



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis:

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL PAVIMENTO
MEDIANTE LA MEDICIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL
PAVIMENTO (PCI) Y EL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL
(IRI) EN LA VÍA PRINCIPAL IZCUCHACA - HUAROCONDO

Presentado por:

Aranibar Centeno, Mary Cielo

Saavedra Blanco, Kiara Chaska

**Para optar al Título Profesional de
Ingeniero Civil.**

Asesor:

Dr. Ing. Víctor Chacón Sánchez

CUSCO – PERÚ

2019



Dedicatoria

A mis padres, que son los que hicieron posible la realización de este logro, que gracias a su apoyo incondicional durante todo el periodo de estudio universitario, han permitido lograr mis metas exitosamente, enseñándome que con esfuerzo, dedicación y sacrificio se puede lograr lo propuesto.

Bach. Mary Cielo Aranibar Centeno

A mis padres, quienes creyeron en mí desde el principio, incluso cuando yo no la hacía y me impulsaron a dar cada paso importante en mi vida; a mi hermana, quien me permite seguir sus pasos y tenerla como mi ejemplo a seguir.

Bach. Kiara Chaska Saavedra Blanco



Agradecimientos

En primer lugar agradezco a Dios por bendecirme en todo aspecto de mi vida y guiarme por el camino correcto en cada paso que doy.

La realización de esta investigación no ha sido sencilla pero gracias a mis padres y hermana quienes son los pilares de mi vida ha sido posible la culminación de la presente tesis que es producto de mucha dedicación y esfuerzo. Agradecer hoy y siempre a mi familia por darme el aliento necesario y motivación para continuar por este camino.

A mis familiares que han estado presente motivándome y brindándome su apoyo incondicional en todo momento para cumplir mis objetivos.

A mi asesor de tesis el Dr. Ing. Víctor Chacón Sánchez por haberme permitido recurrir a su capacidad y conocimiento así como también haber tenido la suficiente paciencia para guiarme en todo el desarrollo de la presente tesis.

A mi casa de estudios, gracias por permitirme formarme integralmente como persona y profesional y en ella gracias a todos aquellos docentes que han sido participe de este proceso, gracias a ustedes quienes compartieron sus conocimientos y fomentaron deseos de superación el cual se ve reflejado en la culminación de esta tesis.

A mis amigas y amigos de universidad que más que amigos les considero familia por estar al lado mío y compartir buenos momentos durante la época universitaria. Así mismo agradecer a la compañera de tesis y amiga con la cual a pesar de las adversidades pudimos culminar esta investigación la cual es un escalón más en nuestra formación profesional.

Bach. Mary Cielo Aranibar Centeno

A Dios por absolutamente todo.

A mi amada familia, por ser mi soporte cada día, por ser el empujón que siempre necesito y estoy segura que necesitaré. Sé que nunca me fallarán ni faltarán.

A mi querido Asesor de Tesis Ing. Víctor Chacón, quien me encaminó con mucha paciencia, mucha voluntad y tanto cariño; se lleva toda mi admiración y aprecio.

A mi compañera de tesis y a mis verdaderos amigos por coincidir en la carrera y haber compartido una gran parte de mi vida, probablemente la mejor.

A quien en mi vida universitaria fue la mejor compañía, amigo y el gran apoyo que necesité para seguir adelante con mi carrera Profesional.

Bach. Kiara Chaska Saavedra Blanco



Resumen

La presente tesis tiene como objetivo determinar el estado actual del pavimento flexible de la vía Izcuchaca – Huarcocondo, aplicando los métodos de Índice de Condición de Pavimento (PCI) y el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Para llevar a cabo esta investigación, se realizó el diagnóstico visual de fallas para las 26 unidades de muestreo aplicando el método del PCI, basado en la norma ASTM D6433 – 07 (Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys). El trabajo de campo de este método consistió en realizar un inventario de fallas, registrando la severidad y la cantidad de las mismas, haciendo uso de instrumentos de medición como odómetro, regla milimétrica, cinta métrica y el catálogo de fallas para pavimentos asfálticos. Por otro lado, se midió la regularidad superficial de la vía utilizando el rugosímetro de Merlín, efectuando 50 ensayos basándonos en la norma ASTM E867 – 06 (Standard Terminology Relating To Vehicle – Pavement Systems). El trabajo de campo de este método, consistió en registrar los datos de elevación y depresión que adopta el puntero en el tablero del Rugosímetro de Merlín. Del estudio realizado se obtuvo un Índice de Condición de Pavimento de 19.5, que demuestra que el pavimento se encuentra dentro de un rango de calificación “muy malo” y un Índice de Rugosidad Internacional de 4.90 m/km y 4.48 m/km para el carril derecho e izquierdo respectivamente, lo cual indica que ambos carriles del pavimento se encuentran dentro de un rango de calificación “malo”. Finalmente como aporte de la tesis se tiene que el tipo de intervención a realizar en esta vía es de reconstrucción, así como también se determinó el índice de serviciabilidad presente en el pavimento (PSI) a partir de los resultados del IRI

Palabras Clave: IRI, PCI, PSI, regularidad superficial, rugosidad, pavimento, fallas en el pavimento



Abstract

This thesis have as an objective determine the current state of the flexible pavement of the Izcuchaca - Huarcocondo road, applying the Pavement Condition Index (PCI) and the International Roughness Index (IRI) methods.

To carry out this investigation, the visual faults diagnosis was performed for the 26 sampling units applying the PCI method based on ASTM D6433 - 07 (Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys). The field work of this method consisted of making an inventory of faults, recording the gravity and the quantity of them, making use of measuring instruments such as odometer, millimeter ruler, measuring tape and the faults catalog for asphalt pavements.

On the other hand, the surface regularity of the track was measured using the Merlin roughness meter, performing 50 tests based on the ASTM E867 - 06 (Standard Terminology Relating To Vehicle - Pavement Systems). The field work of this method consists of recording the modification and depression data adopted by the pointer on the Rugosimeter of Merlin.

A Pavement Condition Index of 19.5 was obtained from the study, which demonstrates that the pavement is within a "very bad" rating range and an International Roughness Index of 4.90 m / km and 4.48 m / km for the lane right and left respectively, which indicates that both pavement lanes are within a "bad" rating range.

Finally, as a contribution of the thesis, the type of intervention to be carried out in this way is reconstruction, as well as the index of serviceability present in the pavement (PSI) based on the results of the IRI.

Keywords: IRI, PCI, PSI, surface regularity, roughness, pavement, pavement failures.



Introducción

La infraestructura vial es considerada como un elemento de gran importancia, ya que, interconecta localidades permitiendo el desarrollo económico y social de estas, así también contribuye en el intercambio de bienes y servicios.

En este entender, los pavimentos son estructuras que para cumplir con su periodo de vida útil necesitan de un adecuado diseño, además deben cumplir con ciertas características mínimas, como ser resistente a cargas, proporcionar una circulación cómoda, eficiente y económica de manera que la transitabilidad sea permanente y segura.

Sin embargo, cualquiera que sea el tipo de pavimento, ya sea flexible, rígido o mixto, es frecuente encontrar en ellos fisuras, depresiones y baches que dificultan el tránsito normal de los vehículos. Esta realidad que se vive es preocupante, pues dificulta tener un viaje seguro y placentero, debido a las innumerables fallas presentes en el pavimento, que lo van deteriorando poco a poco y disminuyendo su serviciabilidad. Por tal motivo, la construcción y el mantenimiento de las vías son temas que requieren total atención, para lo cual es necesario realizar un diagnóstico vial constante.

Es por ello que basándonos en la teoría de evaluación de pavimentos, se realizó la presente investigación, en la que se aplica los métodos PCI (Índice de condición de pavimento) e IRI (Índice de rugosidad internacional), estos dos índices nos darán a conocer el estado actual del pavimento de la vía Izcuchaca – Huarcondo en un periodo de evaluación entre Agosto y Septiembre del presente año 2019. Estos resultados permitirán determinar el tipo de intervención que necesitará la vía y servirá como antecedente para estudios posteriores.



Índice general

Dedicatoria ii

Agradecimientos iii

Resumeniv

Abstract v

Introducción.....vi

Índice generalvii

Índice de tablasxi

Índice de figuras xiii

Capítulo I. Planteamiento del problema 1

 1.1 Identificación del Problema..... 1

 1.1.1 Descripción del Problema 1

 1.1.2 Formulación interrogativa del problema..... 3

 1.2 Justificación e Importancia de la investigación.....4

 1.2.1 Justificación técnica4

 1.2.2 Justificación social.....4

 1.2.3 Justificación por viabilidad4

 1.2.4 Justificación por relevancia5

 1.3 Limitaciones de la Investigación5

 1.4 Objetivos5

 1.4.1 Objetivo general5

 1.4.2 Objetivos específicos5

Capítulo II. Marco Teórico.....7

 2.1 Antecedentes de la tesis7

 2.1.1 Antecedentes a nivel nacional7

 2.1.2 Antecedentes a nivel internacional 12



| | | |
|---------------|---|----|
| 2.2 | Bases teórico – científicas | 16 |
| 2.2.1 | Pavimentos | 16 |
| 2.2.2 | Características que debe reunir un pavimento..... | 16 |
| 2.2.3 | Clasificación de pavimentos..... | 17 |
| 2.2.4 | Pavimento flexible | 18 |
| 2.2.5 | Evaluación de pavimento | 22 |
| 2.2.6 | Índice de condición de pavimento (PCI)..... | 23 |
| 2.2.7 | Índice de rugosidad internacional (IRI) | 49 |
| 2.3 | Hipótesis..... | 67 |
| 2.3.1 | Hipótesis general | 67 |
| 2.3.2 | Sub hipótesis..... | 67 |
| 2.4 | Definición de Variables | 68 |
| 2.4.1 | Variables independientes | 68 |
| 2.4.2 | Variables dependientes | 68 |
| 2.4.3 | Cuadro de operacionalización de variables | 69 |
| Capítulo III. | Metodología | 70 |
| 3.1 | Metodología de la tesis | 70 |
| 3.1.1 | Enfoque de la investigación | 70 |
| 3.1.2 | Nivel o alcance de la investigación | 70 |
| 3.1.3 | Método de investigación | 70 |
| 3.2 | Diseño de la investigación..... | 70 |
| 3.2.1 | Diseño metodológico | 70 |
| 3.2.2 | Diseño de Ingeniería | 71 |
| 3.3 | Población y Muestra | 74 |
| 3.3.1 | Población..... | 74 |
| 3.3.2 | Muestra..... | 74 |
| 3.3.3 | Criterios de Inclusión..... | 75 |



