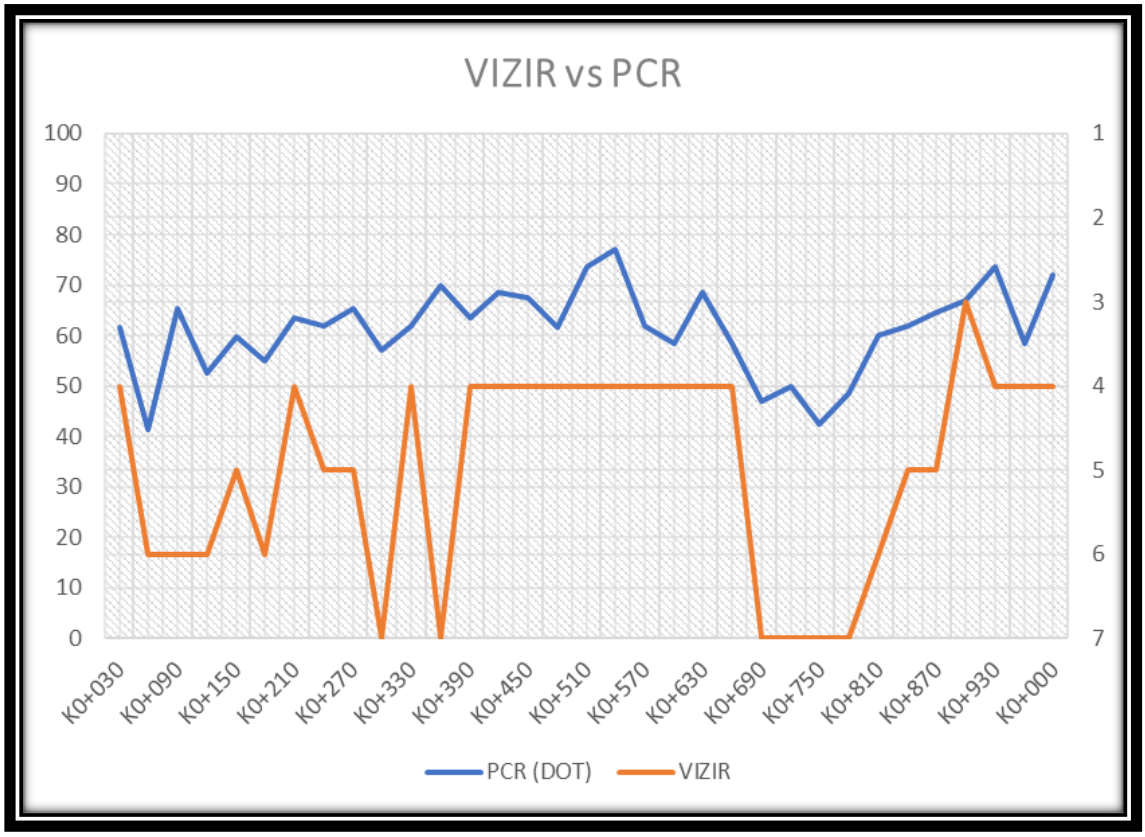
Figura 5-1. Grafica comparativa de la metodología VIZIR con PCI



Fuente: elaboración propia

En la Figura 5-2, se comparan las dos metodologías, en el eje izquierdo se encuentran los valores en que se clasifica el estado del pavimento por la metodología PCR y en el eje derecho los valores de VIZIR, como se evidencia ambos métodos presentan tendencias similares, sin embargo, la metodología PCR presenta mejor calificación del estado del pavimento y como se mencionó anteriormente el PCR basa su calificación en la suma de puntos de deducción para cada tipo de deterioro.

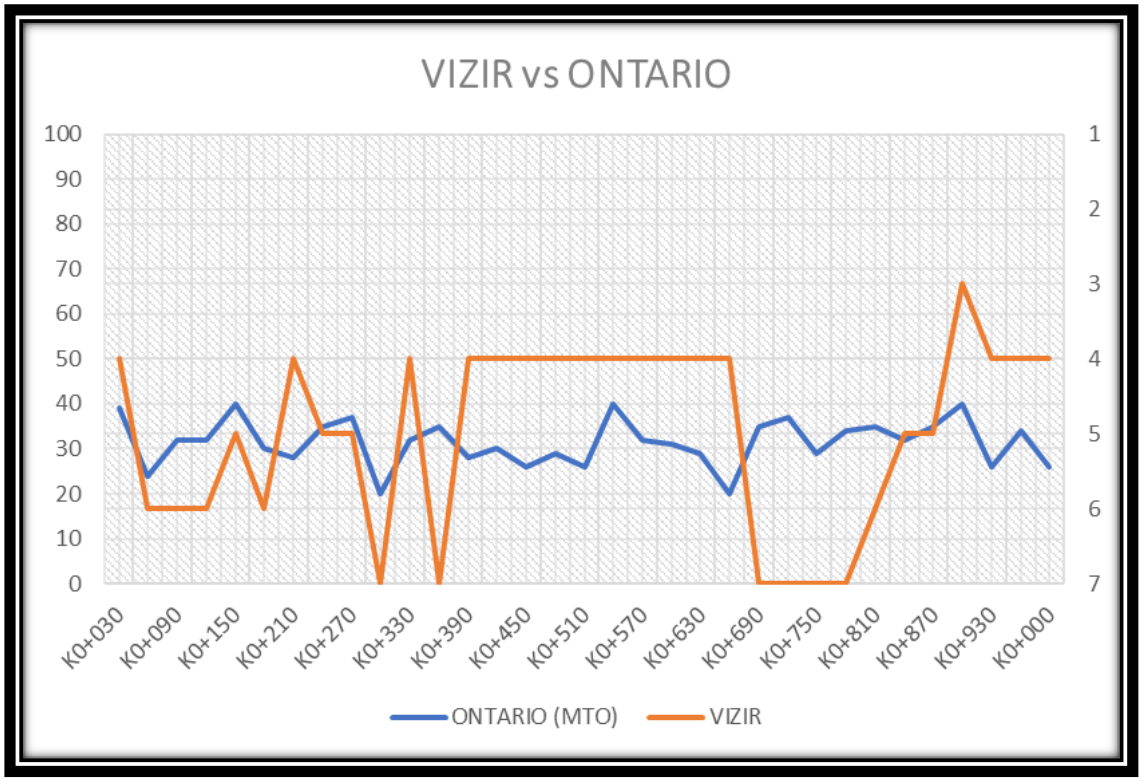
Figura 5-2. Grafica comparativa de la metodología VIZIR con PCR



Fuente: elaboración propia

En la Figura 5-3 se comparan las dos metodologías, en el eje izquierdo se encuentran los valores en que se clasifica el estado del pavimento por la metodología de Ontario y en el eje derecho los valores de VIZIR, como puede observar los métodos presentan algunos comportamientos similares en los resultados, pero con diferencia en la calificación y esto se debo a la forma de calificación de cada método, VIZIR tiene una calificación objetiva mediante un procedimiento matemático a diferencia que el método de Ontario que no cuenta con ningún procedimiento matemático y de manera subjetiva realiza su calificación.

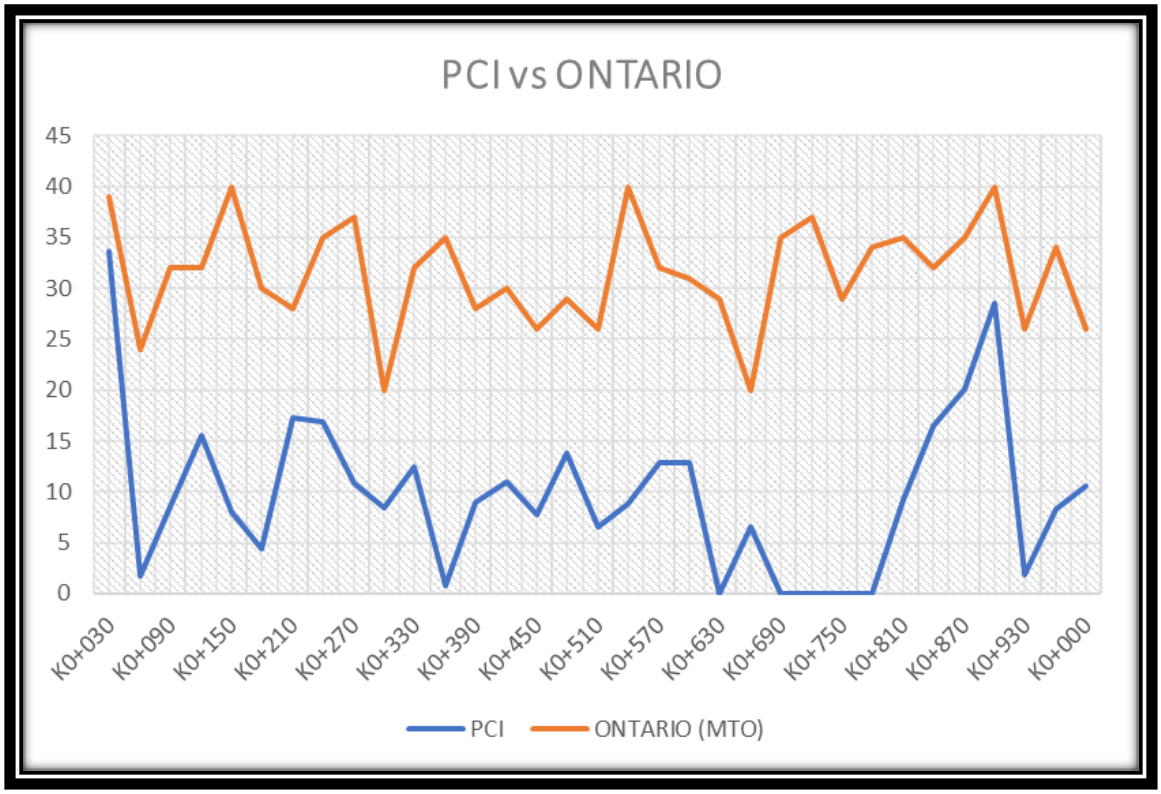
Figura 5-3. Grafica comparativa de la metodología VIZIR con ONTARIO



Fuente: elaboración propia

En la Figura 5-4, se comparan las dos metodologías PCI y la del Ministerio de Transporte de Ontario.

Figura 5-4. Grafica comparativa de la metodología PCI con ONTARIO

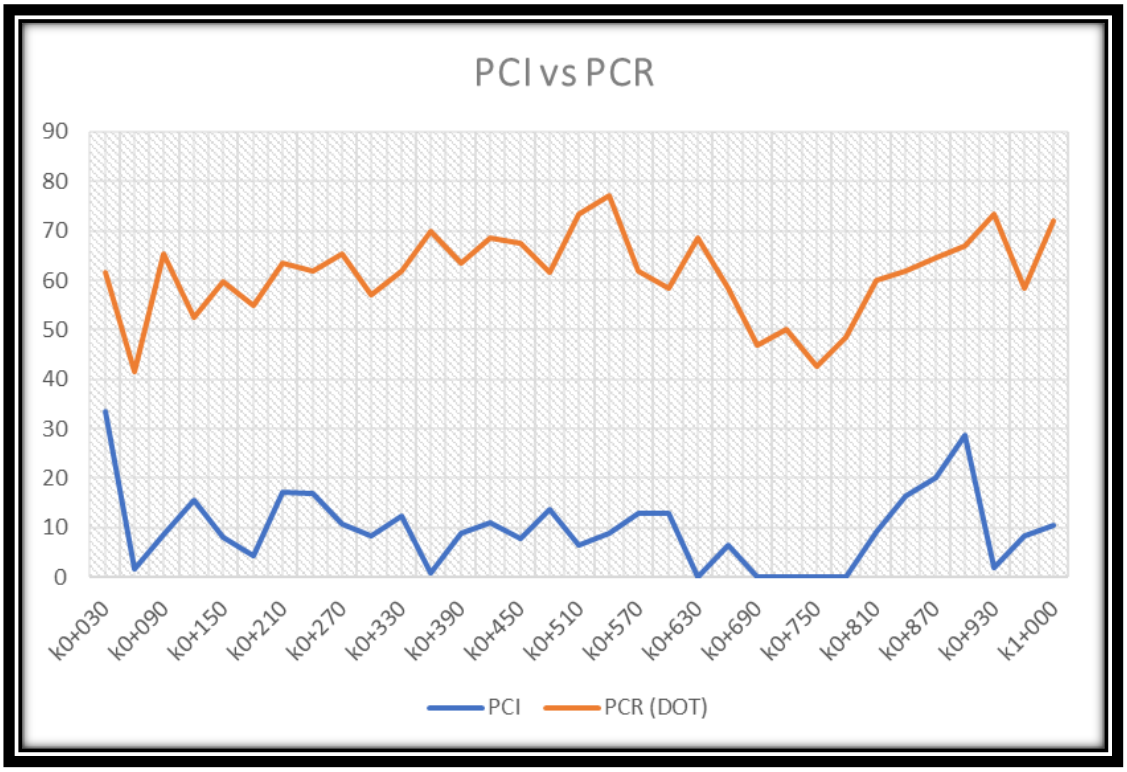


Fuente: elaboración propia

En la anterior figura se observa una tendencia similar en los resultados en ambos métodos, pero cabe resaltar, que la metodología de Ontario presenta mejor calificación del estado del pavimento y esto se debe a su forma subjetiva de calificar, a diferencia del PCI que se encuentra por debajo de la metodología de Ontario al ser objetiva por su proceso matemático para su calificación.

En la Figura 5-5 se comparan las metodologías PCI y el método del Departamento de Transporte Ohio (PCR), se observa tendencias similares en el comportamiento de los resultados, sin embargo, existe una diferencia en la calificación y esto radica a la forma de obtener la calificación final de la unidad de muestreo.