3.4 Instrumentos 75

 3.4.1 Instrumentos metodológicos 75

 3.4.2 Instrumentos de ingeniería 78

3.5 Procedimiento de recolección de datos 78

 3.5.1 Procedimiento de inspección de fallas según el PCI 78

 3.5.2 Ensayo con el Rugosímetro de Merlín..... 85

3.6 Procedimientos de análisis de datos..... 87

 3.6.1 Procedimientos de análisis de datos del PCI 87

 3.6.2 Procedimiento de análisis de datos del IRI 94

Capítulo IV. Resultados..... 99

 4.1 Resumen de resultados de la determinación del Índice de Condición del Pavimento en la vía Izcuchaca – Huarrocondo..... 99

 4.2 Resumen de resultados de la determinación de fallas presentes en el pavimento de la vía Izcuchaca – Huarrocondo 101

 4.3 Resumen de resultados del tipo de falla predominante en la variación del resultado del Índice de Condición del Pavimento (PCI) 104

 4.4 Resultados de la determinación del Índice De rugosidad Internacional e Índice de Serviciabilidad del pavimento..... 104

 4.4.1 Resumen de resultados Carril Derecho 105

 4.4.2 Resumen de resultados Carril Izquierdo 106

Capítulo V. Discusión 109

Glosario 111

Conclusiones..... 112

Recomendaciones 114

Referencias 116

Apéndices. 118

 Apéndice A-1: Toma de datos del PCI, carril derecho 118

 Apéndice A-2: Toma de datos del PCI, carril izquierdo..... 131



| | |
|--|-----|
| Apéndice B-1: Toma de datos del IRI, carril derecho..... | 144 |
| Apéndice B-2: Toma de datos del IRI, carril izquierdo..... | 169 |
| Apéndice C-1: Análisis de datos del PCI, carril derecho..... | 194 |
| Apéndice C-2: Análisis de datos del PCI, carril izquierdo..... | 207 |
| Apéndice D-1: Análisis de datos del IRI, carril derecho..... | 220 |
| Apéndice D-2: Análisis de datos del IRI, carril izquierdo..... | 245 |
| Apéndice E: Panel Fotográfico..... | 270 |
| Anexos..... | 275 |
| Anexo A: Curvas de valor deducido..... | 275 |



Índice de tablas

Tabla 1: Calificación del PCI 25

Tabla 2: Falla piel de cocodrilo 26

Tabla 3: Falla exudación 27

Tabla 4: Falla fisuras en bloque..... 28

Tabla 5: Falla de abultamientos y hundimientos 29

Tabla 6: Falla de corrugación 30

Tabla 7: Falla de depresion 31

Tabla 8: Falla de fisura de borde 32

Tabla 9: Falla de fisura de reflexión de junta 33

Tabla 10: Falla de desnivel carril - berma..... 34

Tabla 11: Falla de fisuras longitudinales y transversales 35

Tabla 12: Falla de parche y parches de cortes utilitarios 36

Tabla 13: Falla de agregado pulido..... 37

Tabla 14: Falla de baches 38

Tabla 15: Falla de ahuellamiento..... 39

Tabla 16: Falla de desplazamiento..... 40

Tabla 17: Falla de fisura parabólica o por deslizamiento 41

Tabla 18: Falla de hinchamiento..... 42

Tabla 19: Falla de peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados..... 43

Tabla 20: Falla de cruce de vía férrea 44

Tabla 21: Tamaño de la muestra..... 45

Tabla 22: Formato para las iteraciones del cálculo del CDV 48

Tabla 23: Estado vial según rugosidad 51

Tabla 24: Escala de serviciabilidad 67

Tabla 25: Operacionalización de variables 69

Tabla 26: Formato de recolección de datos PCI..... 76

Tabla 27: Formato de recolección de Rugosímetro de Merlín 77

Tabla 28: Determinación del número mínimo de unidades de muestreo..... 80

Tabla 29: Toma de datos para el PCI..... 83

Tabla 30: Toma de datos para el IRI..... 86

Tabla 31: Procedimiento para el cálculo de la sumatoria total por cada tipo de falla 87

Tabla 32: Procedimiento para el cálculo de la densidad por cada tipo de falla 88



Tabla 33: Cálculo del valor deducido para cada tipo de falla 89

Tabla 34: Reducción de los valores deducidos individuales al máximo admisible de valores deducidos “m” 90

Tabla 35: Máximo valor deducido corregido 91

Tabla 36: Estado del pavimento según el PCI 92

Tabla 37: Escala de calificación del PCI..... 92

Tabla 38: Procesamiento de datos del PCI..... 93

Tabla 39: Cuadro de repeticiones 94

Tabla 40: Estado Vial según Rugosidad 97

Tabla 41: Procesamiento de datos del IRI..... 98

Tabla 42: Resumen de resultados de Índice de Condición de Pavimento – PCI carril derecho 99

Tabla 43: Resumen de resultados de Índice de Condición de Pavimento – PCI carril izquierdo..... 100

Tabla 44: Índice de Condición de Pavimento de la vía Izcuchaca – Huarrocondo100

Tabla 45: Calificación del estado del pavimento..... 100

Tabla 46: Cantidad de fallas encontradas en el carril derecho 101

Tabla 47: Cantidad de fallas encontradas en el carril izquierdo..... 102

Tabla 48: Cantidad de fallas encontradas e la vía..... 103

Tabla 49: Resumen del tipo de falla con mayor valor deducido 104

Tabla 50: Resumen de resultados del IRI y PSI del carril derecho;**Error! Marcador no definido.**105

Tabla 51: Resumen de resultados del IRI y PSI del carril izquierdo..... 106

Tabla 52: IRI característico del carril derecho 107

Tabla 53: PSI carril derecho 107

Tabla 54: IRI característico del carril izquierdo 108

Tabla 55: PSI carril izquierdo..... 108



Índice de figuras

Figura 1: Sección de pavimento flexible.....17

Figura 2: Sección de Pavimento Semirrígido18

Figura 3: Sección de Pavimento Rígido.....18

Figura 4: Distribución típica de la estructura del Pavimento21

Figura 5: Índice de Condición del Pavimento (PCI) y Escala de Graduación.24

Figura 6: Ajuste del número del valor deducido47

Figura 7: Valor Deducido Corregido para pavimentos asfálticos48

Figura 8: Representación gráfica del modelo “cuarto de carro”50

Figura 9: Escala de valores del IRI y las características de los pavimentos.51

Figura 10: Perfilómetro laser55

Figura 11: Walking Profiler56

Figura 12: Rugosímetro Merlín56

Figura 13: Perfilógrafo California57

Figura 14: Bump Integrator.....58

Figura 15: Roughometer II.....59

Figura 16: Rugosímetro Merlín60

Figura 17: Escala para determinar la dispersión de las desviaciones de la superficie de pavimento respecto del nivel de referencia o cuerda promedio61

Figura 18: Medición de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto de la cuerda promedio.....62

Figura 19: Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva.....63

Figura 20: Falla piel de cocodrilo84

Figura 21: Falla piel de cocodrilo.....84

Figura 22: Falla fisura longitudinal de severidad media 84

Figura 23: Falla peladura severidad media84

Figura 24: Valores Deducidos para pavimentos Asfálticos. Piel de Cocodrilo88

Figura 25: Valor de deducción corregido, pavimentos asfálticos, metodología PCI91

Figura 26: Histograma de Distribución de Frecuencias.....94

Figura 27: Descarte de datos poco representativos.....95

Figura 28 : % De fallas encontradas en el carril derecho 101



Figura 29: % De fallas encontradas en el carril izquierdo 102

Figura 30: % de fallas encontradas en la vía 103

Figura 31: IRI característico e IRI promedio del carril derecho..... 105

Figura 32: IRI característico e IRI promedio del carril izquierdo. 106



Capítulo I. Planteamiento del problema

1.1 Identificación del Problema

1.1.1 Descripción del Problema

El pavimento tiene un diseño y periodo de vida útil determinado, por lo que las fallas están previstas al término de ésta. Esto expresa que durante el periodo de vida de la estructura, ésta iniciará un proceso de deterioro, de tal forma que al final de su vida útil presentará un conjunto de fallas que disminuirán la calidad de rodaje y en consecuencia aumentarán los costos de los usuarios y los costos de mantenimiento.

Existen distintos factores que originan fallas en el pavimento antes de cumplir su vida útil, estas fallas podrían ser el resultado de un diseño inadecuado del paquete estructural, de errores constructivos, de mala calidad en los materiales, de un deficiente sistema de drenaje, agentes climáticos, entre otros.

La vía Izcuchaca – Huarucondo, según el Expediente Técnico, fue construida hace muchos años, como antecedentes se cuenta con la siguiente información: El Distrito de Huarucondo contaba con una vía carrozable desde Izcuchaca, la cual presentaba un deterioro a falta de mantenimientos adecuados y continuos, por lo que las autoridades del Distrito de Huarucondo pidieron la elaboración del expediente técnico de la carretera Izcuchaca - Huarucondo, este expediente consideraba la construcción de dicha carretera en una longitud de 10 .40 km para un ancho de superficie de rodadura de 6.00 mts para un espesor $e = 0.05$ m de carpeta asfáltica en caliente (PEN 85-100) y tratamiento superficial monocapa en bermas cuyo ancho es de 1.20 mts en ambos lados de la vía. En relación a la capa de base, está compuesta por un material seleccionado de cantera previa evaluación técnica de $e=0.20$ mts. De la misma forma se compone de una sub base granular de $e= 0. 30$ mts.

A raíz de los años de servicio de la vía y el aumento de las cargas de transito existentes, se dispone que se inicien con los estudios para el mejoramiento de la carretera que une los poblados de Izcuchaca y Huarucondo a cargo de El Proyecto Especial Regional Plan COPESCO, para dicho fin se proyectó la ejecución de la obra en dos etapas, la primera se inició en el año 1995, y la segunda hasta culminar



la meta en el año 1996 siendo el 01 de marzo del año 1995 el primer día de inicio de los trabajos de ejecución de la primera parte de la obra y la obra culmina en Diciembre del 1996.

El mejoramiento consistió en la conformación de terraplenes a nivel de subrasante a lo largo de 10.38 km, en lo concerniente a la estructura del pavimento se realizó la conformación de sub-base con un espesor de 0.15 mts, la imprimación se efectuó con un ancho de 6.20 mts y la colocación de carpeta asfáltica en un espesor compactado de 5 cm y la conformación de la base con un espesor de 0.15 mts.

Según información recopilada de la Dirección de Transportes y Comunicaciones Cusco, la vía tuvo mantenimientos rutinarios manuales desde su mejoramiento hasta el año 2011; además, según Decreto de Urgencia N° 058 -2011 la vía forma parte de los tramos priorizados para el mantenimiento de estructura vial de vías Departamentales a nivel Nacional, este mantenimiento está a cargo del Gobierno Regional y financiado por PROVÍAS, no obstante, a la fecha la vía no ha sido intervenida con ningún tipo de mantenimiento.