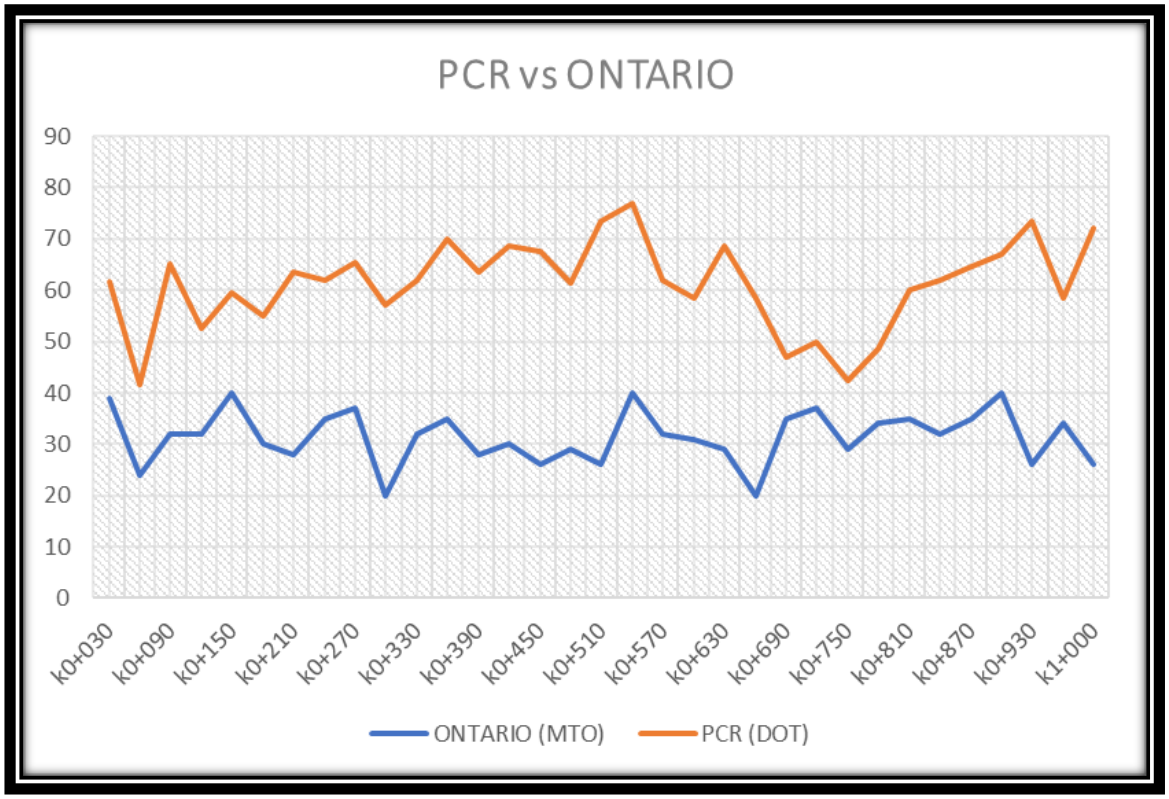
Figura 5-5. Grafica comparativa de la metodología PCI con PCR



Fuente: elaboración propia

En la Figura 5-6 se comparan las metodologías Departamento de Transporte Ohio (PCR) y la del Ministerio de Transporte de Ontario, se observa tendencias similares en el comportamiento de los resultados, sin embargo, existe una diferencia en la calificación y esto radica a la forma objetiva del PCR en obtener la calificación a diferencia del método de Ontario el cual es de una manera subjetiva.

Figura 5-6. Grafica comparativa de la metodología PCR con ONTARIO



Fuente: elaboración propia

.

5.1.6 Identificación de los sectores homogéneos.

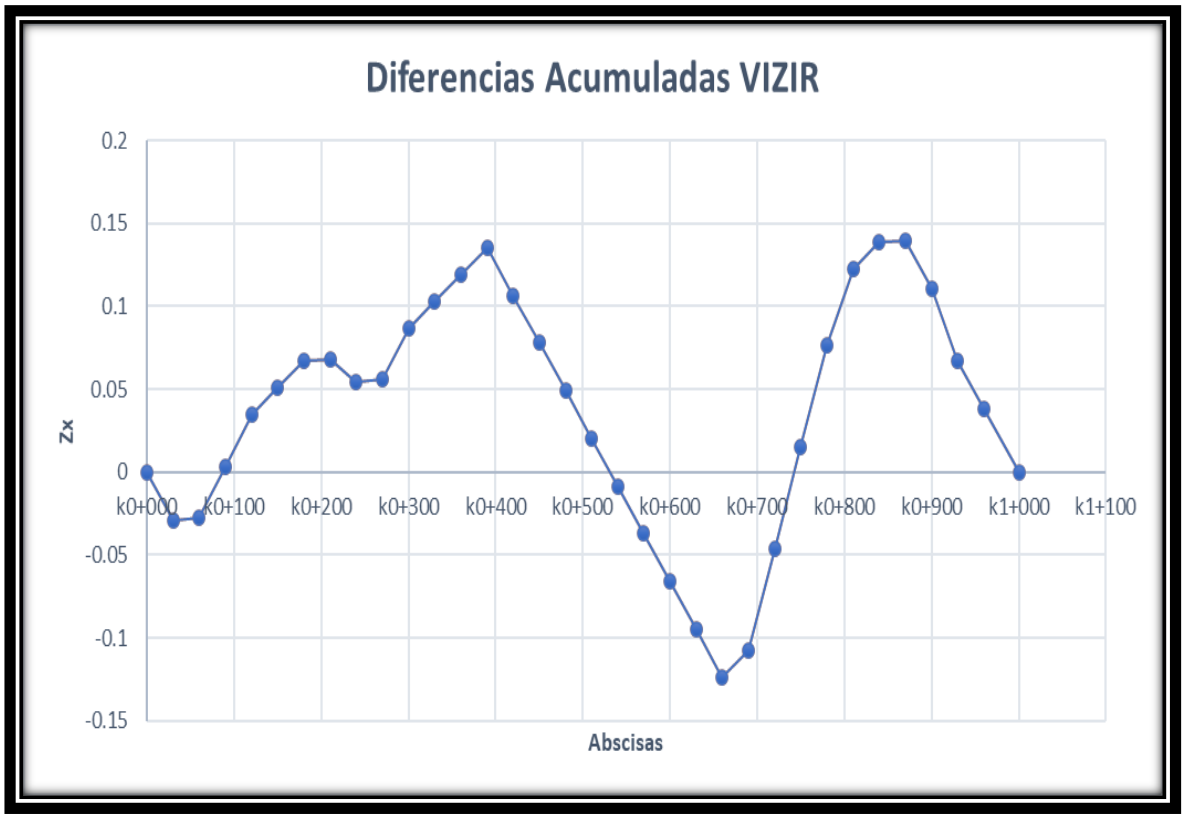
En este inciso se realiza la identificación de sectores homogéneos del tramo 1 con respecto a la calificación de cada metodología.

Con el fin de establecer secciones uniformes de los resultados de la calificación de cada método, se implementa la metodología de las diferencias acumuladas el cual es una herramienta que permite delimitar estadísticamente tramos homogéneos, a continuación presenta la aplicación de este método en los resultados obtenidos por cada metodología en el tramo 1.

▪ Método VIZIR

Con los resultados de la calificación de la metodología VIZIR del tramo 1 se aplicó el proceso de las diferencias acumuladas y se obtuvo el grafico que se presenta la Figura 5-7

Figura 5-7. Grafica diferencias acumuladas metodología VIZIR del tramo 1



Fuente: elaboración propia

Dado la anterior figura se establecen los tramos homogéneos del estado del pavimento mediante la calificación obtenida por el método VIZIR del tramo 1 y se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-6. Sectores homogéneos método VIZIR en el tramo 1

Tramo Homogéneo	Abscisa		Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente de variación
	Inicial	Final			
1	K0+000	K0+390	5.00	1.11	0.22
2	K0+390	K0+660	4.00	0.00	0.00

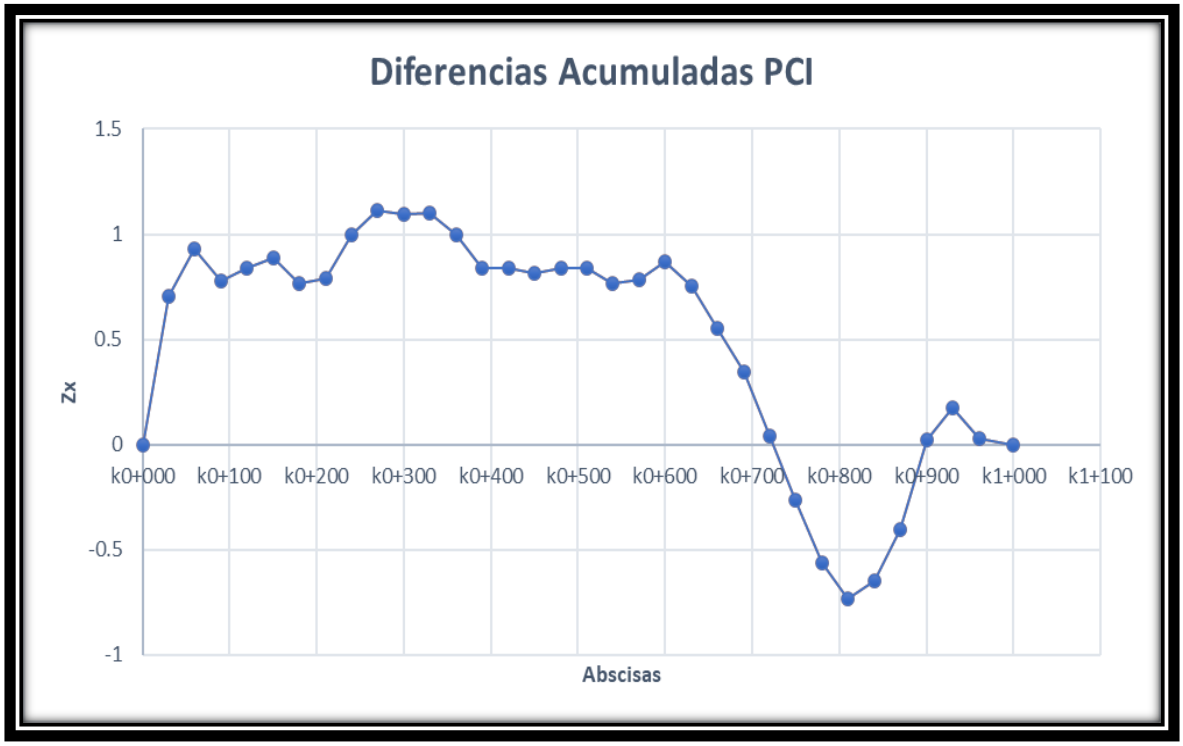
3	K0+660	K0+870	6.00	0.95	0.16
4	K0+870	K1+000	4.00	0.50	0.13

Conforme a el coeficiente de variación que presenta cada sector homogéneo, se puede inferir que existe baja variabilidad de la calificación del método VIZIR en las unidades de muestreo que conforma cada tramo homogéneo.

▪ Método PCI

Con los resultados de la calificación del método PCI del tramo 1 se aplicó el proceso de las diferencias acumuladas y se obtuvo el grafico que se presenta la Figura 5-8

Figura 5-8. Grafica diferencias acumuladas metodología PCI del tramo 1



Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta la anterior figura se establece tramos homogéneos del estado del pavimento mediante la calificación obtenida por el método PCI y se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-7. Sectores homogéneos método PCI en el tramo 1

Tramo Homogéneo	Abscisa		Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente de variación
	Inicial	Final			
1	K0+000	K0+420	11.31	8.16	0.72
2	K0+420	K0+810	6.03	5.45	0.90
3	K0+810	K0+930	16.78	11.14	0.66
4	K0+930	K1+000	9.45	1.63	0.17

Fuente: elaboración propia

Basándose en el coeficiente de variación que presenta cada sector homogéneo, se puede concluir que para los tramos homogéneos 1, 2 y 3 existe muy alta variabilidad de la calificación del método PCI en las unidades de inspección de cada sector homogéneo y para el cuarto tramo se puede decir que existe baja variabilidad en la calificación de la metodología en las unidades de muestreo que conforma tramo homogéneo.

▪ Método del Ministerio de Transporte de Ontario

De acuerdo a la calificación del método del Ministerio de Transporte de Ontario del tramo 1 se aplicó el proceso de las diferencias acumuladas y se obtuvo el grafico que se presenta la Figura 5-9

Figura 5-9. Grafica diferencias acumuladas metodología de Ontario del tramo 1

Fuente: elaboración propia

Mediante la anterior figura se estable tramos homogéneos del estado del pavimento con base a la calificación obtenida por el método del Ministerio de Transporte de Ontario y se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-8. Sectores homogéneos método de Ontario en el tramo 1

Tramo Homogéneo	abscisa		Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente de variación
	Inicial	Final			
1	k0+000	k0+270	33.00	5.27	0.16
2	k0+270	k0+690	29.50	5.50	0.19
3	k0+690	k0+930	33.50	4.44	0.13
4	k0+930	k1+000	30.00	5.66	0.19

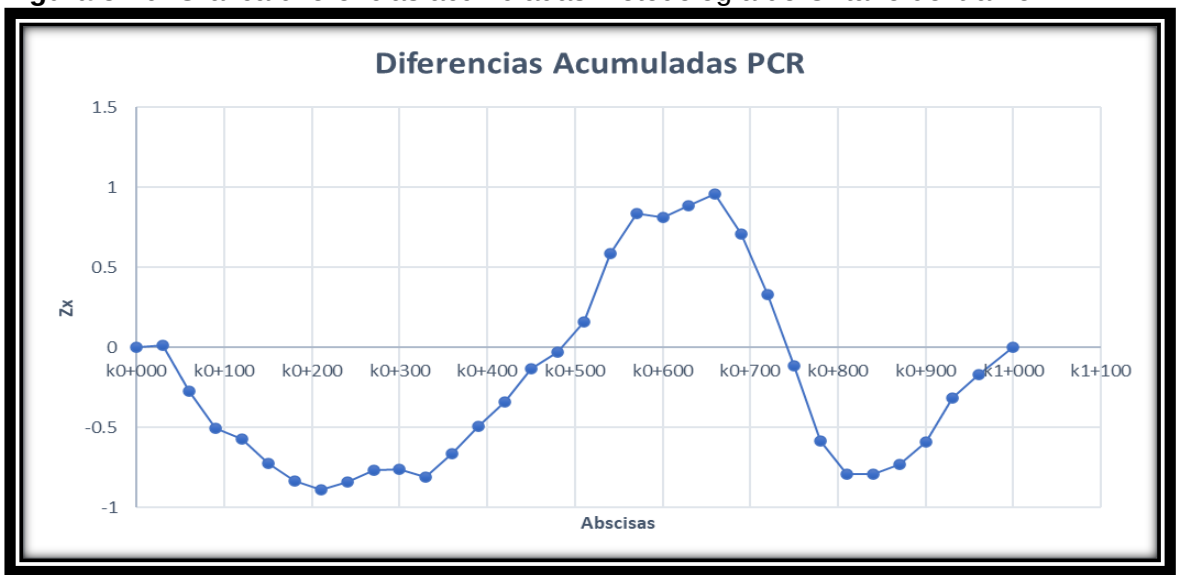
Fuente: Elaboración propia

Según el coeficiente de variación que presenta en cada sector homogéneo, se puede concluir que se presenta baja variabilidad en la calificación del método del Ministerio de Transporte de Ontario en las unidades de inspección que conforma cada tramo homogéneo.

▪ Método del Departamento de Transporte de Ohio (PCR)

En la Figura 5-10 se observa la gráfica obtenida de la aplicación del método de las diferencias acumuladas en la calificación del método del Departamento de Transporte de Ohio (PCR)1 del tramo 1.

Figura 5-10. Grafica diferencias acumuladas metodología de Ontario del tramo 1



Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta la anterior grafica se estable tramos homogéneos del estado del pavimento mediante la calificación obtenida por el método PCI y se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-9. Sectores homogéneos método PCR en el tramo 1

Tramo Homogéneo	Abscisa		Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente de variación
	Inicial	Final			
1	K0+000	K0+210	56.99	8.19	0.14
2	K0+210	K0+570	65.83	5.71	0.09
3	K0+570	K0+840	55.06	8.43	0.15
4	K0+840	K1+000	67.10	6.04	0.09

Fuente: elaboración propia

Como se observa en el coeficiente de variación que presenta en cada sector homogéneo, se puede inferir que se presenta baja variabilidad en la calificación del método del Departamento de Transporte de Ohio (PCR) en las unidades de inspección que conforma cada sector homogéneo.

En forma general en la calificación obtenida por la aplicación de los métodos de auscultación del pavimento en el tramo 1 se evidencia que todos presentaron cuatro tramos homogéneos, sin embargo, a diferencia de las otras metodologías el método del PCI presente alta variabilidad de la calificación en cada tramo y esto debe a causa de los criterios de evaluación que considera la metodología.

5.2 Tramo 2 pavimento en estado regular

Este tramo está conformado por dos kilómetros en pavimento en estado regular (sector del PR 107+000 al 109+821 de la ruta 65A02), para el cual se tomó un punto de referencia inicial el PR 107 + 000 y la calzada cuenta con un ancho promedio de 7.5 metros. Donde previamente se definieron 67 unidades de muestro para cada método de auscultación, pudiendo observar los siguientes tipos de daños representativos para cada metodología. Para la interpretación de los resultados que se presentan a continuación, se aclarar que él porcentaje total de daño corresponde a la suma de todas las áreas de cada daño encontrado en todo el tramo de vía de estudiado; también se entiende por porcentaje total

de zona representa cada daño dentro del área total del tramo estudiado que en este caso corresponde a 15000 m^2 (2000 metros de longitud y ancho de 7.5 metros).

5.2.1 Método VIZIR

La totalidad de los deterioros levantados por la metodología PCI se presentan en la siguiente tabla

Tabla 5-10. Deterioros metodología VIZIR

Tipos de daño	Total	% Total de zona	% Total de daño
Tipo A			
Fisuras longitudinales (m)	359	2.39	19.37
Fisura piel de cocodrilo (m)	818.5	5.46	44.16
Bacheo y parcheo (m)	297.8	1.99	16.07
Tipo B			
Fisura de Borde (m)	6	0.04	0.32
Desplazamiento o abultamiento o ahuellamiento de mezcla (m)	6	0.04	0.32
Escalonamiento entre calzada y Berman (m)	366	2.44	19.75
Total	1853.3	12.36	100.0

Fuente: elaboración propia

Para el análisis de los resultados se hace un mayor enfoque en los daños tipo A debido a que estos son los que se tienen en cuenta para la calificación de los tramos

.

En este orden de ideas en la Tabla 5-10 se puede observar que el tipo de daño que más se presenta en el tramo de estudio es fisura piel de cocodrilo con un 44,16% la posible causa puede ser que esta es una vía nacional donde se presentan repetidamente cargas de tránsito. Seguido a este daño se encuentra las fisuras longitudinales 19,37% cuyo origen más común son los altos esfuerzos horizontales de tensión que producen los vehículos pesados, posible consecuencia del tráfico pesado que transita constantemente por este sector debido a que esta es una región agrícola. Otro deterioro que se presenta es el bacheo y parcheo con un 16.07%, esto se debe a que realizado diferentes reparaciones al pavimento.

Finalmente se destaca un deterioro funcional, y es el escalonamiento entre calzada y berma con un 19.75%, y se deba a la construcción de una calzada dejando una diferencia de nivel con la berma.

5.2.2 Método PCI

La totalidad de los deterioros levantados por la metodología PCI se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5-11. Deterioros metodología PCI

Tipo de daño	Total	% Total de zona	% Total de daño
Piel de Cocodrilo (m^2).	745.2	4.97	40.23
Grieta de Borde (ml).	11	0.07	0.59
Desnivel Carril/Berma (ml).	360	2.40	19.44
Grietas Longitudinales y Transversales (ml).	411	2.74	22.19
Parcheo (m^2).	324.01	2.16	17.49
Huecos (und).	1	0.01	0.06
Total	1852.21	12.35	100.0

Fuente; elaboración propia

El deterioro más representativo es la falla piel de cocodrilo con un 40.23% y la causa principal de este deterioro es la fatiga ocasionada por las cargas repetidas de tránsito y como se ha mencionado anteriormente pudo haberse generado por el tránsito del transporte de carga que pasa por esta vía. Seguidamente se evidencia la grietas longitudinales y transversales con un 22.19%, cuyo origen puede ser producido por una junta de carril del pavimento pobremente construida, contracción de la superficie de concreto asfáltico al endurecimiento del asfalto o una grieta de reflexión causada por el agrietamiento bajo la capa de base.

Desnivel Carril/Berma se presenta con un 19.44% y esto se evidencia en el tramo de via por la construcción de una calzada y dejando un desnivel con la berma. Continuamente con un porcentaje de 17.49% se encuentra el parcheo, dado a las reparaciones realizadas al pavimento.

Por ultimo y en porcentajes menores se presenta la grieta de borde con un 0.59%, debido a que se evidencia colocación de sobre carpetas y huecos con un 0.06% dado a que en el sector se presenta una severidad alta de las fisuras piel de cocodrilo.

5.2.3 Método del Ministerio de Transporte de Ontario

En la Tabla 5-12 se presenta los daños levantados mediante la metodología del Ministerio de Transporte de Ontario.

Tabla 5-12. Deterioros metodología del MTO

Tipos de deterioro de pavimento			Total	% Total de zona	% Total de daño
Fisuras	Trayecto longitudinal de las huellas	Cocodrilo	829.00	5.53	68.17
	Borde del pavimento	Simple y múltiple	10.00	0.07	0.82
	Aleatoria		377.00	2.51	31
		Total	1216.00	8.11	100

Fuente: elaboración propia

En primera instancia se evidencia la presencia de fisuras en la vía longitudinal de las ruedas en forma de cocodrilo con un 68.17%, una posible consecuencia a una falla por fatiga debido a la circulación del tráfico de carga que se presentan en la zona. Seguidamente, se tiene las fisuras aleatorias con un 31% y una posible causa es el endurecimiento y retracción del asfalto por envejecimiento.

Finalmente, con un porcentaje menor se evidencia fisuras de borde con un 0.82% dado a que en algunos sectores se evidencio fisuras cerca al borde del pavimento.

5.2.4 Método del Departamento de Transporte de Ohio (PCR)

La totalidad de los deterioros levantados por la metodología PCR se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5-13. Deterioros metodología PCR (Tramo 2)

Tipo de daño	Total	% Total de zona	% Total de daño
Parcheo (und)	54	0.36	1.78
Descascaramiento (und)	30	0.20	0.99
Deficiencia en el sellado de grietas (m)	1728	11.52	56.97
Huecos ** (und)	2	0.01	0.07
Grieta en el paso de las ruedas ** (m)	829	5.53	27.33
Grieta longitudinal ** (m)	380	2.53	12.53
Grieta de borde ** (m)	10	0.07	0.33
Total	3033	20.22	100.0

Fuente: elaboración propia

Para la interpretación de los resultados se hace un mayor enfoque a los deterioros que son de deducción estructural debido a que estos son los que más inciden en la calificación del PCR.

En este orden de ideas el deterioro de deducción estructural con mayor porcentaje son las grietas en el paso de las ruedas con un 27.33% cuyo origen se da por el fallo por fatiga de la capa asfáltica a consecuencia del tránsito que circula por la zona. Seguido a este deterioro se encuentra las grietas longitudinales con un 12.53% y sus posibles causas son las juntas de pavimentación, juntas que se reflejan a través de las capas de superposición.

Por último y en un porcentaje menor se encuentran las grietas de borde con un 0,33% y los huecos con 0,07%, las cuales no representan un daño significativo en el tramo vial estudiado.

Finalmente se resalta el siguiente deterioro debido a que se presentan en la mayoría de la longitud de tramo estudiado, son el deterioro de deficiencia en el sellado de grietas con un 56.97% debido a que ninguna grieta existente ha sido sellada.

5.2.5 Comparación de las metodologías en el tramo 2

En este inciso se presenta la clasificación de los tipos de deterioros encontrados luego de aplicar las metodologías propuesta para este estudio, en la Tabla 5-14 se evidencia el promedio de la clasificación según cada método.

Tabla 5-14. Promedio de clasificación tramo 2

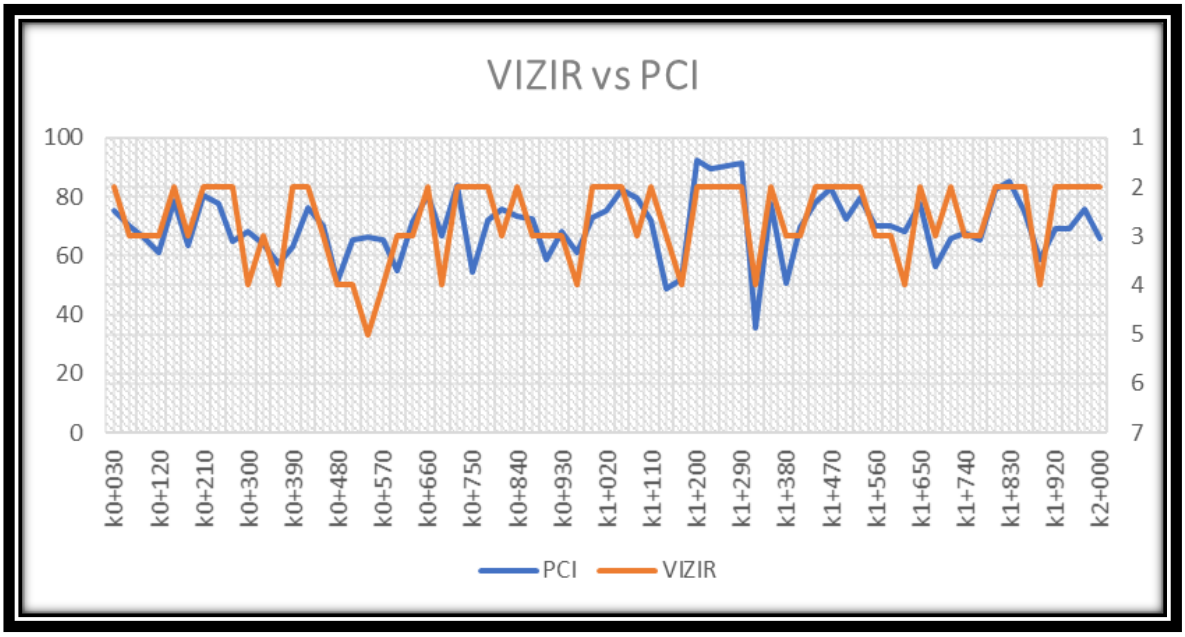
PCI		VIZIR		PCR (DOT)		ONTARIO (MTO)	
Índice	**Clasificación**	**Índice**	**Clasificación**	**Índice**	**Clasificación**	**Índice**	**Clasificación**
70.07	Satisfactorio	3	Marginal	78.91	Bueno	72	Pavimento bueno con deterioros leves, condición de marcha buena con algunas irregularidades

Fuente: elaboración propia

En la anterior tabla se evidencia que el estado del pavimento tiene una tendencia similar en su clasificación de cada metodología.

En la Figura 5-11, se comparan las dos metodologías, en el eje izquierdo se encuentran los valores en que se clasifica el estado del pavimento por la metodología PCI y en el eje derecho los valores de VIZIR, como se observa ambas metodológicas tienen una tendencia similar, las diferencias que se observan básicamente radican en los rangos que tiene cada método para valorar el estado del pavimento

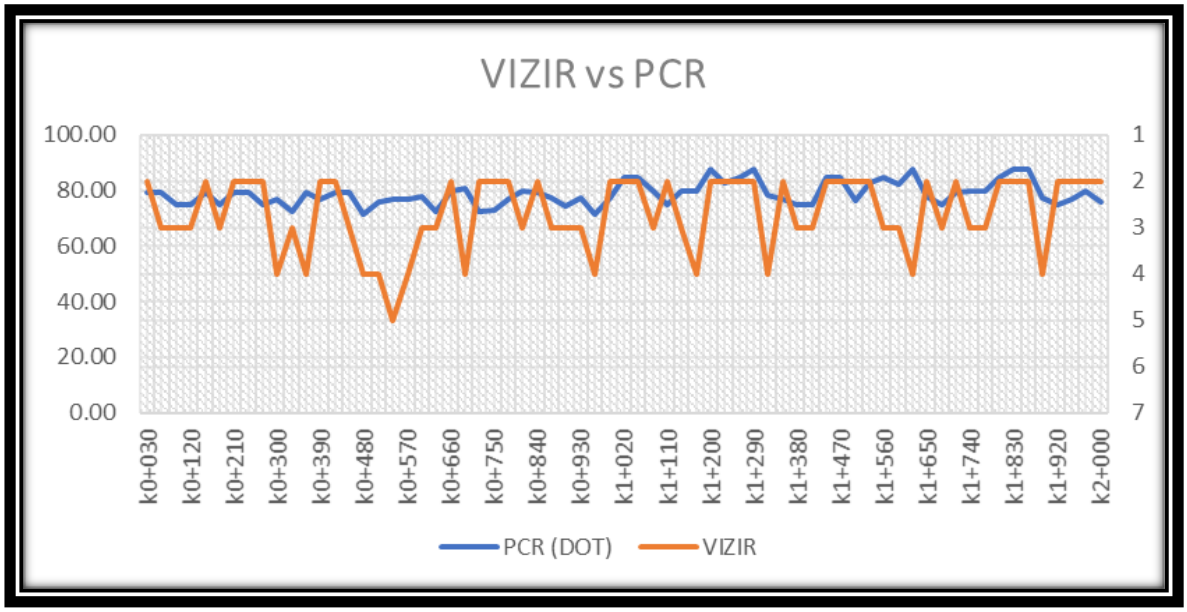
Figura 5-11. Grafica comparativa de la metodología VIZIR con PCI



Fuente: elaboración propia

En la Figura 5-12, se comparan las dos metodologías, en el eje izquierdo se encuentran los valores en que se clasifica el estado del pavimento por la metodología PCR y en el eje derecho los valores de VIZIR, como se evidencia ambos métodos presentan tendencias similares, sin embargo, la metodología PCR presenta un calificación con tendencia homogénea, debido al que PCR basa su calificación en la suma de puntos de deducción para cada tipo de deterioro y en este tramo de estudio, en cada unidad de inspección deterioros similares.