El presente estudio se realiza en la vía Izcuchaca – Huarcocondo, la cual es una vía Departamental con código CU – 110 y considerada como una vía de suma importancia.

En relación al estado actual, la vía Izcuchaca – Huarcocondo consta de una longitud $L=10.40$ km y un ancho de 6.10 m en tramos rectos y hasta 6.90 m en curvas. Esta vía presenta fallas, entre ellas agrietamientos superficiales, piel de cocodrilo, fisuras en bloque, irregularidad superficial y hundimientos que son visibles, todo ello afecta en la transitabilidad normal, reduce el nivel de servicio y la capacidad de soportar futuras cargas de tránsito.

Lo correcto es detectar y evaluar los daños en el pavimento con anticipación, de forma que las acciones correspondan a trabajos de conservación o reparaciones menores y no de renovación, de esta manera se ahorra dinero y recursos puesto que el costo de mantenimiento de una vía es menor al costo de reparación de ésta. Todo esto motiva e impulsa el desarrollo de esta investigación.

Para evaluar y conocer el estado real en el que se encuentra la vía Izcuchaca – Huarcocondo existen diferentes métodos de evaluación superficial entre los cuales



está el Método PCI (Índice de condición de pavimento) y el IRI (Índice de regularidad internacional), éstos fueron estudiados y aplicados en la presente tesis.

El método PCI consiste en la determinación de la condición de la superficie del pavimento a través de la identificación, cuantificación y evaluación del nivel de incidencia de las fallas y daños observados. El PCI es un índice numérico, que varía de 0 para pavimento fallados, a 100 para pavimentos en perfectas condiciones.

El método IRI consiste en la evaluación de la regularidad superficial de una vía, el confort y seguridad para los usuarios.

1.1.2 Formulación interrogativa del problema

1.1.2.1 *Formulación interrogativa del problema general.*

¿Cuál es el estado actual del pavimento mediante la medición del índice de condición de pavimento (PCI) y el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en la vía Izcuchaca - Huarrocondo.?

1.1.2.2 *Formulación interrogativa de los problemas específicos.*

Problema específico N° 01.

¿Cuál es el Índice de Condición de Pavimento (PCI) en la vía Izcuchaca – Huarrocondo?

Problema específico N° 02.

¿Cuál es el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en la vía Izcuchaca – Huarrocondo?

Problema específico N° 03.

¿Cuál es el tipo de falla predominante en la vía Izcuchaca – Huarrocondo?

Problema específico N° 04.

¿Cuál es el tipo de falla predominante en la variación del resultado del Índice de Condición de Pavimento (PCI) en la vía Izcuchaca – Huarrocondo?



Problema específico N° 05.

¿Cómo se presenta la regularidad superficial en ambos carriles en la vía Izcuchaca – Huarcocondo?

1.2 Justificación e Importancia de la investigación

1.2.1 Justificación técnica

Esta investigación tiene como finalidad la determinación del estado actual del pavimento, de manera que nos permitirá establecer medidas preventivas para evitar el surgimiento de fallas de carácter más severo y medidas correctivas para mantener la infraestructura vial en condiciones óptimas para su transitabilidad

El diagnóstico del estado de la vía Izcuchaca – Huarcocondo brinda argumentos técnicos que justifican oportunas intervenciones viales como el mantenimiento rutinario y evitando así futuras decisiones correctivas costosas.

1.2.2 Justificación social

La presente investigación es de gran beneficio, pues la utilidad y aplicabilidad de los resultados de esta, beneficiará a los estudiantes, transportistas, personas y público en general que transita en esta vía. Sin duda es de interés para los entes que velan por preservar las vías de comunicación, como también para las autoridades, gobiernos locales y para los ingenieros encargados de mantenimiento y construcción de la red vial de Cusco, los cuales deben contar con información actualizada de la situación de sus vías de a intervenir.

1.2.3 Justificación por viabilidad

La realización de esta investigación es viable pues se cuenta con acceso a la información acerca de los métodos a desarrollar y existe la bibliografía necesaria para poder informarnos y aplicar los métodos de investigación en el tramo en estudio. Por otro lado, se tiene acceso a la zona de estudio, permitiendo la recopilación de datos necesarios para la investigación. Por último, los gastos que conlleva la elaboración de la presente tesis, será solventado por los investigadores.



1.2.4 Justificación por relevancia

El descubrimiento, implementación y aplicación de nuevas tecnologías y métodos, además de dar soluciones a problemas urbanos, son importantes en el desarrollo de una ciudad; por lo que, la evaluación de pavimentos es un tema de mucha relevancia ya que el conocimiento de las fallas existentes e irregularidades presentes en el pavimento se debería tomar en cuenta en los futuros proyectos optimizando el uso de recursos, planteando soluciones no costosas que cumplan con estándares de diseño y permita prevenir el deterioro de las vías.

1.3 Limitaciones de la Investigación

- El estudio abarca únicamente pavimentos flexibles.
- La evaluación de la vía es únicamente de la carpeta de rodadura, no se estudió el ámbito estructural.
- Esta investigación se basó en la normativa ASTM D6433 para el PCI y ASTM E867 para el IRI
- Para la evaluación de Rugosidad de Pavimento, se utilizará el equipo llamado Rugosímetro Merlín.
- El procedimiento de recolección de datos para el método IRI se realizó en un tiempo de 5 días con 7 horas de trabajo por día, de la misma forma para el método PCI la recolección se realizó en un tiempo de 4 días con 7 horas de trabajo por día.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar el estado actual del pavimento mediante la medición del Índice de Condición de Pavimento (PCI) y el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en la vía Izcuchaca - Huarcondo.

1.4.2 Objetivos específicos

Objetivo específico N° 01

Determinar el Índice de Condición de Pavimento (PCI) en la vía Izcuchaca – Huarcondo.



Objetivo específico N° 02

Determinar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en la vía Izcuchaca – Huarocondo.

Objetivo específico N° 03

Determinar el tipo de falla predominante en la vía Izcuchaca – Huarocondo.

Objetivo específico N° 04

Determinar el tipo de falla predominante en la variación del resultado del Índice de Condición de Pavimento (PCI) en la vía Izcuchaca – Huarocondo.

Objetivo específico N° 05

Comparar la regularidad superficial en ambos carriles de la vía Izcuchaca – Huarocondo.



Capítulo II. Marco Teórico

2.1 Antecedentes de la tesis

2.1.1 Antecedentes a nivel nacional

Rodríguez, Edgar (2009) de la Universidad de Piura, en su tesis “Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis montero, distrito de castilla.” indicó lo siguiente en su resumen y en sus conclusiones. La tesis en mención tiene como objetivo aplicar el método PCI para determinar el Índice de Condición de Pavimento en la Av. Luis Montero. Mil doscientos metros lineales de pista han sido estudiados a detalle para identificar las fallas existentes y cuantificar el estado de la vía.

La tesis se ha dividido en cinco capítulos. El primero es el marco teórico, donde se define el concepto de pavimento, su clasificación y se explica la problemática que se vive en Piura. El segundo capítulo trata de las fallas más comunes que afectan a los pavimentos urbanos flexibles.

En el tercero, se explica el procedimiento del método: el muestreo de unidades, el cálculo del PCI, los criterios de inspección, etc. En el capítulo cuatro, se describe la zona de estudio y se detalla el procedimiento de inspección realizado.

En el último capítulo se presentan las hojas de registro, con el respectivo cálculo del índice de condición de pavimento para cada unidad de muestra analizada. Se concluye que la Av. Luis Montero tiene un pavimento de estado regular, con un PCI ponderado igual a 49. Esta condición del pavimento se debe gracias a las obras de reparación realizadas el año 2008 que han aminorado la formación de fallas estructurales, dañinas para el pavimento. La mayoría de fallas fueron fallas de tipo funcional, que no afectan al tránsito normal de vehículos, no es necesario disminuir la velocidad libre y no son percibidas por el conductor, pues no causan daños estructurales.

Finalmente, aunque no es objetivo de la tesis, se han recomendado algunas técnicas de reparación, de acuerdo a las fallas detectadas, para restituir la carretera a su estado original.



Conclusiones

- Se ha determinado el estado en que se encuentra la red de pavimento flexible de la Av. Luis Montero, que consta de dos tramos de 600 metros lineales cada uno (de acuerdo a los dos sentidos de vía existentes). El tramo 1 se divide en 3 secciones, mientras que el tramo 2 tiene una sola sección.
- Se inspeccionaron un total de 32 unidades de muestra (16 por tramo) obteniendo los siguientes resultados (ver gráfico 5.1): El 37% del total de unidades de muestra inspeccionadas presentan un estado de pavimento regular (PCI entre 40 y 55); después le sigue un 33% de unidades en buen estado (PCI entre 55 y 70); un 15%, en estado malo (PCI entre 25 y 40) y un 9% de muy mala condición (PCI entre 10 y 25). Finalmente, un 6% hace referencia a unidades de muestra con un pavimento de muy buen estado (PCI entre 70 y 85). No se encontraron pavimentos fallados (PCI entre 0 y 10) ni excelentes (PCI entre 85 y 100).
- El estado del pavimento de cada unidad de muestra, define la condición del pavimento de las secciones y de los tramos. Las secciones 1 y 4, obtuvieron un PCI de 51 y 43 respectivamente, lo que corresponde a un estado regular. Las demás secciones alcanzaron un PCI de 60 (sección 2) y 56 (sección 3), que quiere decir un pavimento de condición buena.
- Agrupando los resultados en tramos, el tramo 1 (U1 - U16) presenta un PCI de 56, pavimento bueno; y el tramo 2 (U17-U32), un PCI de 43, pavimento regular.
- Finalmente, tomando todas las unidades de muestra sin distinción de tramos, se calcula el PCI ponderado de los 1200 metros de la Av. Luis Montero, resultado igual a 49, es decir, que el estado real del pavimento de la vía analizada, es regular.
- Esta condición del pavimento se debe gracias a las obras de reparación realizadas el año 2008 (bacheos y riego de liga en determinadas áreas) que han aminorado la formación de fallas como fisuras, baches, depresiones, etc. mejorado la calidad del pavimento. Esto también ayudó a que no se registraran fallas como piel de cocodrilo, que suelen ser muy dañinas para el pavimento.



- Las fallas más frecuentes encontradas son la peladura y la corrugación, ambas de nivel de severidad bajo. Todas las 32 unidades de muestra presentaron estos dos tipos de falla, pero con densidades variables.
- Esto ayudó a que el PCI tenga un estado regular porque estas fallas no afectan al tránsito normal de vehículos. Las vibraciones dentro del vehículo son mínimas y no es necesario disminuir la velocidad. La peladura y la corrugación, no son percibidas por el conductor, pues no causa incomodidad.
- A mayor valor deducido, mayor es el daño que las fallas producen al pavimento pues este valor indica el grado en que cada combinación de deterioro, nivel de severidad y cantidad, afectan a la condición del mismo. Por el contrario, un valor deducido de cero, quiere decir que el tamaño de la falla dentro de la unidad de muestra es despreciable, o muy pequeña como para ejercer un daño significativo al área de estudio.
- Los baches de mediana severidad de la unidad de muestra U25, originan el máximo valor deducido registrado de 61.7. Le siguen los baches de severidad alta de las unidades U14 y U20, con un valor deducido de 49.9. Por último, en la unidad de muestra U7, la depresión de mediana severidad tiene un valor deducido de 42.5 y de igual manera es una de las tres fallas que más afecta al pavimento.
- Las densidades más bajas registradas fueron de los parches de baja severidad localizados en las unidades de muestra U7, U9 con valores de 0.004% y U3 con 0.005%. Además, con densidades de 0.01% se encontraron desplazamientos y fisuras parabólicas ambas de baja severidad, en las unidades U3 y U15 respectivamente.
- En aquellas unidades de muestra donde se encontraron fallas estructurales (tales como baches, todo tipo de fisuras, depresiones y parches) con densidades mayores a 0.1% como mínimo, el valor del PCI obtenido fue bajo, es decir, el estado del pavimento era malo. No importa el nivel de severidad que tenga, incluso un nivel bajo causa un daño significativo a la pista. Este tipo de fallas afectan tanto a la estructura del pavimento (capas del paquete estructural) como a la serviciabilidad del mismo, pues el usuario no se siente cómodo ni seguro, al transitar sobre el pavimento deteriorado.



Montoya, Jorge (2013) de la Universidad de Piura, en su tesis “Análisis del IRI para un proyecto de carretera sinuosa concesionada en el Perú” presentó el siguiente resumen y conclusiones:

La presente tesis resume el análisis del IRI en un proyecto, a partir del cual se propone un mecanismo para la determinación de tolerancias en el control de la rugosidad media deslizante establecido en el contrato de las concesiones viales, aprovechando la información disponible reportada de campo durante la ejecución de una rehabilitación de carretera. Para tal objetivo, se planteó como estrategia, relacionar el IRI de diseño de la vía con los datos geométricos de la misma vía en una determinada longitud del tramo vial, y así poder exportarlos a toda la red vial nacional asfaltada mediante la utilización de los datos de geometría y pendiente levantados en el inventario vial del año 2004. Dicha relación generaría una tolerancia que podría ser incluida al control de recepción o nivel de servicio de rugosidad media deslizante establecida en los contratos de concesión. Como parte de la investigación, se analizan los efectos que la implementación de dicha propuesta puedan generar en el equilibrio económico dentro del marco de los contratos de concesión, analizando también los probables costos y beneficios que puedan generarse, tanto para los usuarios como para los concesionarios. Asimismo, se desarrolla la metodología detallada utilizada para la obtención de los valores IRI de diseños a partir de la información de campo disponible, reportada durante la ejecución de una rehabilitación de carretera, así como la obtención de los datos a utilizar para representar la geometría de la vía, y finalmente, describen el procedimiento del mecanismo para la determinación de tolerancias en el control de la rugosidad media deslizante

Conclusiones:

- La presente tesis relata el análisis del IRI en un proyecto, a partir del cual se propone un mecanismo para la determinación de tolerancias en el control de la rugosidad media deslizante establecido en el contrato de las concesiones viales, aprovechando la información disponible reportada de campo durante la ejecución de una rehabilitación de carretera.
- En ese sentido, queda establecido que según lo analizado en la presente tesis, para las vías de penetración de nuestro país, el parámetro que influye más en



el valor del IRI es la curvatura horizontal; debido a que en esta hay cuatro cambios de pendiente claramente identificables a comparación de la curva vertical, en la que hay solamente 3 cambios. Asimismo, la cantidad de curvas horizontales, las cuales están en mucha mayor frecuencia que las curvas verticales.

- Luego del análisis del grado de relación entre el valor de IRI de Diseño y el grado de curvatura se puede concluir que existe una tendencia entre ambas variables. Sin embargo se puede concluir que en caso se requiera mayor grado de relación, es necesario invertir para generar planos de los diseños de las vías que puedan proveer de valores reales de diseño, lo cual no se logró con la presente tesis, la cual partió de un modelo digital de terreno obtenido de un levantamiento topográfico de la superficie de una vía existente.
- En el marco de los contratos de concesión, dicha ecuación obtenida que relaciona el grado de curvatura con el IRI de diseño puede ser aplicable como es el caso aplicado al umbral admisible como un valor porcentual dentro del cuadro de control de parámetros y serviciabilidad o niveles de servicio de forma similar a como han sido asignados en algunos de los contratos de concesión vigentes mencionados anteriormente (ver cuadro 1.5) Asimismo, se analizó y verificó la nula posibilidad en que la implementación de estas tolerancias pueda afectar el equilibrio económico dentro del marco del contrato de concesión. De esta forma, tanto el concesionario como los usuarios no se verán afectados debido a que según lo analizado, no se generarán ni beneficios y costos para ninguno de los involucrados.
- Dentro del marco de los controles de recepción de las obras, como en otros países esta metodología se puede aplicar para promover la importación de mejores procedimientos constructivos que faciliten mejores resultados de IRI, recompensando al constructor por obtener resultados por debajo del control receptivo, y penalizando a este último en caso obtengan resultados por encima del valor de control receptivo. En tal sentido, la inversión que las entidades públicas y privadas puedan realizar para obtener un verdadero perfil de diseño aunado a la metodología de cálculo de la línea de tendencia es vital para conocer la verdadera tendencia del valor de IRI de diseño en relación al grado de curvatura horizontal de las vías de penetración. Para este caso es importante identificar los valores de rugosidad asociados a la influencia de la



geometría con el fin de reconocer los valores asociados directamente a la calidad constructiva y evitar penalizaciones por causas no imputables a los constructores. Asimismo, este mecanismo puede ser aplicado también para reconocer el efecto de la influencia de los aspectos asociados a la geometría del trazo o a las singularidades en la vía puede generar que los agentes involucrados en las obras (supervisor y constructor) asocien directamente el valor del resultado a la calidad constructiva de la intervención, corriendo el riesgo de volver a ejecutar nuevamente intervenciones con el fin de alcanzar el valor contractual requerido pensando que de esta forma pueda llegar a subsanarse la observación, generando así una doble inversión injustificada que inclusive pueda no llegar a reducir en algo el valor de rugosidad luego de la primera intervención.

- Finalmente, el conocer la verdadera relación entre los valores de IRI de diseño y la geometría de la vía, nos ayudará a mejorar la lógica en el establecimiento de las exigencias técnicas en los términos de referencia de futuras concesiones viales y expedientes técnicos para caminos nuevos pavimentados.

2.1.2 Antecedentes a nivel internacional

Onofre, Juan; Sánchez, Julio; Santiago, Walter (2008) de la Universidad de El Salvador – El Salvador en su tesis “Determinación del índice de rugosidad internacional de pavimento usando el Perfilómetro Romdas Z-250” presentó el siguiente resumen y conclusiones:

La tesis consultada tiene por nombre: determinación del índice de rugosidad internacional usan el Perfilómetro Romdas Z-250, trata sobre el estudio de la regularidad superficial de los pavimentos específicamente los de concreto asfáltico; además se profundiza en la nivelación, calibración y puesta en marcha del equipo Romdas Z-250, para la recolección de datos que se usaran en la obtención del índice de rugosidad internacional (IRI), el cual se determina con la ayuda de programas de análisis de perfiles de rodadura.

La tesis cuenta con cuatro capítulos, los cuales se desarrollan de la manera siguiente: el capítulo uno contiene información de la serviciabilidad de los pavimentos, planteamiento del problema, objetivos, alcances, limitaciones y justificaciones.



El capítulo dos son generalidades, describe aspectos importantes sobre los tipos de perfilómetros y clasificación de los mismos dependiendo de la precisión en la toma de datos. Además trata sobre el inicio y desarrollo del concepto índice de rugosidad internacional.

El capítulo tres trata sobre la determinación en sí de la rugosidad del pavimento, en este capítulo se detallan los componentes del sistema Romdas Z-250, su ensamblaje y manejo en campo para una adecuada toma de datos, posteriormente se presentan los programas de computación con los que se analiza los perfiles de las carreteras medidas, para luego finalizar con la presentación de los resultados obtenidos en las dos carreteras seleccionadas.

Y en capítulo cuatro contiene los que son las Conclusiones y recomendaciones.

Conclusiones:

- Con el dato obtenido en el tramo del pavimento en uso del boulevard Luis poma que fue de 2.68 m/km. Y con el de la carretera a Santa Ana que fue de 1.87 m/km. Se concluye que ambas carreteras se encuentran en excelentes condiciones para el tránsito vehicular, esto de acuerdo a la escala es estimación de la rugosidad de carreteras de la norma ASTM E-1926-98 en la cual se menciona que permite un manejo confortable arriba de 120km/h.
- El Perfilometro ROMDAS Z-250, es un equipo que permite hacer mediciones del perfil con gran precisión de 0.1 mm, lo cual lo convierte en un Perfilometro de clase 1, lo que garantiza obtener valores del IRI bastante precisos.
- Se ha determinado que el rendimiento del equipo Romdas Z-250 es de 100 metros en una hora, es decir que para completar la medición de un carril de 100 metros se necesita dos horas para ambos carriles, esto puede variar dependiendo de la destreza de los operadores.
- Para obtener un valor representativo de IRI se toman ramos de carretera de 200 a 300 metros.

Cote, Gina; Villalba, Lina (2010) de la Universidad de Cartagena – Colombia en su tesis “Índice de condición del pavimento rígido en la ciudad de Cartagena de Indias y medidas de conservación. Caso de estudio: Carrera 1era del Barrio Bocagrande” presentó el siguiente resumen y conclusiones:



Este proyecto tiene como objetivo establecer el estado actual del pavimento de la avenida el Malecón (carrera 1ra) del barrio Bocagrande, mediante la metodología del Índice de Condición del Pavimento (PCI), con el fin de proponer la mejor alternativa de solución técnico-económica a la falla que le produce mayor grado de afectación. Se consideró necesario realizar el estudio de daños debido a la importancia e inconvenientes que presenta la vía, basado en la norma ASTM D-6433 07, se identificó la clase, severidad y cantidad de fallas en las unidades de muestra seleccionadas, se llevó a cabo una inspección visual detallada y registro fotográfico, también, se midió la resistencia mecánica del pavimento mediante el ensayo con esclerómetro. En general, el 65% de las unidades estudiadas posee un estado “Regular”, un 25% “Malo” y el 10% restante “Bueno”, por lo que la avenida El Malecón obtuvo un PCI promedio de 44.4%, equivalente a un estado “Regular”. A manera de resumen, los daños que más afectan a la vía son desconchamiento/mapa de grietas/craquelado de severidad media presente en el 70% del área de estudio, y en menores porcentajes están Punzonamiento de alta severidad, Losa dividida de severidad media, Grieta lineal de alta severidad, Escala de baja severidad, y Grieta de esquina de baja severidad, además, los valores arrojados en el ensayo de resistencia fueron positivos ya que estuvieron por encima del valor mínimo permitido, por esto es poco probable que las fallas presentadas sean consecuencia de este parámetro, finalmente, las alternativas de solución planteadas fueron sellado de grietas y juntas, reparación de todo el espesor de la losa, reemplazo de losa y cepillado de la superficie, siendo la primera las más viable en términos económicos y técnicos, ya que con un costo total de \$11'737.720 mejora 11.046,4 metros lineales de fallas.