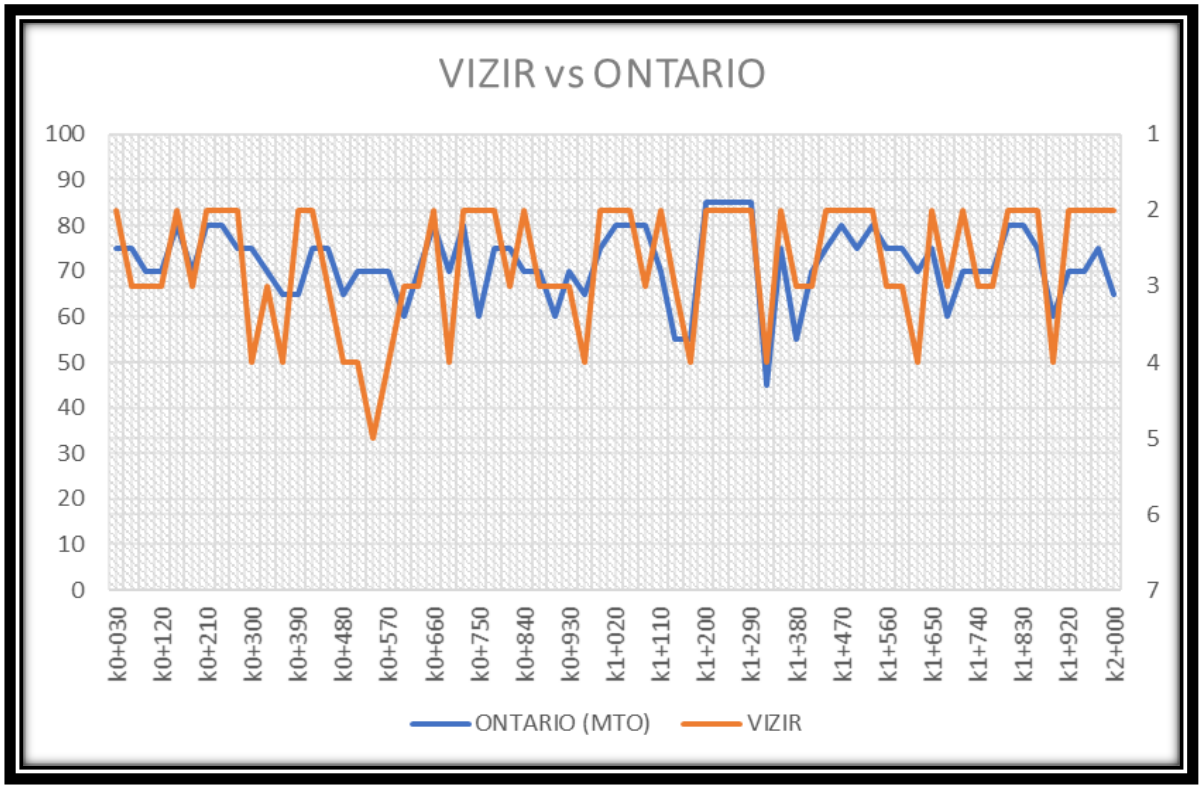
Figura 5-12. Grafica comparativa de la metodología VIZIR con PCR



Fuente: elaboración propia

En la Figura 5-13 se comparan las dos metodologías, en el eje izquierdo se encuentran los valores en que se clasifica el estado del pavimento por la metodología de Ontario y en el eje derecho los valores de VIZIR, como puede observar los métodos presentan algunos comportamientos similares en los resulta dos, las diferencias que se observan básicamente radican en la forma de calificación de cada método, VIZIR tiene una calificación objetiva a diferencia que el método Ontario que su calificación es subjetiva.

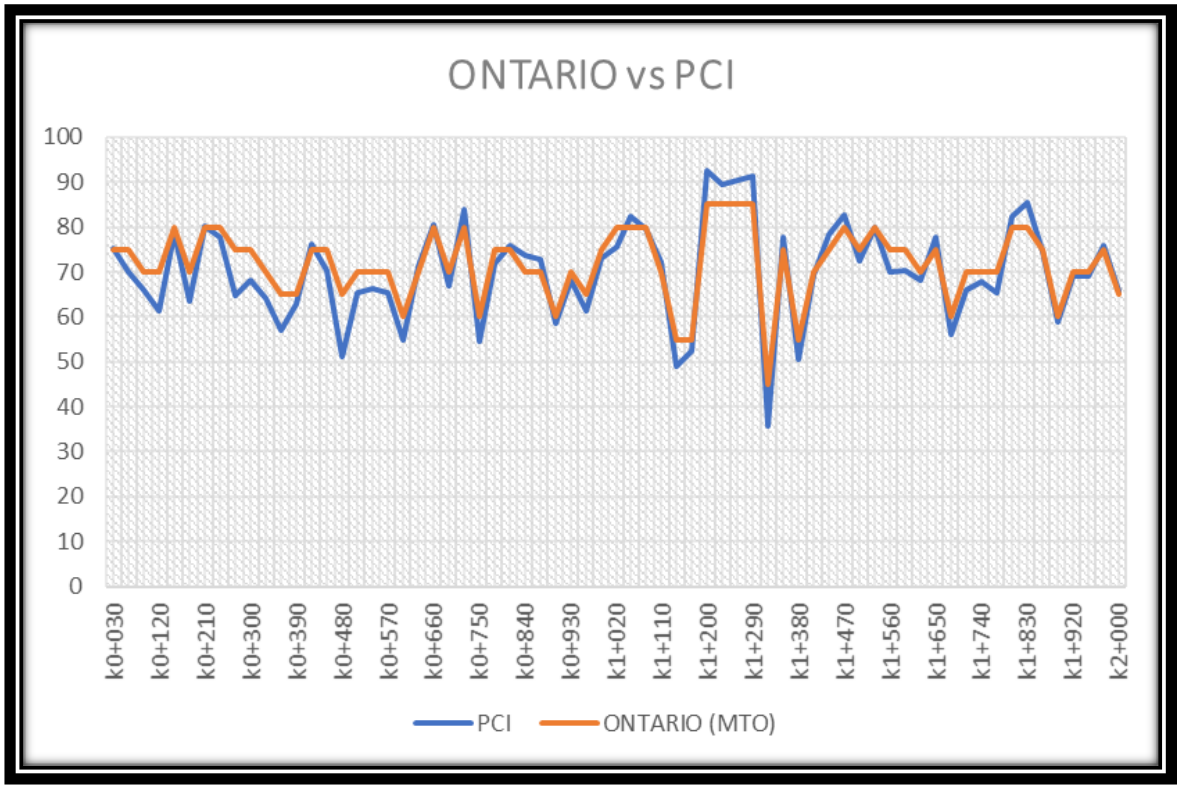
Figura 5-13. Grafica comparativa de la metodología VIZIR con ONTARIO



Fuente: elaboración propia

En la Figura 5-14, se comparan las dos metodologías PCI y Ontario, Se evidencia alta similitud por los dos méto dos en su calificación, pero cabe resaltar, que la metodología de Ontario realiza su calificación de manera subjetiva, a diferencia del PCI que la realiza mediante un proceso matemático y la hace objetiva.

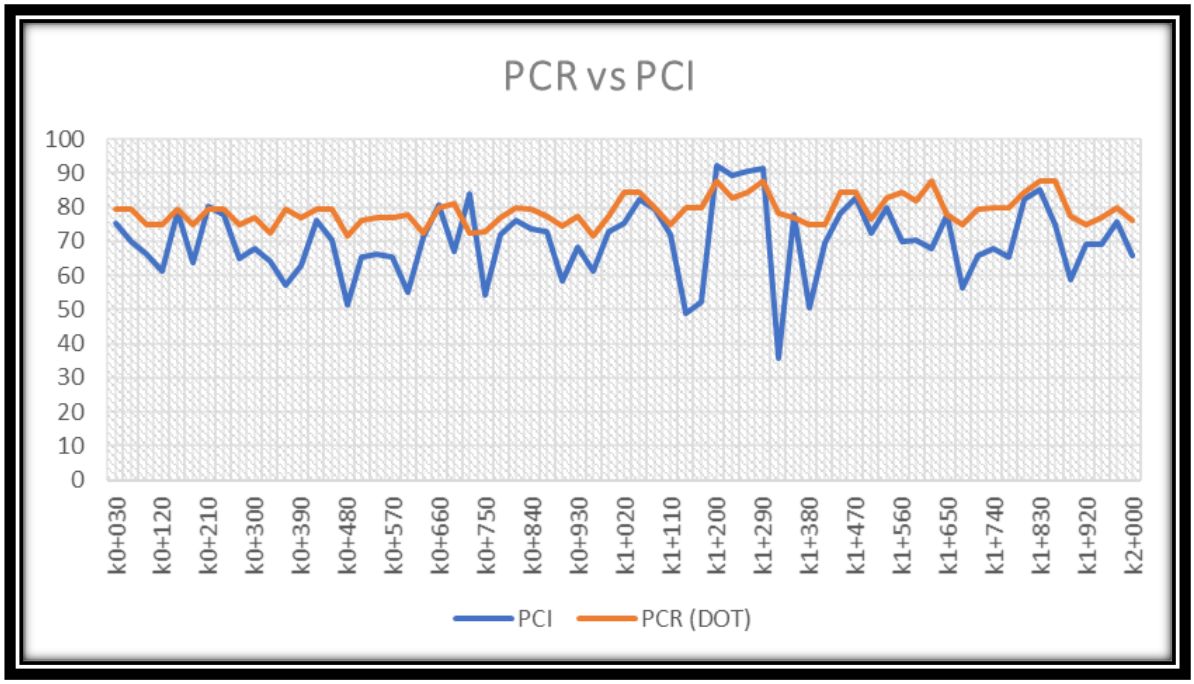
Figura 5-14. Grafica comparativa de la metodología ONTARIO con PCI



Fuente: elaboración propia

En la Figura 5-15 se comparan las metodologías PCI y PCR, se observa algunas tendencias similares en el comportamiento de los resultados, sin embargo, la metodología PCR presenta una calificación con tendencia homogénea, a diferencia del PCI que presenta variaciones en sus resultados debido presenta más especificaciones para calificar.

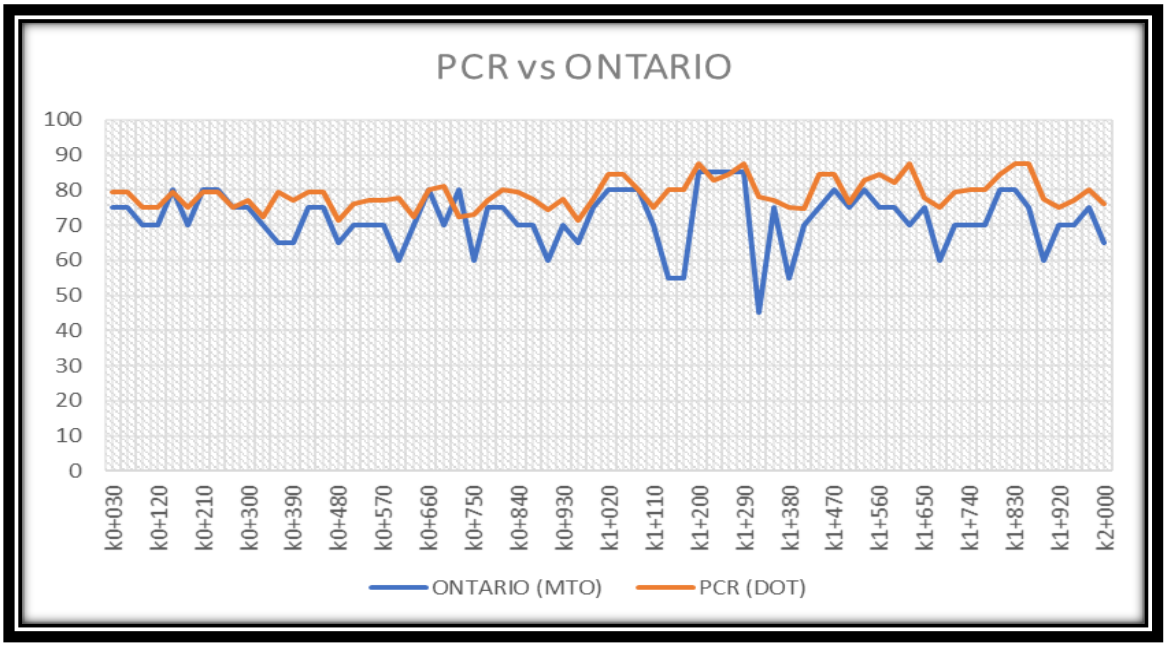
Figura 5-15. Grafica comparativa de la metodología PCR con PCI



Fuente: elaboración propia

En la Figura 5-16 se comparan las metodologías del Departamento de Transporte Ohio (PCR) y la del Ministerio de Transporte de Ontario, se observan algunas tendencias similares, las diferencias que se observan básicamente radican en la forma de calificación de cada método.