Conclusiones:

- El pavimento de la avenida El Malecón obtuvo un valor de PCI= 44.4%, dentro de la escala de clasificación establecida en la norma ASTM D-6433 07, corresponde a un estado “Regular”. De las losas estudiadas el 65% presentó un estado “Regular”, un 25% “Malo” y un 10% “Bueno”. Las unidades de muestreo con un estado más desfavorable (“Malo”) son 1, 4, 6, 8 y 9 con valores de PCI iguales a 32%, 30%, 37%, 32% y 36% respectivamente, y las unidades en mejores condiciones (“Bueno”) son 17 y 20, con un PCI de 56% y 63.02%, respectivamente.



- Las fallas que más afectan la vía, con base en el mayor valor deducido de daño, son desconchamiento/mapa de grietas/craquelado de severidad media, Punzonamiento de alta severidad, Losa dividida de severidad media, Grieta lineal de alta severidad, Escala de baja severidad, y por ultimo Grieta de esquina de baja severidad, de las cuales la primera tuvo mayor reiteración.
- El daño desconchamiento/mapa de grietas/craquelado de media severidad se presentó en un 70% del tramo estudiado debido al efecto abrasivo del tránsito, deficiente calidad de los materiales, uso de agregados expansivos e intervenciones hechas sin cumplir las especificaciones técnicas. Este daño se agrava con la presencia de agua y arena por estar junto a la playa de Bocagrande. Sin embargo, por su severidad, no requiere de una intervención inmediata.
- Las grietas presentes en el tramo de estudio son en su mayoría transversales, generadas principalmente por el problema de esbeltez en algunas losas, cuyas dimensiones promedio son de 5.3 m de largo por 3.7 m de ancho, otra causa son las cargas excesivas del tránsito presentes en esta vía.
- La falla pulimiento de agregados se presentó en el 96.5% de la vía de estudio, a pesar de ello no fue relevante ya que su máximo valor deducido es bajo en comparación con otros daños (Max VD=10), además no afecta estructuralmente el pavimento.
- En lo que respecta a la resistencia mecánica, determinada mediante el ensayo con el esclerómetro, todas las unidades ensayadas arrojaron un valor superior al valor mínimo permitido, 3500 PSI a la compresión y 525 PSI a la flexión, es decir, es poco probable que las fallas presentadas sean consecuencia de este parámetro.
- Las alternativas de solución propuestas para reparar los daños que más afectan la estructura son sellado de grietas y juntas, reparación de todo el espesor de la losa, reemplazo de losa y cepillado de la superficie. Sin embargo, solo se realizó el presupuesto para las dos primeras medidas, dado que no se consideró necesario aplicar en la vía un reemplazo de losa ya que actualmente el pavimento aun cuenta con vida útil, así mismo la actividad de fresado es infructuosa puesto que soluciona únicamente el daño de escala.
- Finalmente, la solución más viable económica y técnicamente es “sellado de grietas y juntas”, debido a que se estimó un costo total de \$11'737.720, para



la reparación de 11.046,4 metros lineales de grietas y juntas, siendo estas las fallas que se deben reparar con prioridad, ya que tienen una alta influencia en el estado actual de la vía por su cantidad y severidad.

2.2 Bases teórico – científicas

2.2.1 Pavimentos

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmite durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento (Montejo, 2006).

Para el (MTC, 2013) los pavimentos están conformados por las siguientes capas:

- **Capa de rodadura:** Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento Portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito.
- **Base:** Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como función principal de sostener, distribuir y transmitir cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante (CBR > 80%) o será tratada con asfalto, cal o cemento.
- **Subbase:** Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Esta capa puede ser de material granular (CBR > 40%) o tratado con cal, asfalto o cemento.

2.2.2 Características que debe reunir un pavimento

Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos:

- Ofrecer resistencia ante la acción de cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- Presentar una textura superficial aceptable a las velocidades previstas del tránsito.

- Presentar una resistencia al desgaste abrasivo de las llantas.
- Debe presentar regularidad superficial tanto transversal como longitudinalmente, tal que permita la comodidad a los usuarios.
- Presentar comportamiento aceptable respecto al drenaje y sub drenaje.
- Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, a fin de salvaguardar al usuario.
- El ruido generado por la fricción entre las llantas contra el pavimento debe ser tal que no perturbe el sentido auditivo del usuario (Montejo, 2006).

2.2.3 Clasificación de pavimentos

Los tipos de pavimento incluidos en el Manual de Carreteras son los siguientes:

- a) **Pavimentos Flexibles:** El pavimento flexible es una estructura compuesta por capas granulares (subbase, base) y como capa de rodadura una carpeta constituida con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos. Principalmente se considera como capa de rodadura asfáltica sobre capas granulares: mortero asfáltico, tratamiento superficial bicapa, micropavimentos, macadam asfáltico, mezclas asfálticas en frío y mezclas asfálticas en caliente (MTC, 2013).

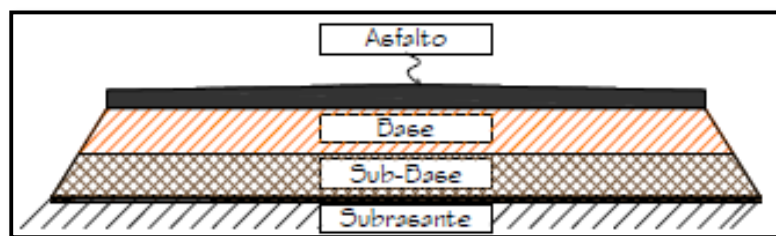


Figura 1: Sección de pavimento flexible
Fuente: (Armijos, 2009)

- b) **Pavimentos Semirrígidos:** El pavimento semirrígido es una estructura de pavimento compuesta básicamente por capas asfálticas con un espesor total bituminoso (carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con asfalto); también se considera como pavimento semirrígido la estructura compuesta por carpeta asfáltica sobre base tratada con cemento o sobre base tratada con cal. Dentro del tipo de pavimento semirrígido se ha incluido los pavimentos adoquinados (MTC, 2013).

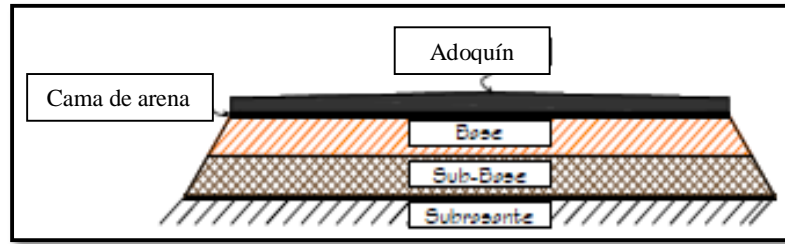


Figura 2: Sección de Pavimento Semirrígido
Fuente: (Armijos, 2009)

c) **Pavimentos Rígidos:** El pavimento rígido es una estructura de pavimento compuesta específicamente por una capa de subbase granular, no obstante esta capa puede ser de base granular, o puede ser estabilizada con cemento, asfalto o cal, y una capa de rodadura de losa de concreto de cemento hidráulico como aglomerante, agregados y de ser el caso aditivo. Dentro de los pavimentos rígidos existen tres categorías:

- Pavimento de concreto simple con juntas
- Pavimento de concreto con juntas y refuerzo de acero en forma de fibras o mallas
- Pavimento de concreto con refuerzo continuo (MTC, 2013).

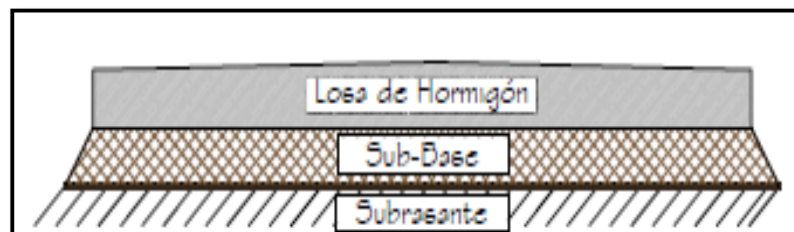


Figura 3: Sección de Pavimento Rígido.
Fuente: (Armijos, 2009)

2.2.4 Pavimento flexible

Como se vio en la definición de pavimentos, los pavimentos flexibles están constituidos por las siguientes capas: carpeta asfáltica, base, sub base y sub rasante. A continuación, se explica a detalle cada uno de estos elementos.

Carpeta asfáltica

La carpeta asfáltica es la capa que se coloca en la parte superior del paquete estructural, sobre la base, y es la que le proporciona la superficie de rodamiento a la vía.



La carpeta debe proporcionar al pavimento flexible una superficie de rodamiento estable, capaz de resistir la ampliación directa de las cargas, la fricción de las llantas, los esfuerzos de drenaje, los producidos por las fuerzas centrífugas, los impactos; debe tener la textura necesaria para permitir un rodamiento seguro y cómodo.

Cumple la función de impermeabilizar la superficie evitando el ingreso de agua que podría saturar las capas inferiores. También evita la desintegración de las capas subyacentes y contribuye al resto de capas a soportar las cargas y distribuir los esfuerzos (cuando se construye con espesores mayores a 2.5 cm.).

La carpeta es elaborada con material pétreo seleccionado y un aglomerante que es el asfalto. Es de gran importancia conocer el contenido óptimo de asfalto a emplear, para garantizar que la carpeta resista las cargas a la que será sometida. Un exceso de asfalto en la mezcla puede provocar pérdida de estabilidad, e incluso hacer resbalosa la superficie.

Esta capa es la más expuesta al intemperismo y a los efectos abrasivos de los vehículos, por lo que necesita de mantenimientos periódicos para garantizar su adecuada performance (AASHTO, 1993).

Base

Es la capa de pavimento ubicada debajo de la superficie de rodadura y tiene como función primordial soportar, distribuir y transmitir las cargas a la sub base, que se encuentra en la parte inferior.

La función fundamental de la base es estructural y consiste en proporcionar un elemento resistente a la acción de las cargas del tránsito y capaz de transmitir los esfuerzos resultantes con intensidades adecuadas. La base tiene también una importante función drenante, según la que debe ser capaz de eliminar fácil y rápidamente el agua que llegue a infiltrarse a través de la carpeta, así como de impedir la ascensión capilar del agua que provenga de niveles inferiores.