Figura 5-16. Grafica comparativa de la metodología PCR con Ontario



Fuente: elaboración propia

5.2.6 Identificación de los sectores homogéneos

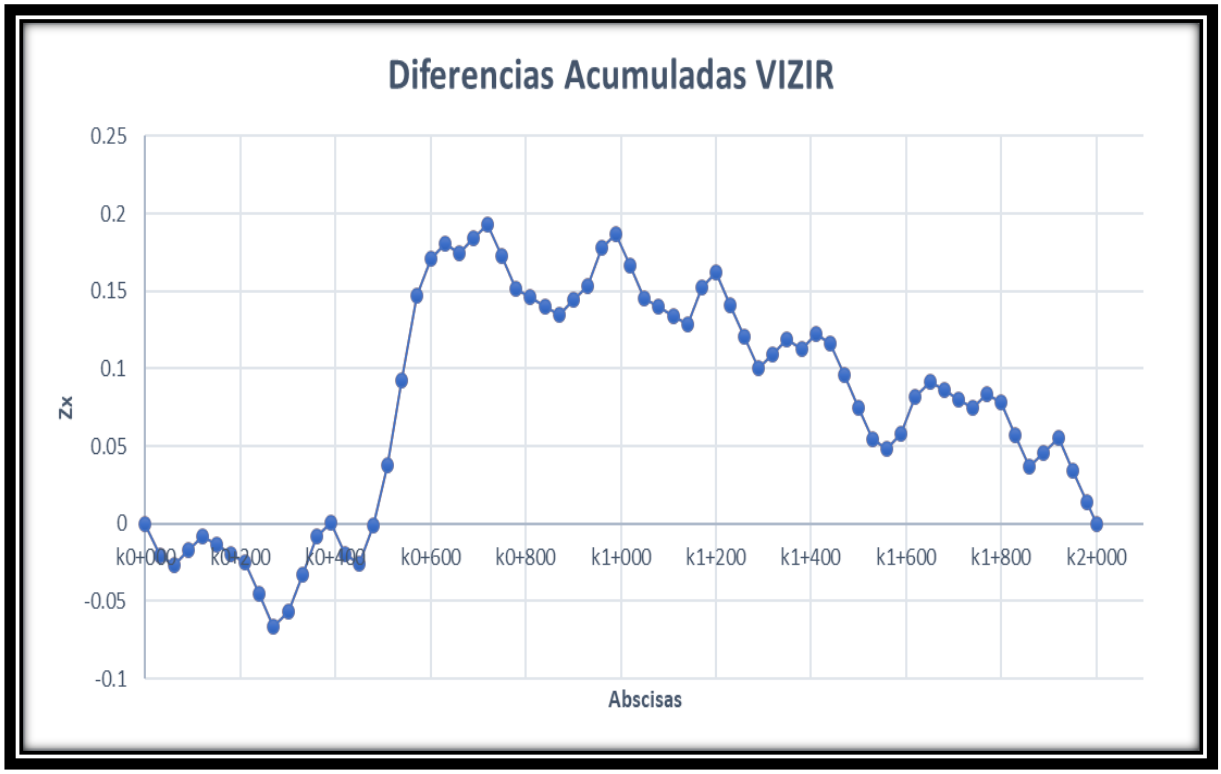
En este inciso se presenta la sectorización del tramo 2, mediante las diferencias acumulativas para cada una de las metodologías implementadas.

Con el objetivo de establecer secciones uniformes de los resultados de la calificación de cada método, se implementa la metodología de las diferencias acumuladas el cual es una herramienta que permite delimitar estadísticamente tramos homogéneos, a continuación, presenta la aplicación de este método en los resultados obtenidos por cada metodología en el tramo 2

- **Método VIZIR**

Con los resultados de la calificación de la metodología VIZIR del tramo 2 se aplicó el proceso de las diferencias acumuladas y se obtuvo el grafico que se presenta la Figura 5-17

Figura 5-17. Grafica diferencias acumuladas metodología VIZIR del tramo 2



Fuente: elaboración propia

Mediante la anterior figura se estable tramos homogéneos del estado del pavimento mediante la calificación obtenida por el método VIZIR y se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-15. Sectores homogéneos método VIZIR en el tramo 2

Tramo Homogéneo	Abscisa		Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente de variación
	Inicial	Final			
1	K0+000	K0+450	3.00	0.72	0.24
2	K0+450	K0+720	3.00	1.01	0.34
3	K0+720	K2+000	3.00	0.70	0.23

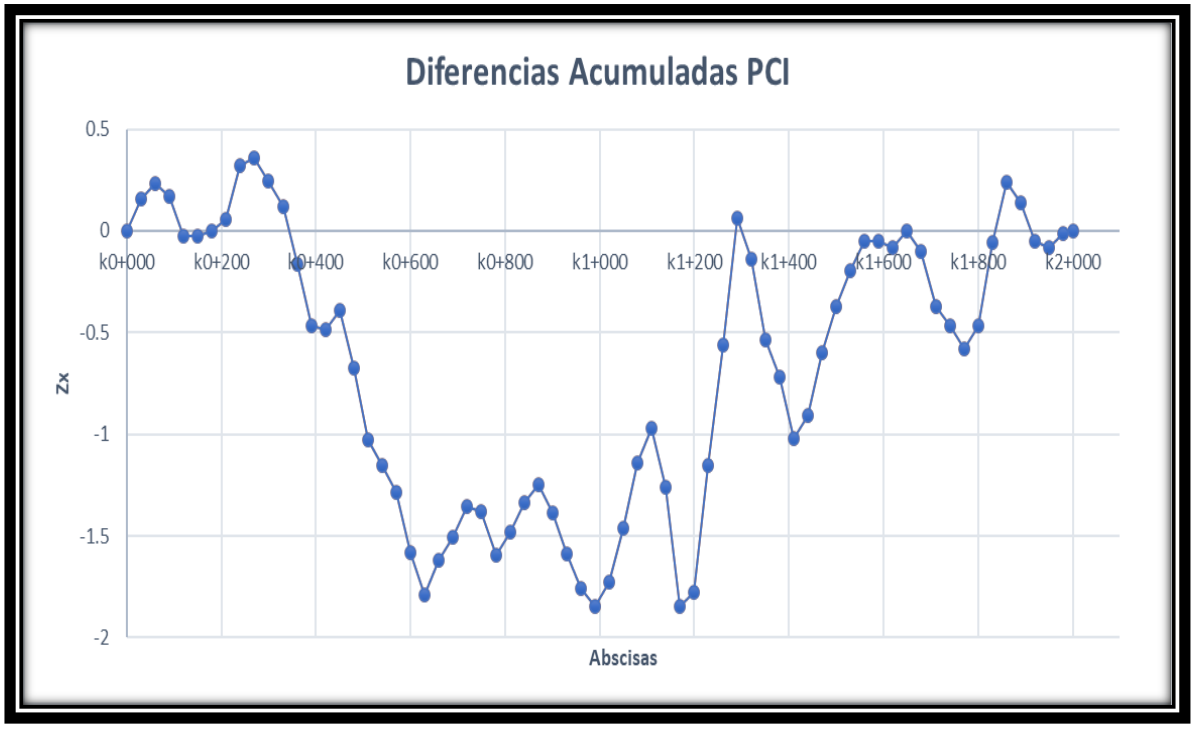
Fuente: elaboración propia

Conforme a el coeficiente de variación que presenta cada sector homogéneo, se puede inferir que existe baja variabilidad de la calificación del método VIZIR en las unidades de muestreo que conforma cada tramo homogéneo.

▪ Método PCI

Con los resultados de la calificación del método del PCI del tramo 2 se aplicó el proceso de las diferencias acumuladas y se obtuvo el grafico que se presenta la Figura **5-18**

Figura 5-18. Grafica diferencias acumuladas metodología PCI del tramo 2



Teniendo en cuenta la anterior grafica se estable tramos homogéneos del estado del pavimento mediante la calificación obtenida por el método PCI y se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-16. Sectores homogéneos método PCI en el tramo 2

Tramo Homogéneo	Abscisa		Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente de variación
	Inicial	Final			
1	K0+000	K0+270	70.88	7.25	0.10
2	K0+270	K0+630	64.45	7.13	0.11
3	K0+630	K1+230	71.66	11.90	0.17
4	K1+230	K2+000	71.18	12.10	0.17

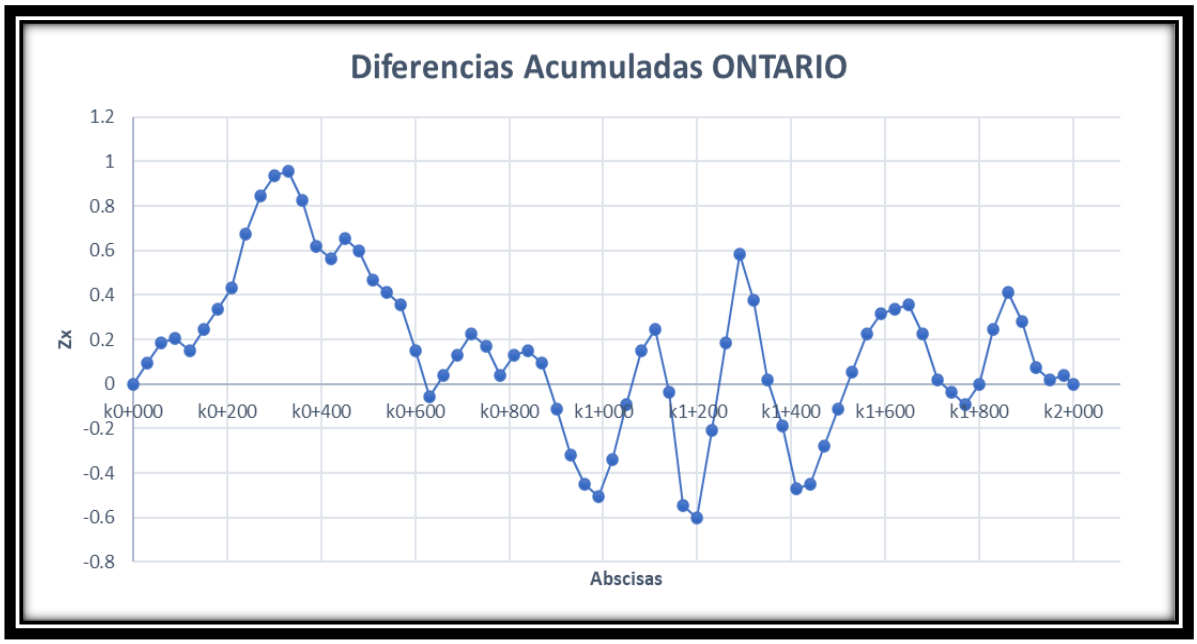
Fuente: elaboración propia

Conforme a el coeficiente de variación que presenta cada sector homogéneo, se puede inferir que existe baja variabilidad de la calificación del método PCI en las unidades de muestreo que conforma cada tramo homogéneo

- Método del Ministerio de Transporte de Ontario

Con los resultados de la calificación del método del Ministerio de Transporte de Ontario del tramo 2, se aplicó el proceso de las diferencias acumuladas y se obtuvo el grafico que se presenta la Figura 5-19

Figura 5-19. Grafica diferencias acumuladas de metodología de Ontario del tramo 2



Mediante la anterior grafica se estable tramos homogéneos del estado del pavimento mediante la calificación obtenida por el método del Ministerio de Ontario y se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-17. Sectores homogéneos método de Ontario en el tramo 2

Tramo Homogéneo	abscisa		Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente de variación
	Inicial	Final			
1	k0+000	k0+330	74.55	4.16	0.06
2	k0+330	k0+930	69.75	5.95	0.09
3	k0+930	k1+530	72.75	11.86	0.16
4	k1+530	k2+000	71.25	5.92	0.08

Fuente: elaboración propia

Según el coeficiente de variación que presenta en cada sector homogéneo, se puede concluir que se presenta muy baja variabilidad en la calificación del método del Ministerio de Transporte de Ontario en las unidades de inspección que conforma cada tramo homogéneo

- Método del Departamento de Transporte de Ohio (PCR)

Con base a los resultados de la calificación del método del PCR del tramo 2 se aplicó el proceso de las diferencias acumuladas y se presenta la Figura 5-20

Figura 5-20. Grafica diferencias acumuladas de metodología de PCR del tramo 2

Teniendo en cuenta la anterior grafica se estable tramos homogéneos del estado del pavimento mediante la calificación obtenida por el método PCI y se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-18. Sectores homogéneos método PCR en el tramo 2

Tramo Homogéneo	abscisa		Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente de variación
	Inicial	**Final**			
1	k0+000	k0+990	76.85	2.80	0.04
2	k0+990	k2+000	80.91	4.27	0.05

Fuente: elaboración propia

Conforme al coeficiente de variación que presenta en cada sector homogéneo, se puede concluir que se presenta muy baja variabilidad en la calificación del método PCR en las unidades de inspección que conforma cada tramo homogéneo

En forma general en la calificación obtenida por la aplicación de los métodos de auscultación del pavimento en el tramo 2 se evidencia baja variabilidad en su calificación, cabe resaltar que el método con mayor calificación en el tramo es la metodología del PCR y esto debe a los criterios de evaluación.

5.3 Tramo 3 pavimento en buen estado

Este tramo está conformado por un kilómetro en pavimento en buen estado (sector del PR 68+000 al PR 70+000 de la ruta 6508), para el cual se tomó un punto de referencia inicial el PR 68 + 000 y la calzada cuenta con un ancho promedio de 7 metros. Donde previamente se definieron 33 unidades de muestro para cada método de auscultación, pudiendo observar los siguientes tipos de daños representativos para cada metodología. Para la interpretación de los resultados que se presentan a continuación, se aclarar que él porcentaje total de daño corresponde a la suma de todas las áreas de cada daño encontrado en todo el tramo de vía de estudiado; también se entiende por porcentaje total de zona representa cada daño dentro del área total del tramo estudiado que en este caso corresponde a 7000 m^2 (1000 metros de longitud y ancho de 7 metros).

5.3.1 Método VIZIR

En la Tabla 5-19. Deterioros metodología VIZIR se presenta los daños levantados mediante la metodología VIZIR,

Tabla 5-19. Deterioros metodología VIZIR

Tipos de daño	Total	% Total de zona	% Total de daño
Tipo A			
Depresiones o hundimientos longitudinal (m)	4.5	0.06	1.63
Fisura piel de cocodrilo (m)	10	0.14	3.62
Bacheo y parcheos (m)	5.7	0.08	2.06

Tipo B			
Fisura de construcción térmica (m)	110	1.57	39.83
Escalonamiento entre calzada y Berman (m)	146	2.09	52.86
Total	276.2	3.94	100.00

Fuente: elaboración propia

En la anterior tabla se observa los daños presentes en pavimento en buen estado, y se evidencia su condición debido a que en toda su área solo presenta daños en un 3.94% y esto básicamente radica al empalme que se existe en el sector entre una vía nueva y una antigua, dentro de las fallas estructurales existen fisuras piel de cocodrilo con un 3.62% y bacheo y parcheo con un 2.06%, debido a falla por fatiga y mejoramiento del pavimento respectivamente. En deterioros funcionales se evidencia el escalonamiento entre calzada y berma con un 52.86%, y se deba a la construcción de una calzada dejando una diferencia de nivel con la berma, y las fisuras de construcción térmica con un 39.83%, por tal razón se plantea la hipótesis de que este deterioro se originó debido al uso inadecuado del asfalto, dado a que en el tramo de estudio no presentan cambios extremos de temperatura.