La base puede estar constituida principalmente por material granular, como piedra triturada y mezcla natural de agregado y suelo; pero también puede estar conformada con cemento Portland, cal o materiales bituminosos, recibiendo el nombre de base estabilizada. Éstas deben tener la suficiente resistencia para recibir



la carga de la superficie y transmitirla hacia los niveles inferiores del paquete estructural (AASHTO, 1993).

Sub base

La sub base se localiza en la parte inferior de la base, por encima de la sub rasante. Es la capa de la estructura de pavimento destinada a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas en la carpeta asfáltica.

La sub base también se coloca para absorber deformaciones perjudiciales en la sub rasante; por ejemplo, cambios volumétricos asociados a cambios de humedad, que podrían llegar a reflejarse en la superficie del pavimento. Básicamente conviene buscar dos cualidades principales en un material de subbase, que son la resistencia friccionante y la capacidad drenante.

Otra función de la sub base consiste en servir de transición entre el material de la base, generalmente granular grueso y el de la sub rasante, que tiende a ser mucho más fino. La sub base actúa como filtro de la base e impide su incrustación en la sub rasante.

Está conformada por materiales granulares, que le permiten trabajar como una capa de drenaje y controlador de ascensión capilar de agua, evitando fallas producidas por el hinchamiento del agua, causadas por el congelamiento, cuando se tienen bajas temperaturas. Además, la sub base controla los cambios de volumen y elasticidad del material del terreno de fundación, que serían dañinos para el pavimento.

Los espesores de subbase son muy variables y dependen de cada proyecto específico, pero suele considerarse 12 o 15cm. como la dimensión mínima constructiva (AASHTO, 1993).

Sub rasante

Se define así al terreno de fundación de los pavimentos, pudiendo estar constituida por el suelo natural o estabilizado o por material de préstamo debidamente compactado para alcanzar el 95% de la máxima densidad seca obtenida mediante el ensayo de Proctor modificado.

La sub rasante es la capa de terreno que soporta el paquete estructural y que se extiende hasta una profundidad en la cual no influyen las cargas de tránsito.

Esta capa puede estar formada en corte o relleno, dependiendo de las características del suelo encontrado. Una vez compactada, debe tener las propiedades, secciones transversales y pendientes especificadas de la vía. El espesor del pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la sub rasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de estabilidad, incompresibilidad y resistencia a la expansión y contracción por efectos de la humedad.

El comportamiento estructural de un pavimento frente a cargas externas, varía de acuerdo a las capas que lo constituyen. La principal diferencia entre el comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos es la forma cómo se reparten las cargas.

En un pavimento flexible, la distribución de la carga está determinada por las características del sistema de capas que lo conforman. Las capas de mejor calidad están cerca de la superficie donde las tensiones son mayores, y estas cargas se distribuyen de mayor a menor a medida que se va profundizando hacia los niveles inferiores.

En el caso de pavimentos rígidos, la losa es la capa que asume casi toda la carga. Las capas inferiores a la losa, en términos de resistencia, son despreciables.

En los pavimentos rígidos, las cargas se distribuyen uniformemente debido a la rigidez del concreto, dando como resultado tensiones muy bajas en la sub rasante.

En cambio, los pavimentos flexibles tienen menor rigidez, por eso se deforma más que el rígido y se producen tensiones mayores en la subrasante (AASHTO, 1993).

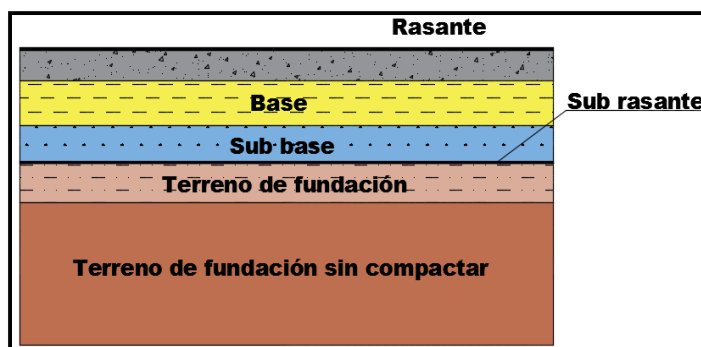


Figura 4: Distribución típica de la estructura del Pavimento

Fuente: (Yanarico & Kalinowski, 2018)



Entre las ventajas y desventajas de utilizar el pavimento flexible son las siguientes:

Ventajas

- Fácil financiamiento por su bajo costo inicial.
- La construcción como las operaciones de mantenimiento se realizan en un tiempo mucho más corto.
- La marcha de los vehículos automotores es más suave por no tener juntas de unión.
- Pueden utilizarse nuevamente como base los pavimentos existentes cuando se coloque una nueva capa de rodaje (AASHTO, 1993).

Desventajas

- Ocasionan mayores gastos en el mantenimiento.
- Menores años de vida útil.
- Las altas temperaturas y lluvias promueven pérdida de material.
- Requieren plantas de asfalto y equipos especializados
- Las deformaciones y deterioros que sufren disminuyen seguridad y comodidad.
- Sobre cargas imprevistas y tráfico provocan daño estructural, incluyendo al suelo de apoyo.
- Requiere mayores excavaciones, movimiento de tierras y son más las capas a colocar.
- Las acciones rutinarias de conservación y reparaciones frecuentes interrumpen el tráfico y hacen más costosa la carretera.
- En época de invierno los daños son considerables y más costosas las operaciones de mantenimiento (AASHTO, 1993).

2.2.5 Evaluación de pavimento

La evaluación de pavimentos tiene varios usos y es importante, ya que permitirá conocer a tiempo los deterioros presentes en la superficie del pavimento, y de esta manera realizar las correcciones necesarias, consiguiendo con ello brindar al usuario una mejor serviciabilidad. Con la realización de una evaluación periódica del pavimento se podrá predecir el nivel de vida de una red o un proyecto.



La evaluación de pavimentos, también permitirá optimizar los costos de rehabilitación, pues si se trata un deterioro de forma temprana se prolonga su vida de servicio ahorrando de esta manera gastos mayores (Armijos, 2009).

Para ello existen principalmente dos (02) tipos de evaluación de pavimentos. La primera de éstas corresponde a la evaluación funcional, la cual no es más que la ejecución de ensayos que permitan determinar las características superficiales del mismo, traducidas en parámetros como: textura, rugosidad, fricción, etc., que tienden a evaluar la calidad de rodaje del pavimento, la cual, a pesar de estar asociada con su capacidad estructural, no necesariamente es un indicativo de ésta, en vista que pueden existir sectores con buena calidad de rodaje y sin embargo poseer una estructura débil, que con el paso de la carga se fatigará y presentará un agrietamiento severo.

El segundo tipo de evaluación es la estructural, la cual permitirá medir distintos parámetros, tales como: fallas presentes en el pavimento, deflexión superficial, radio de curvatura del cuenco de deflexiones del pavimento, tipos de materiales que conforman la estructura de pavimento, espesores de cada una, su condición, etc. (Corros, Urbaéz, & Corredor, 2009).

2.2.6 Índice de condición de pavimento (PCI)

El método PCI (Pavement Condition Index) es un procedimiento que consiste en la determinación de la condición del pavimento a través de inspecciones visuales, identificando la clase, severidad y cantidad de fallas encontradas, siguiendo una metodología de fácil implementación y que no requiere de herramientas especializadas, pues se mide la condición del pavimento de manera indirecta.

Fue desarrollado entre los años 1974 y 1976 a cargo del Centro de Ingeniería de la Fuerza Aérea de los E.E.U.U. con el objetivo de obtener un sistema de administración del mantenimiento de pavimentos rígidos y flexibles.

Este método constituye el modo más completo para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, siendo ampliamente aceptado y formalmente adoptado, como procedimiento estandarizado, por agencias como por ejemplo: el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, el APWA (American Public Work Association) y ha sido publicado por la ASTM como método de análisis y

aplicación (Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-03) (Rodríguez, 2009).

Cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual del estado del pavimento en el cual se establecen clase, severidad y cantidad de cada falla presente.

Dada la gran cantidad de combinaciones posibles, el método introduce un factor de ponderación, llamado “valor deducido”, para indicar en qué grado afecta a la condición del pavimento cada combinación de deterioro, nivel de severidad y densidad (cantidad).

Este método no pretende solucionar aspectos de seguridad si alguno estuviera asociado con su práctica. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie, un valor que cuantifique el estado en que se encuentra el pavimento para su respectivo tratamiento y mantenimiento.

El Índice de Condición de Pavimento (PCI), es un grado numérico de la condición del pavimento. Varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. Cada rango del PCI tiene su correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento (Rodríguez, 2009).

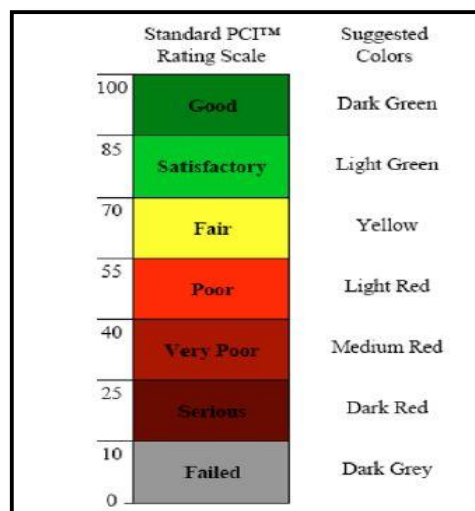


Figura 5: Índice de Condición del Pavimento (PCI) y Escala de Graduación.

Fuente: (ASTM, 2003)

La tabla 1 muestra el tipo de intervención de acuerdo al rango de PCI.