5.3.2 Método PCI

La totalidad de los deterioros levantados por la metodología PCI se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5-20. Deterioros metodología PCI (Tramo 3)

Tipo de daño	Total	% Total de zona	% Total de daño
Piel de Cocodrilo (m^2).	28	0.40	4.44
Agrietamiento en Bloque (m^2).	348.27	4.98	55.23
Abultamiento y Hundimientos (m^2).	4.5	0.06	0.71
Desnivel Carril/Berma (ml).	240	3.43	38.06
Parcheo (m^2).	9.85	0.14	1.56
Total	630.62	9.01	100

Fuente: elaboración propia

En la anterior tabla se evidencia los deterioros presentes en pavimento en buen estado, y se ratifica su condición debido a que en toda su área solo presenta daños en un 9.01% y como ya se mencionó, esto se debe al empalme que se existe en el sector entre una vía nueva y una antigua, dentro de las fallas más representativas se encuentra el agrietamiento en bloque con un 55.23% , donde se plantea una hipótesis que este deterioro y es que originó debido al uso inadecuado del asfalto, dado a que en el tramo de estudio no presentan cambios extremos de temperatura y desnivel de carril y berma con un 38.06%, debido a que en el sector se evidencia una sobre carpeta en el pavimento.

5.3.3 Método del Ministerio de Transporte de Ontario

En la Tabla 5-21 se presenta los daños levantados mediante la metodología del Ministerio de Transporte de Ontario,

Tabla 5-21. Deterioros metodología del MTO

Tipos de deterioro de pavimento			Total	% Total de zona	% Total de daño
Fisuras	Trayecto longitudinal de las huellas	Cocodrilo	10.00	0.14	6.99
	Aleatoria		133.00	1.90	93.01
		Total	143.00	2.04	100.00

Fuente: elaboración propia

En la anterior tabla se evidencia los deterioros presentes en pavimento en buen estado, y se corrobora su condición debido a que en toda su área solo presenta daños en un 2.04% y como se ha venido mencionando, esto se debe al empalme existente en el sector entre una vía nueva y una antigua, y la falla más representativa, son las fisuras aleatorias con un 93.01% y la posible causa es el endurecimiento y retracción del asfalto por envejecimiento.

5.3.4 Método del Departamento de Transporte de Ohio (PCR)

La totalidad de los deterioros levantados por la metodología PCR se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5-22. Deterioros metodología PCR (Tramo 1)

Tipo de daño	Total	% Total de zona	% Total de daño
Parcheo (und)	3	0.04	1.09
Deficiencia en el sellado de grietas (m)	130	1.86	47.1
Grieta en el paso de las ruedas ** (m)	10	0.14	3.62
Grieta en bloque y transversal (m)	133	1.90	48.19
Total	276	3.94	100.0

Fuente: elaboración propia

En la tabla 38 se observa las fallas presentes en pavimento en buen estado, y confirma su condición debido a que en toda su área solo presenta daños en un 3.94% y como se ha venido mencionando, esto se debe al empalme existente en el sector entre una vía nueva y una antigua, y las fallas más representativas, son las grietas en bloque con un 48.19% y deficiencia en el sellado de grietas con un 47.1%, para el origen de las grietas en bloque se plantea una hipótesis que este deterioro y es al uso inadecuado del asfalto, dado a que en el tramo de estudio no presentan cambios extremos de temperatura y la deficiencia en el sellado de grietas es por la falta de mantenimiento de la via.

5.3.5 Comparación de las metodologías en el tramo 3

En este inciso se presenta el promedio de la clasificación de las metodologías propuesta para este estudio, en la Tabla 5-23 se evidencia la clasificación promedio según cada método.

Tabla 5-23. Promedio de clasificación del tramo 3

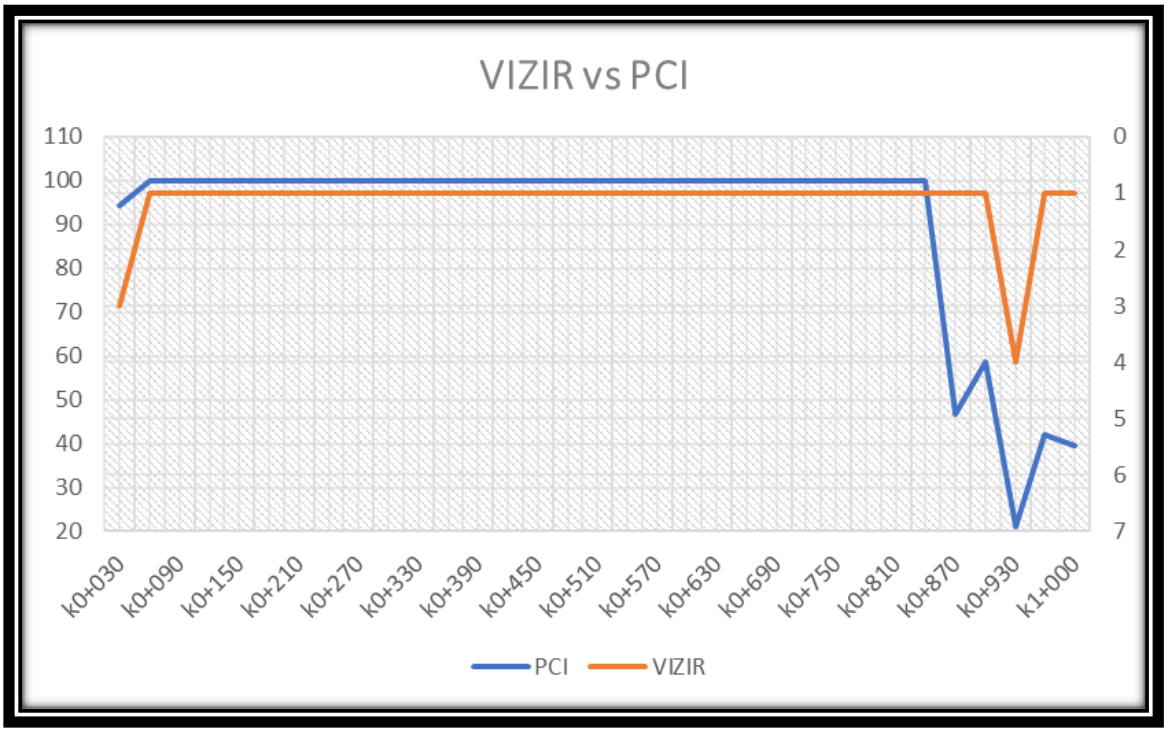
PCI		VIZIR		PCR (DOT)		ONTARIO (MTO)	
Índice	Clasificación	Índice	Clasificación	Índice	Clasificación	Índice	Clasificación
90.97	Bueno	1	Buena	97.35	Muy bueno	97	Pavimento excelente, condición de marcha excelente

Fuente: elaboración propia

En la anterior tabla se observa el promedio general de las unidades de muestreo para las cuatro metodologías, se evidencia una gran coincidencia en su calificación.

En la Figura 5-21, se comparan las dos metodologías, en el eje izquierdo se encuentran los valores en que se clasifica el estado del pavimento por la metodología PCI y en el eje derecho los valores de VIZIR, se observa que los resultados en ambas metodologías presentan gran homogeneidad en sus resultados.

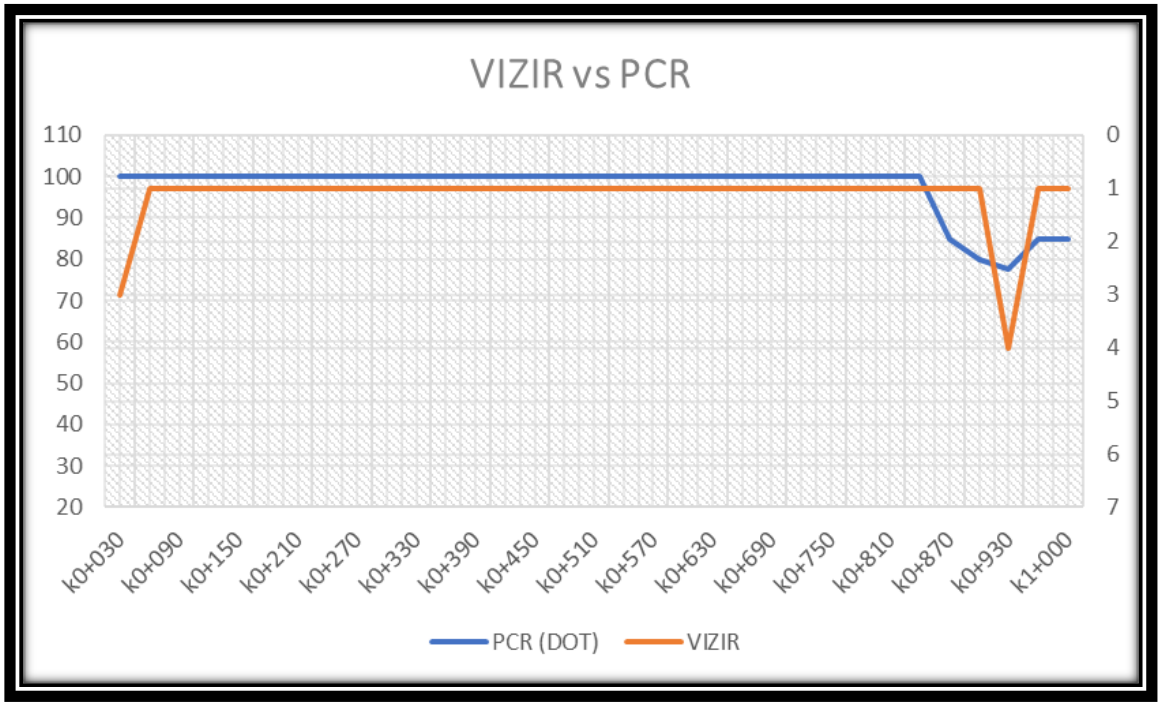
Figura 5-21. Grafica comparativa de la metodología VIZIR con PCI



Fuente: elaboración propia

En la Figura 5-22, se comparan las dos metodologías, en el eje izquierdo se encuentran los valores en que se clasifica el estado del pavimento por la metodología PCR y en el eje derecho los valores de VIZIR, se evidencia que ambos métodos coinciden en gran parte en su calificación

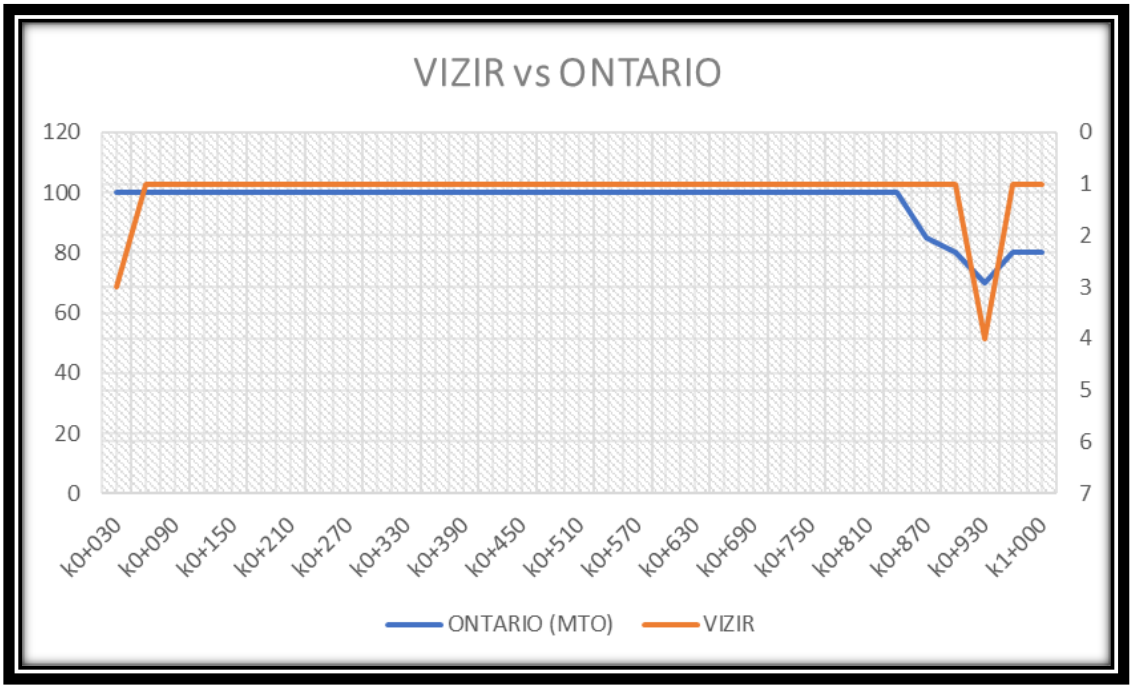
Figura 5-22. Grafica comparativa de la metodología VIZIR con PCR



Fuente: elaboración propia

En la Figura 5-23 se comparan las dos metodologías, en el eje izquierdo se encuentran los valores en que se clasifica el estado del pavimento por la metodología de Ontario y en el eje derecho los valores de VIZIR, se evidencia que ambos métodos coinciden en gran parte en su calificación

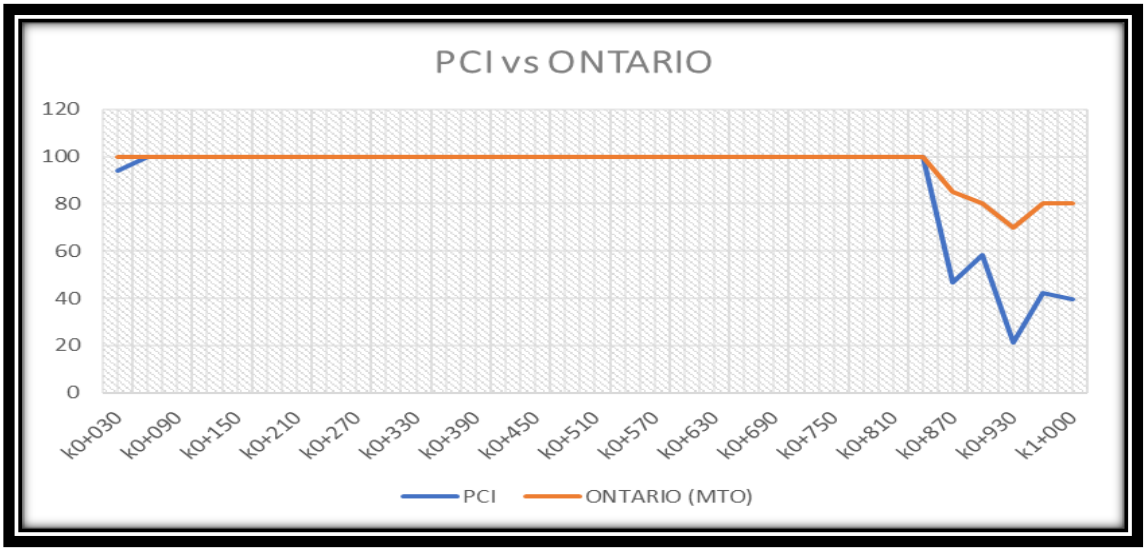
Figura 5-23. Grafica comparativa de la metodología VIZIR con Ontario



Fuente: elaboración propia

En la Figura 5-24, se comparan las dos metodologías PCI y Ontario, se observa una similitud en el comportamiento de los resultados en gran parte de las unidades de inspección.

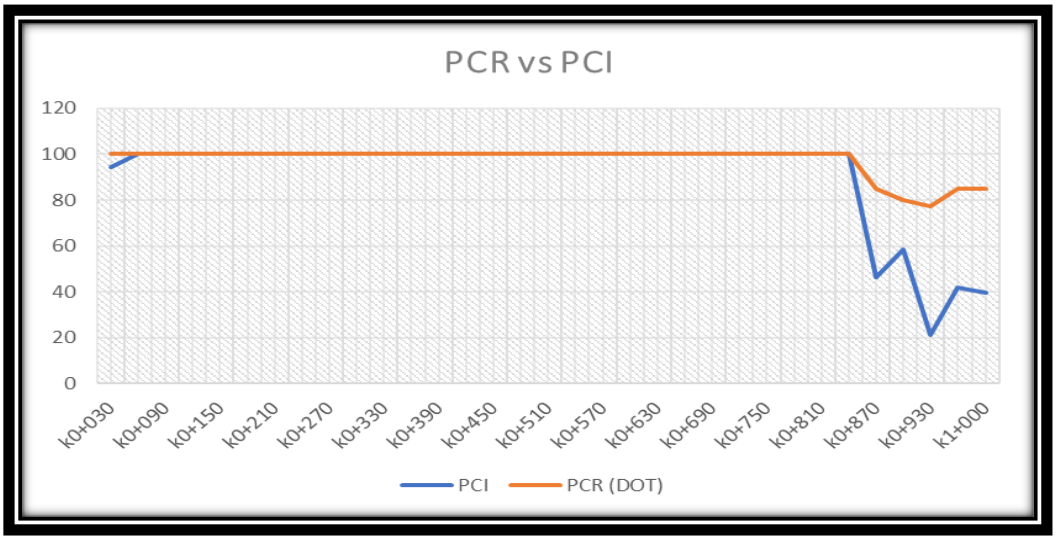
Figura 5-24. Grafica comparativa de la metodología PCI con Ontario



Fuente: elaboración propia

En la Figura 5-25, se comparan las dos metodologías PCI y PCR, se observa una similitud en el comportamiento de los resultados en gran parte de las unidades de inspección.

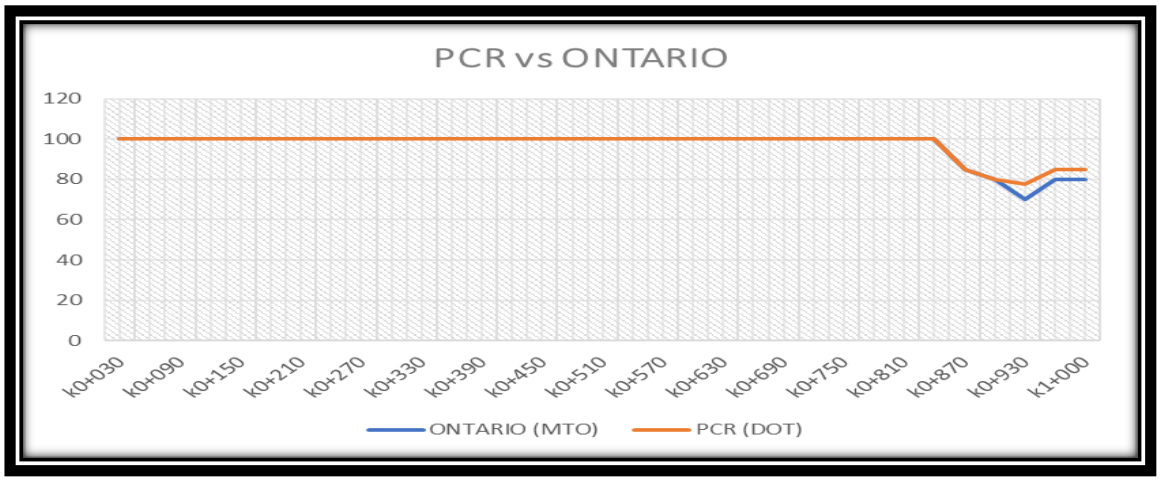
Figura 5-25. Grafica comparativa de la metodología PCR con PCI



Fuente: elaboración propia

En la siguiente figura se presenta grafica que comparan las metodologías PCR y Ontario, se observa la coincidencia de su calificación en casi toda su totalidad.

Figura 5-26. Grafica comparativa de la metodología PCR con Ontario



Fuente: elaboración propia

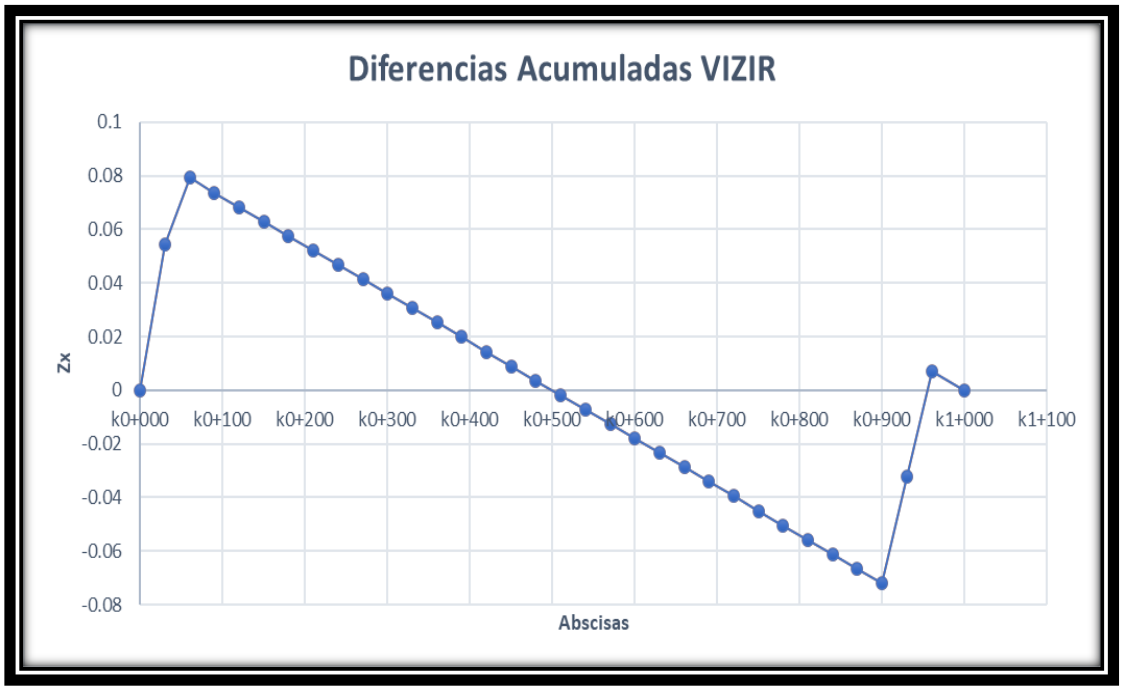
5.3.6 Identificación de los sectores homogéneos

En este inciso se presenta la sectorización del tramo 3, mediante las diferencias acumulativas para cada una de las metodologías implementadas.

- **Método VIZIR**

Con los resultados de la calificación de la metodología VIZIR del tramo 3 se aplicó el proceso de las diferencias acumuladas y se obtuvo el grafico que se presenta la Figura 5-27

Figura 5-27. Grafica diferencias acumuladas metodología VIZIR del tramo 3



Mediante la anterior grafica se estable tramos homogéneos del estado del pavimento mediante la calificación obtenida por el método VIZIR y se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-24. Sectores homogéneos método VIZIR en el tramo 3

Tramo Homogéneo	Abscisa		Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente de variación
	Inicial	Final			
1	K0+000	K0+060	2.00	1.41	0.71

2	K0+060	K0+900	1.00	0.00	0.00
3	K0+900	K1+000	2.00	1.73	0.87

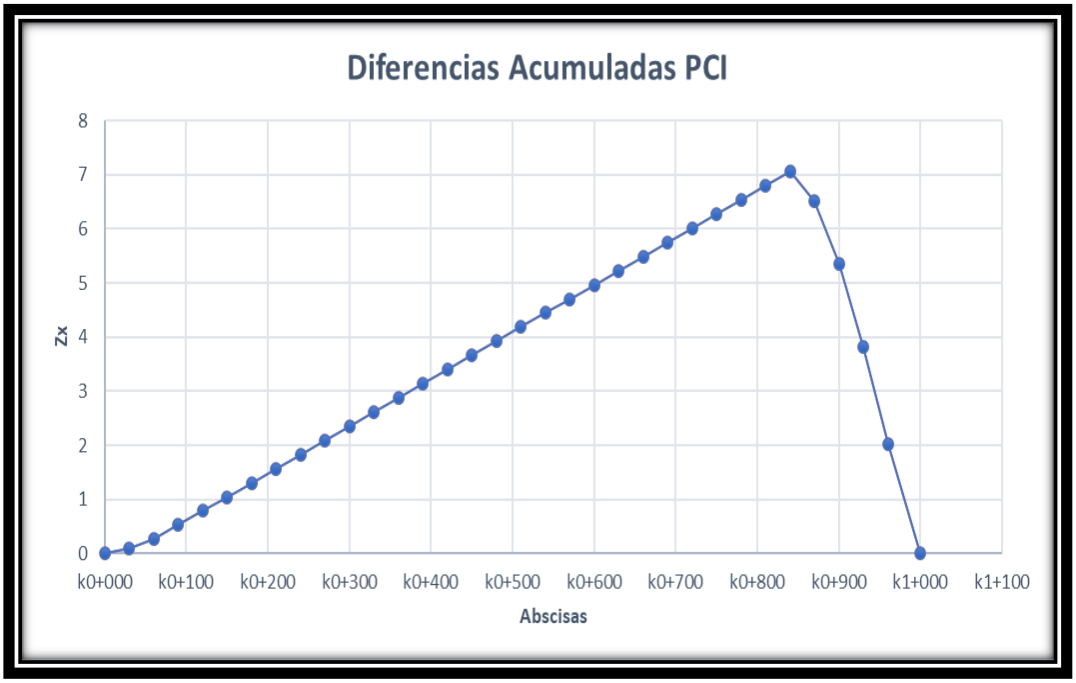
Fuente: elaboración propia

De acuerdo con los datos del coeficiente de variación alta variabilidad al inicio y final del tramo 3 y esto se debe al empalme que existe entre un pavimento nuevo y uno antiguo.

▪ Método PCI

Con los resultados de la calificación de la metodología PCI del tramo 3 se aplicó el proceso de las diferencias acumuladas y se obtuvo el grafico que se presenta la Figura 5-28

Figura 5-28. Grafica diferencias acumuladas metodología PCI del tramo 3



Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta la anterior grafica se estable tramos homogéneos del estado del pavimento mediante la calificación obtenida por el método PCI y se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-25. Sectores homogéneos método PCI en el tramo 2

Tramo Homogéneo	Abscisa		Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente de variación
	Inicial	Final			
1	K0+000	K0+840	99.79	1.10	0.01
2	K0+840	K1+000	41.56	13.56	0.33

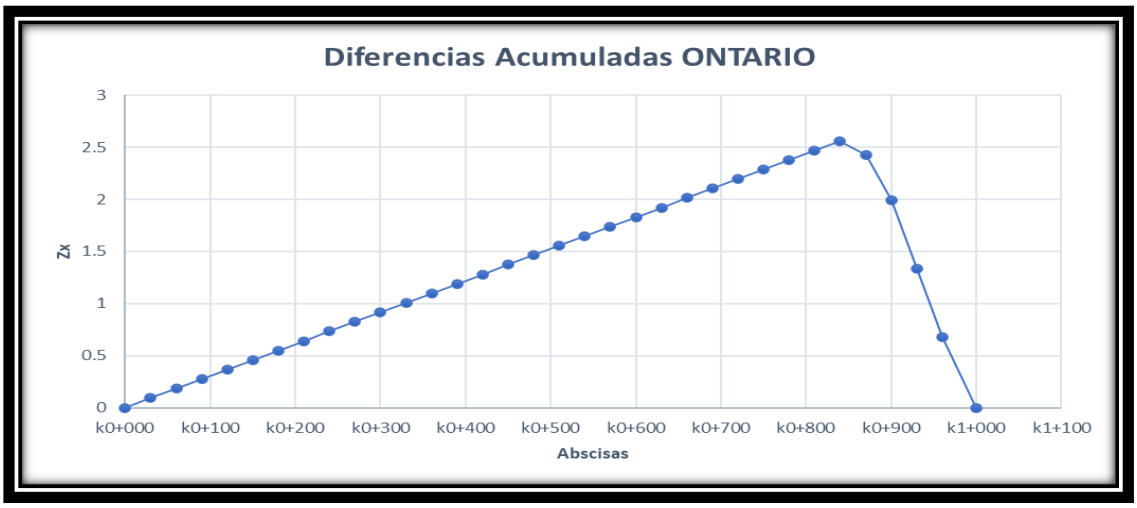
Fuente: elaboración propia

Conforme al coeficiente de variación que presenta en cada sector homogéneo, se puede concluir que se presenta baja variabilidad en la calificación del método PCI en las unidades de inspección que conforma cada tramo homogéneo

▪ Método del Ministerio de Transporte de Ontario

Con los resultados de la calificación de la metodología de Ontario del tramo 3 se aplicó el proceso de las diferencias acumuladas y se obtuvo el grafico que se presenta la Figura 5-29

Figura 5-29. Grafica diferencias acumuladas metodología de Ontario del tramo 3



Fuente: elaboración propia

Mediante la anterior grafica se estable tramos homogéneos del estado del pavimento mediante la calificación obtenida por el método del Ministerio de Ontario y se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-26. Sectores homogéneos método de Ontario en el tramo 2

Tramo Homogéneo	Abscisa		Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente de variación
	Inicial	Final			
1	K0+000	K0+840	100.00	0.00	0.00
2	K0+840	K1+000	79.00	5.48	0.07