Tabla 1:
Calificación del PCI

| Rango del PCI | Calificación | Intervención |
|----------------------|---------------------|---------------------|
| 85 – 100 | Excelente | Mantenimiento |
| 70 – 85 | Muy Bueno | Mantenimiento |
| 55 – 70 | Bueno | Rehabilitación |
| 40 – 55 | Regular | Rehabilitación |
| 25 - 40 | Malo | Rehabilitación |
| 10 – 25 | Muy Malo | Reconstrucción |
| 0 - 10 | Fallado | Reconstrucción |

Fuente: (Rondon & Reyes , 2015)

Objetivos

Los objetivos que se esperan con la aplicación del Método PCI son los siguientes:

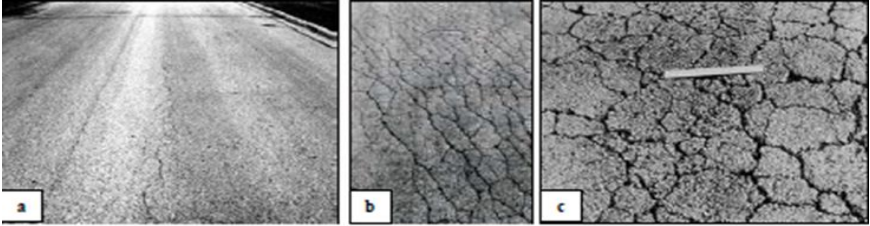
- Determinar el estado en que se encuentra el pavimento en términos de su integridad estructural y del nivel de servicio que ofrece al usuario. El método permite la cuantificación de la integridad estructural de manera indirecta, a través del índice de condición del pavimento (ya que no se realizan mediciones que permiten calcular directamente esta integridad).
- Cuando se habla de integridad estructural, se hace referencia a la capacidad que tiene el paquete estructural de soportar sollicitaciones externas, como cargas de tránsito o condiciones ambientales. En cambio, el nivel de servicio es la capacidad del pavimento para brindar un uso confortable y seguro al conductor.
- Obtener un indicador que permita comparar, con un criterio uniforme, la condición y comportamiento del pavimento y de esta manera justificar la programación de obras de mantenimiento y rehabilitación, seleccionando la técnica de reparación más adecuada al estado del pavimento en estudio (Rodríguez, 2009).

2.2.6.1 Tipos de fallas

A continuación se desarrollan las 19 fallas a evaluar en el método PCI descritas por Vásquez Varela:

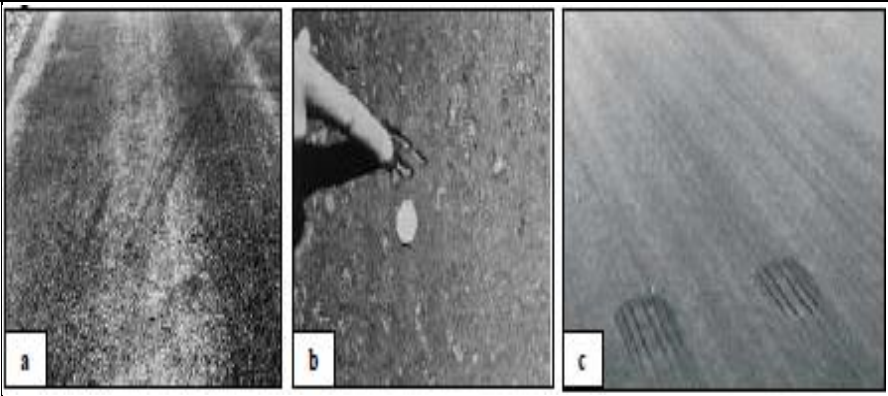
2.2.6.1.1 Falla: Piel de cocodrilo

Tabla 2:
Falla piel de cocodrilo

| Tipo de falla | Estructural -Piel de cocodrilo | |
|--|--|--|
| Descripción | Las grietas de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito. El agrietamiento se inicia en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda. Inicialmente, las grietas se propagan a la superficie como una serie de grietas longitudinales paralelas. Después de repetidas cargas de tránsito, las grietas se conectan formando polígonos con ángulos agudos que desarrollan un patrón que se asemeja a una malla de gallinero o a la piel de cocodrilo. | |
| Imagen o aspecto superficial |  | |
| Unidad de medida | Se miden en metros cuadrados de área afectada. Si dos o tres niveles de severidad coexisten en un área deteriorada y estas porciones pueden ser diferenciadas con facilidad, deben medirse y registrarse separadamente. De lo contrario, toda el área deberá ser calificada en el mayor nivel de severidad presente. | |
| Evaluación | <p>Bajo: Grietas finas capilares y longitudinales que se desarrollan de forma paralela con unas pocas o ninguna interconectadas. Las grietas no están descascaradas, es decir, no presentan rotura del material a lo largo de los lados de la grieta. (a)</p> <p>Medio: Desarrollo posterior de grietas piel de cocodrilo del nivel L, en un patrón o red de grietas que pueden estar ligeramente descascaradas. (b)</p> <p>Alto: Red o patrón de grietas que ha evolucionado de tal forma que las piezas o pedazos están bien definidos y descascarados los bordes. Algunos pedazos pueden moverse bajo el tránsito. (c)</p> | |
| Frontera y tipo de intervención | Bajo | No se hace nada, sello superficial. Sobrecarpeta. |
| | Medio | Parcheo parcial o en toda la profundidad (Full Depth). Sobrecarpeta. Reconstrucción. |
| | Alto | Parcheo parcial o Full Depth. Sobrecarpeta. Reconstrucción. |

2.2.6.1.2 *Falla: Exudación.*


Tabla 3:
Falla exudación

| Tipo de falla | Superficial - Exudación | |
|--|--|--|
| Descripción | <p>La exudación es una película de material bituminoso en la superficie del pavimento, la cual forma una superficie brillante, cristalina y reflectora que usualmente llega a ser pegajosa. La exudación es originada por exceso de asfalto en la mezcla, exceso de aplicación de un sellante asfáltico o un bajo contenido de vacíos de aire. Ocurre cuando el asfalto llena los vacíos de la mezcla en medio de altas temperaturas ambientales y entonces se expande en la superficie del pavimento. Debido a que el proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frío, el asfalto se acumulará en la superficie.</p> | |
| Imagen o aspecto superficial |  | |
| Unidad de medida | <p>Se mide metros cuadrados de área afectada. Si se contabiliza la exudación no deberá contabilizarse el pulimento de agregados.</p> | |
| Evaluación | <p>Bajo: La exudación ha ocurrido solamente en un grado muy ligero y es detectable únicamente durante unos pocos días del año. El asfalto no se pega a los zapatos o a los vehículos.(a)</p> | |
| | <p>Medio: La exudación ha ocurrido hasta un punto en el cual el asfalto se pega a los zapatos y vehículos únicamente durante unas pocas semanas del año. (b)</p> | |
| | <p>Alto: La exudación ha ocurrido de forma extensa y gran cantidad de asfalto se pega a los zapatos y vehículos al menos durante varias semanas al año. (c)</p> | |
| Frontera y tipo de intervención | Bajo | No se hace nada. |
| | Medio | Se aplica arena / agregados y cilindrado. |
| | Alto | Se aplica arena / agregados y cilindrado (precalentando si fuera necesario). |

2.2.6.1.3 *Falla: fisura en bloque.*

Tabla 4


Falla fisuras en bloque

| Tipo de falla: | Estructural - Fisuras en bloque | |
|--|--|---|
| Descripción | <p>Las fisuras en bloque son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares. Los bloques pueden variar en tamaño de 0.30 m x 0.3 m a 3.0 m x 3.0 m. Las fisuras en bloque se originan principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios. Las fisuras en bloque no están asociadas a cargas e indican que el asfalto se ha endurecido significativamente. Normalmente ocurre sobre una gran porción del pavimento, pero algunas veces aparecerá únicamente en áreas sin tránsito. Este tipo de daño forma pedazos más pequeños, de muchos lados y con ángulos agudos.</p> | |
| Imagen o aspecto superficial |  | |
| Unidad de medida | <p>Se mide en metros cuadrados de área afectada. Generalmente, se presenta un solo nivel de severidad en una sección de pavimento; sin embargo, cualquier área de la sección de pavimento que tenga diferente nivel de severidad deberá medirse y anotarse separadamente.</p> | |
| Evaluación | Bajo: Bloques definidos por fisuras de baja severidad, como se define para grietas longitudinales y transversales. | |
| | Medio: Bloques definidos por fisuras de severidad media | |
| | Alto: Bloques definidos por fisuras de alta severidad | |
| Frontera y tipo de intervención | Bajo | Sellado de grietas con ancho mayor a 3.0 mm. Riego de sello. |
| | Medio | Sellado de grietas, reciclado superficial. Escarificado en caliente y sobrecarpeta |
| | Alto | Sellado de grietas, reciclado superficial. Escarificado en caliente y sobrecarpeta. |

2.2.6.1.4 *Falla: Abultamientos y Hundimientos.*


Tabla 5:

Falla de abultamientos y hundimientos

| Tipo de falla | Estructural - Abultamientos y hundimientos | |
|---|---|---|
| <p>Descripción</p> | <p>Los abultamientos son pequeños desplazamientos hacia arriba localizados en la superficie del pavimento. Se diferencian de los desplazamientos, pues estos últimos son causados por pavimentos inestables.</p> <p>Los hundimientos son desplazamientos hacia abajo, pequeños y abruptos, de la superficie del pavimento.</p> <p>Las distorsiones y desplazamientos que ocurren sobre grandes áreas del pavimento, causando grandes o largas depresiones en el mismo, se llaman “ondulaciones” (hinchamiento: swelling).</p> | |
| <p>Imagen o aspecto superficial</p> |  | |
| <p>Unidad de medida</p> | <p>Se miden en metros lineales Si aparecen en un patrón perpendicular al flujo del tránsito y están espaciadas a menos de 3.0 m, el daño se llama corrugación. Si el abultamiento ocurre en combinación con una grieta, ésta también se registra.</p> | |
| <p>Evaluación</p> | <p>Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de baja severidad.</p> | |
| | <p>Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad media.</p> | |
| | <p>Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad alta.</p> | |
| <p>Frontera y tipo de intervención</p> | <p>Bajo</p> | <p>No requiere intervención</p> |
| | <p>Medio</p> | <p>Sustitución local de la capa de rodadura en mantenimiento rutinario.</p> |
| | <p>Alto</p> | |


2.2.6.1.5 Falla: *Corrugación*.

Tabla 6:
Falla de corrugación

| | | |
|--|---|-----------------|
| Tipo de falla: | Estructural - Corrugación | |
| Descripción | La <i>corrugación</i> (también llamada “lavadero”) es una serie de cimas y depresiones muy próximas que ocurren a intervalos bastante regulares, usualmente a menos de 3.0 m. Las cimas son perpendiculares a la dirección del tránsito. Este tipo de daño es usualmente causado por la acción del tránsito combinada con una carpeta o una base inestables. Si los <i>abultamientos</i> ocurren en una serie con menos de 3.0 m de separación entre ellos, cualquiera sea la causa, el daño se denomina <i>corrugación</i> . | |
| Imagen o aspecto superficial |  | |
| Unidad de medida | La corrugación es medida en metros cuadrados | |
| Evaluación | Bajo: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de baja severidad | |
| | Medio: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de mediana severidad | |
| | Alto: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de alta severidad. | |
| Frontera y tipo de intervención | Bajo | No se hace nada |
| | Medio | Reconstrucción |
| | Alto | Reconstrucción |