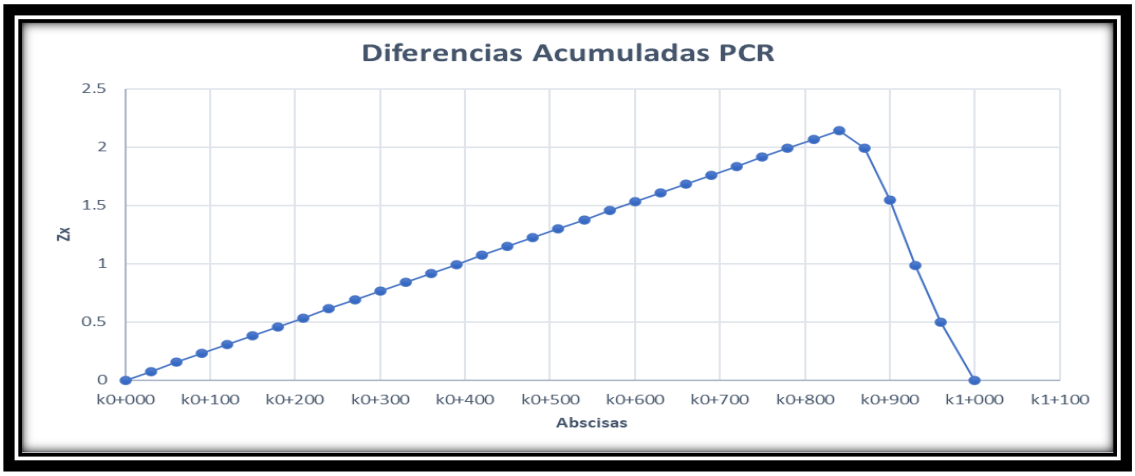
Fuente: elaboración propia

Conforme al coeficiente de variación que presenta en cada sector homogéneo, se puede concluir que se presenta baja variabilidad en la calificación del método del Ontario en las unidades de inspección que conforma cada tramo homogéneo

- Método del Departamento de Transporte de Ohio (PCR)

Con los resultados de la calificación de la metodología PCR del tramo 3 se aplicó el proceso de las diferencias acumuladas y se obtuvo el grafico que se presenta la Figura 5-30

Figura 5-30. Grafica diferencias acumuladas metodología PCR del tramo 3



Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta la anterior grafica se estable tramos homogéneos del estado del pavimento mediante la calificación obtenida por el método PCI y se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-27. Sectores homogéneos método PCR en el tramo 2

Tramo Homogéneo	abscisa		Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente de variación
	Inicial	Final			
1	k0+000	k0+840	100.00	0.00	0.00
2	k0+840	k1+000	82.50	3.54	0.04

Fuente: elaboración propia

Según el coeficiente de variación que presenta en cada sector homogéneo, se puede concluir que se tiene muy baja variabilidad en la calificación del método PCR en las unidades de inspección que conforma cada tramo homogéneo

En forma general las cuatro metodologías presentaron una gran similitud en su calificación y se evidencia por la coincidencia en los tramos homogéneos.

6. Conclusiones y recomendaciones

Mediante la aplicación de las cuatro metodologías de evaluación superficial de pavimentos flexibles en los tres tramos típicos de las rutas a cargo de la administración vial del INVIAS Territorial Meta, módulo 1, grupo 3. Se lograron obtener los siguientes resultados:

Como primera actividad, se logra en los sectores identificados, determinar y localizar los diferentes tipos de daño que se presentan en el pavimento y se consignaron de acuerdo con los sistemas de clasificación de daños utilizados para el estudio. Igualmente se logró realizar la sectorización de acuerdo con la clasificación obtenida con las metodologías empleadas.

Arrojando la siguiente información:

- Para el tramo 1, mediante la metodología PCI se obtuvo una calificación promedio de 9.78 (un pavimento fallado), el método VIZIR arrojo un promedio en la calificación de 5 (pavimento deficiente), la metodología del PCR tuvo una evaluación media de 61.21 (pavimento de regular a malo) y finalmente mediante el método del Ministerio de Transporte de Ohio el promedio de su calificación fue de 31 (pavimento en malas condiciones con tendencia a regular, condición de marcha de malo a regular).

- En el tramo 2, mediante la metodología PCI se obtuvo una calificación promedio de 70.07 (pavimento satisfactorio), el método VIZIR arrojo un promedio en la calificación de 3 (pavimento en estado marginal), la metodología del PCR tuvo una evaluación media de 78.91 (pavimento bueno) y finalmente mediante el método del Ministerio de Transporte de Ohio el promedio de su calificación fue de 72 (pavimento bueno con deterioros leves, condición de marcha buena con algunas irregularidades).

- Por último, en el tramo 3 con la metodología PCI se obtuvo una calificación promedio de 90.97 (un pavimento bueno), el método VIZIR arrojo un promedio en la calificación de 1 (un pavimento en buenas condiciones), la metodología del PCR tuvo una evaluación media de 97.35 (un pavimento muy bueno) y finalmente mediante el método del Ministerio de Transporte de Ohio el promedio de su calificación fue de 97 (pavimento excelente, condición de marcha excelente).

Con la información obtenida en las auscultaciones visuales sobre los tramos seleccionados, según las cuatro metodologías utilizadas; se logró realizar la comparación de los resultados de los métodos de inventario y diagnóstico de daños entre sí, tomado como línea base los resultados del método VIZIR.

Según su sistema de evaluación se concluye que la metodología VIZIR es un método de fácil comprensión y aplicación debido que al momento de establecer un índice de calificación del pavimento solo valora los deterioros que sean de tipo estructural y su calificación varia en 3 rangos, sin embargo es un sistema de baja objetividad debido que considera la mayoría de los deterioros en unidades de longitud y esto hace que se califique con igual severidad una falla localizada en una sección angosta de la vía, a un daño presente en el ancho total de la calzada, además los deterioros de tipo funcional pueden llegar a ser relevantes hasta el punto que requiera una intervención de carácter urgente.

El método del PCI es un sistema muy completo, debido a que al momento de establecer una calificación del pavimento considera todas las fallas presentes en la capa de rodadura y las clasifica entre 7 rangos de evaluación. Es una metodología muy objetiva debido a que la mayoría de los deterioros los considera con respecto al área de afectación de la misma y su calificación es más detallada en virtud de la implementación de curvas de valores deducido para determinar la severidad de las fallas.

El sistema de evaluación del estado superficial del pavimento implementado por el Departamento de Transporte de Ohio (PCR) es un método que tiene 6 rangos de calificación y tiene unos parámetros sencillos de aplicar y fácil de comprender, en vista que cada deterioro tiene establecido un máximo valor deducido que varía en función de la severidad y extensión del daño. No obstante, al tener un valor deducido para cada falla hace que el método sea poco objetivo al momento de evaluar el estado del pavimento,

como se observó en la calificación del tramo 1, siendo este el método que mayor calificación arrojo.

La metodología establecida por el Ministerio de Transporte de Ontario es un procedimiento de fácil implementación y para su calificación contempla 8 rangos de evaluación que se definen con la relación de dos parámetros físicos, la calidad de marcha y el estado de la capa de rodadura. Sin embargo, este método no presenta criterios para establecer la calificación del índice del estado del pavimento, el cual se realiza con el juicio del evaluador.

Comparando las cuatro metodologías para calcular las condiciones del pavimento, se puede observar que la metodología más completa es la Pavement Condition Index (PCI), a causa de que posee 7 rangos para calificar, cuenta con 19 patologías para evaluar la capa de rodadura del pavimento y es la más objetiva al asignar la calificación del índice del estado de la superficie del pavimento.

Para el caso en el que se vaya a realizar una inspección rigurosa de la superficie del pavimento se recomienda implementar el método del PCI, mientras que si lo que se quiere es evaluar de una forma ágil y sencilla el estado de la capa de rodadura se sugiere utilizar el método VIZIR y el sistema de evaluación del Departamento de Transporte de Ohio (PCR).

Se logró concluir sobre los resultados obtenidos con la aplicación de las metodologías y se formularon algunas recomendaciones sobre la posible adopción de los otros métodos para la práctica de ingeniería en el país.

7. Referencias

Amaya Camargo, A. F., & Rojas Guavita, E. E. (2017). Análisis comparativo entre metodologías VIZIR y PCI para la auscultación visual de pavimentos flexibles en la ciudad de Bogotá. *[Trabajo de Pregrado]*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.

Aristizábal Parra, A. F., & Dussán Medina, J. E. (2005). Comparación de las Metodologías VIZIR y PCI en la Evaluación de Tramos de Pavimentode las Vías: Manizales – Chinchiná (Pr 39+000 – Pr 44+000) y variante Santa Rosa de Cabal (Pr 00+000 – Pr 03+000). *[Especialización en Vías y Trasnportes]*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.

ASTM International. (2020). *D6433 − 20 "Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys".* EEUU: Copyright © ASTM International.

Cardenas Lemus, D. R., Holguin Rojas, O. F., & Zabala Muñoz, S. J. (2019). Auscultación visual realizada mediante el drone dji phantom 4 pro, con implementación de metodologías VIZIR y PCI para pavimentos flexibles en la Carrera 69b Sur entre la avenida Primera de Mayo y Calle 9 a Sur - barrio Villa Claudia - ciudad Bogotá. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.

Cerón Bermúdez, V. G. (2006). Evaluación y comparación de metodologías vizir y pci sobre el tramo de via en pavimento flexible y rigido de la vía: museo Quimbaya – crq armenia Quindío (pr 00+000 – pr 02+600). *[Especialización en Vías y Trasnporte]*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.

Chan, S., Cui, S., & Lee, S. (2016). Transition from Manual to Automated Pavement Distress Data Collection and Performance Modelling in the Pavement Management System. *Conference of theTransportation Association of Canada*, 01-19.

Consorcio CH AMV Meta. (2021). *Informe mensual de agosto.* Granada .

Consorcio CH AMV Meta. (2021). *Informe trimestral No 5 Ene-Mar 2021.* Granada.

Coy Pineda, O. M. (2017). Evaluación superficial de un pavimento flexible de la Calle 134 entre Carreras 52ª a 53c comparando los métodos VIZIR y PCI. *[Especialización en ingeniería de Pavimentos]*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

Coy Ramirez, S. C. (2016). Diagnóstico de puentes mediante inspección visual de pavimento flexible, con base en la comparación de la metodología PCI (Paviment

Condition Index) y VIZIR. *[Especialización en ingeniería de Pavimentos]*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

García Salazar, D. R., & Silva Castillo, D. A. (2018). Análisis comparativo de metodologías de evaluación VIZIR y PCI (parte b), aplicado a la estructura de pavimento de una vía urbana, en el barrio chicó norte (localidad chapinero). *[Especialización en ingeniería de Pavimentos]*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

Gharaibeh, N., Zou, Y., & Saliminejad, S. (2010). Assessing the Agreement among Pavement Condition Indexes. *Journal of Transportation Engineering, 136*(08), 765-772. doi:10.1061/ASCETE.1943-5436.0000141

Google. (2021). *Google Earth*. Obtenido de https://earth.google.com/

Hoyos G, D. E. (1996). Diseño estrutural de pavimentos para aeropuertos. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina*, 19-32.

Instituto Nacional de Vias. (2008). Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras. Colombia: INVIAS.

INVIAS. (03 de Noviembre de 2020). *Mapa de Carreteras [Sitio Web: https://hermes.invias.gov.co]*. Obtenido de https://hermes.invias.gov.co/carreteras/

LCPC. (Diciembre de 1991). VIZIR, méthode assistée par ordenateur pour l'estimation des besoins. Paris.

Ministry of Transportation. (2016). Manual for Condition Rating of Flexible Pavements. Ontario, Canada: Crown Copyright.

Padilla Martinez, A. C., & Pinto Castro, R. I. (2019). *Análisis de las distintas metodologías de CBR de diseño para el cálculo de espesores en pavimentos flexibles.* Barranquilla: Universidad de la costa.

Peraza García, A. (2016). Evaluación de un tramo de la carretera rural Santa Clara entronque Vuelta aplicando el método "Pavement Condition Index" y los métodos cubanos. *[Trabajo de Pregrado]*. Santa Clara: Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.

Porta Romero, S. Y. (2016). Evaluación y comparación de metodologías Índice de Condición de Pavimentos (PCI) y Visión e Inspección de zonas e Itinerarios en Riesgo (VIZIR) en la avenida mariscal castilla tramo: fundo el porvenir-la victoria . *[Trabajo de Pregrado]*. Huancayo, Peru: Universidad Nacional del Centro de Peru.

Reza, F., Boriboonsomsin, K., & Bazlamit, S. (2006). Development of a Pavement Quality Index for the State of Ohio. *UC Riverside: Center for Environmental Research and Technology*, 01-25. Obtenido de https://escholarship.org/uc/item/3w68q7z6

Riveros Triviño, L. P., & Vega Gaitan, J. S. (2019). Determinar el deterioro del pavimento flexible mediante metodología de auscultación VIZIR y PCI con relación al CBR y la estructura de pavimento. *[Monografía para optar al título de: Ingeniero Civil]*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Rodríguez Parra, A. J. (2001). *Mapa Geologico del Departamento del Meta.* Bogota: Ingeominas.

Sierra Diaz, C. C., & Riveras Quintero, A. F. (2016). Aplicación y comparación de las diferentes metodologías de diagnóstico para la conservación y mantenimiento del tramo PR 00+000 – PR 01+020 de la vía al llano (Dg 78 Bis Sur – Calle 84 Sur) en la UPZ Yomasa. *[Trabajo de Pregrado]*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.

The Ohio Department of Transportation. (April de 2006). Pavement Condition Rating System. Ohio, United States: Columbus.

Topographic-map. (2021). *Topographic-map.com*. Obtenido de https://es-co.topographic-map.com/maps/6elz/Meta/

Valenzuela Rodríguez, J. (1993). Actualización de coeficientes de daño para el diseño de pavimentos flexibles. *[Tesis digital]*. Universidad de Sonora .Departamento de Ingeniería Civil y Minas.

Vásquez Varela, L. R. (Febrero de 2002). *Pavement Condition Index (PCI) Para Pavimentos Asfálticos y de Concretos en Carreteras.* Manizales: Office of Pavement Engineering.

Vásquez Varela, L. R. (2018). UNPCIA2018 - UNPCIC2018. *Software para el cálculo del Índice de Condición del Pavimento de Calles, Carreteras y Estacionamientos*. Universidad Nacional de Colombia.

Vasquez Varela, L. R. (2021). INSTRUCTIVO SOBRE EL MANEJO DEL SOFTWARE UNPCI 2018. Universidad Nacional de Colombia.

A. Anexo: Calificación de las unidades de inspección por cada metodología