2.2.6.1.6 Falla: Depresión.

Tabla 7:
Falla de depresión

| Tipo de falla | Estructural - Depresión | |
|---|--|---|
| <p>Descripción</p> | <p>Son áreas localizadas de la superficie del pavimento con niveles ligeramente más bajos que el pavimento a su alrededor. En múltiples ocasiones, las <i>depresiones</i> suaves sólo son visibles después de la lluvia, cuando el agua almacenada forma un “baño de pájaros” (bird bath). En el pavimento seco las <i>depresiones</i> pueden ubicarse gracias a las manchas causadas por el agua almacenada. Las <i>depresiones</i> son formadas por el asentamiento de la subrasante o por una construcción incorrecta. Originan alguna rugosidad y cuando son suficientemente profundas o están llenas de agua pueden causar hidroplaneo.</p> | |
| <p>Imagen o aspecto superficial</p> |  | |
| <p>Unidad de medida</p> | <p>Las depresiones son medidas en metros cuadrados.</p> | |
| <p>Evaluación</p> | <p>Bajo : 13.0 a 25.0 mm. Medio: 25.0 a 51.0 mm. Alto: Más de 51.0 mm.</p> | |
| <p>Frontera y tipo de intervención</p> | <p>Bajo</p> | <p>No se hace nada.</p> |
| <p>Medio</p> | | <p>Parqueo superficial, parcial o profundo.</p> |
| <p>Alto</p> | | <p>Parqueo superficial, parcial o profundo</p> |


2.2.6.1.7 Falla: Fisura de Borde.

Tabla 8:
Falla de fisura de borde

| Tipo de falla | Superficial - Fisura de borde | |
|--|--|---|
| Descripción | Las fisuras de borde son paralelas y, generalmente, están a una distancia entre 0.30 y 0.60 m del borde exterior del pavimento. Este daño se acelera por las cargas de tránsito y puede originarse por debilitamiento, debido a condiciones climáticas, de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento. El área entre la fisura y el borde del pavimento se clasifica de acuerdo con la forma como se agrieta (a veces tanto que los pedazos pueden removerse). | |
| Imagen o aspecto superficial | | |
| Unidad de medida | La fisura de borde se mide metros lineales. | |
| Evaluación | Bajo: Agrietamiento bajo o medio sin fragmentación o desprendimiento. | |
| | Medio: Fisuras medias con algo de fragmentación y desprendimiento. | |
| | Alto: Considerable fragmentación o desprendimiento a lo largo del borde | |
| Frontera y tipo de intervención | Bajo | No se hace nada. Sellado de grietas con ancho mayor a 3 mm. |
| | Medio | Sellado de grietas. Parcheo parcial - profundo. |
| | Alto | Parcheo parcial – profundo. |


2.2.6.1.8 *Falla: Fisura de Reflexión de Junta.*

Tabla 9:
Falla de fisura de reflexión de junta

| Tipo de falla | Superficial - Fisura de reflexión de junta | |
|--|---|---|
| Descripción | Este daño ocurre solamente en pavimentos con superficie asfáltica construidos sobre una losa de concreto de cemento Pórtland. Estas fisuras son causadas principalmente por el movimiento de la losa de concreto de cemento Pórtland, inducido por temperatura o humedad, bajo la superficie de concreto asfáltico. Si el pavimento está fragmentado a lo largo de la fisura, se dice que aquella está descascarada | |
| Imagen o aspecto superficial |  | |
| Unidad de medida | La grieta de reflexión de junta se mide metros lineales. La longitud y nivel de severidad de cada grieta debe registrarse por separado. Si se presenta un abultamiento en la grieta de reflexión este también debe registrarse. | |
| Evaluación | Bajo: 1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm, o 2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante). | |
| | Medio: 1. Grieta sin relleno con ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm. 2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio. 3. Grieta rellena de cualquier ancho rodeado de un ligero agrietamiento aleatorio. | |
| | Alto: 1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de un agrietamiento aleatorio de media o alta severidad. 2. Grietas sin relleno de más de 76.0 mm. 3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas | |
| Frontera y tipo de intervención | Bajo | Sellado para anchos superiores a 3.00 mm. |
| | Medio | Sellado de grietas. Parcheo de profundidad parcial. |
| | Alto | Parcheo de profundidad parcial. Reconstrucción de la junta. |


2.2.6.1.9 *Falla: Desnivel Carril – Berma.*

Tabla 10:
Falla de desnivel carril - berma

| Tipo de falla | Superficial - Desnivel carril - berma | |
|--|--|--|
| Descripción | El <i>desnivel carril / berma</i> es una diferencia de niveles entre el borde del pavimento y la berma. Este daño se debe a la erosión de la berma, el asentamiento berma o la colocación de sobrecarpetas en la calzada sin ajustar el nivel de la berma. | |
| Imagen o aspecto superficial |  | |
| Unidad de medida | El <i>desnivel carril / berma</i> se miden metros lineales. | |
| Evaluación | Bajo: La diferencia en elevación entre el borde del pavimento y la berma está entre 25.0 y 51.0 mm. | |
| | Medio: La diferencia está entre 51.0 mm y 102.0 mm. | |
| | Alto: La diferencia en elevación es mayor que 102.00 mm | |
| Frontera y tipo de intervención | Bajo | Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril. |
| | Medio | |
| | Alto | |


2.2.6.1.10 *Falla: Fisuras Longitudinales y Transversales.*

Tabla 11:
Falla de fisuras longitudinales y transversales

| Tipo de falla | Estructural - Fisuras longitudinales y transversales | |
|--|--|--|
| Descripción | Las fisuras longitudinales son grietas paralelas al eje de la vía o a la línea direccional en la que fue construida. Las fisuras transversales, en cambio, son perpendiculares al eje del pavimento o a la dirección de construcción. | |
| Imagen o aspecto superficial |  | |
| Unidad de medida | Las <i>grietas longitudinales y transversales</i> se miden en metros lineales. Si la grieta no tiene el mismo nivel de severidad a lo largo de toda su longitud, cada porción de la grieta con un nivel de severidad diferente debe registrarse por separado. | |
| Evaluación | Bajo: 1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm 2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante). | |
| | Medio: 1. Grieta sin relleno de ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm. 2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm, rodeada grietas aleatorias pequeñas. 3. Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas aleatorias pequeñas. | |
| | Alto: 1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas aleatorias pequeñas de severidad media o alta. 2. Grieta sin relleno de más de 76.0 mm de ancho. 3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas. | |
| Frontera y tipo de intervención | Bajo: | No se hace nada. Sellado de grietas de ancho mayor que 3.0 mm. |
| | Medio: | Sellado de grietas |
| | Alto: | Sellado de grietas. Parcheo parcial |

2.2.6.1.11 *Falla: Parches y Parches de Cortes Utilitarios.*


Tabla 12:
Falla de parches y parches de cortes utilitarios

| Tipo de falla | Superficial - Parches y parches de cortes utilitarios | |
|--|---|--|
| Descripción | Un parche es un área de pavimento la cual ha sido remplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente. Un parche se considera un defecto no importa que tan bien se comporte (usualmente, un área parchada o el área adyacente no se comportan tan bien como la sección original de pavimento). Por lo general se encuentra alguna rugosidad está asociada con este daño. | |
| Imagen o aspecto superficial |  | |
| Unidad de medida | Los parches son medidos en metros cuadrados. Si un mismo parche tiene áreas con diferentes niveles de severidad, éstas áreas deben ser medidas y registradas por separado. | |
| Evaluación | Bajo: El parche está en buena condición y es satisfactorio. La calidad del tránsito se califica como de baja severidad o mejor. | |
| | Medio: El parche está moderadamente deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de severidad media. | |
| | Alto: El parche está muy deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de alta severidad. Requiere pronta sustitución. | |
| Frontera y tipo de intervención | Bajo: | No se hace nada. |
| | Medio: | No se hace nada. Sustitución del parche. |
| | Alto: | Sustitución del parche. |

2.2.6.1.12 *Falla: Agregado Pulido.*


Tabla 13:

Falla de agregado pulido

| Tipo de falla | Superficial - Agregado pulido | |
|--|--|---|
| Descripción | Este daño es causado por la repetición de cargas de tránsito. Cuando el agregado en la superficie se vuelve suave al tacto, la adherencia con las llantas del vehículo se reduce considerablemente. Cuando la porción de agregado que está sobre la superficie es pequeña, la textura del pavimento no contribuye de manera significativa a reducir la velocidad del vehículo. El <i>pulimento de agregados</i> debe contarse cuando un examen revela que el agregado que se extiende sobre la superficie es degradable y que la superficie del mismo es suave al tacto. Este tipo de daño se indica cuando el valor de un ensayo de resistencia al deslizamiento es bajo o ha caído significativamente desde una evaluación previa. | |
| Imagen o aspecto superficial |  | |
| Unidad de medida | Se mide en metros cuadrados de área afectada. Si se contabiliza exudación, no se tendrá en cuenta el pulimento de agregados. | |
| Evaluación | No se define ningún nivel de severidad. Sin embargo, el grado de pulimento deberá ser significativo antes de ser incluido en una evaluación de la condición y contabilizado como defecto. | |
| Frontera y tipo de intervención | Bajo: | No se hace nada. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. |
| | Medio: | |
| | Alto: | |


2.2.6.1.13 *Falla: Baches.*

Tabla 14:
Falla de baches

| Tipo de falla | Estructural - Baches | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|-------------------------------|---------------------|--|--|--------------|--------------|--------------|----------------|---|---|---|------------------|---|---|---|-----------|---|---|---|
| Descripción | <p>Los huecos son depresiones pequeñas en la superficie del pavimento, usualmente con diámetros menores que 0.90 m y con forma de tazón. Por lo general presentan bordes aguzados y lados verticales en cercanías de la zona superior. Los huecos se producen cuando el tráfico arranca pequeños pedazos de la superficie del pavimento. La desintegración del pavimento progresa debido a mezclas pobres en la superficie, puntos débiles de la base o la subrasante, o porque se ha alcanzado una condición de piel de cocodrilo de severidad alta. Con frecuencia los huecos son daños asociados a la condición de la estructura y no deben confundirse con desprendimiento o meteorización. Cuando los huecos son producidos por piel de cocodrilo de alta severidad deben registrarse como huecos, no como meteorización.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Imagen o aspecto superficial |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Unidad de medida | <p>Los baches se miden contando aquellos que sean de severidades baja, media y alta, y registrándolos separadamente.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Evaluación | <p>Los niveles de severidad para los huecos de diámetro menor que 762 mm están basados en la profundidad y el diámetro de los mismos, de acuerdo con el siguiente cuadro</p> <table border="1" data-bbox="600 1563 1409 1738"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Profundidad máxima del hueco.</th> <th colspan="3">Diámetro medio (mm)</th> </tr> <tr> <th>102 a 203 mm</th> <th>203 a 457 mm</th> <th>457 a 762 mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12.7 a 25.4 mm</td> <td>L</td> <td>L</td> <td>M</td> </tr> <tr> <td>> 25.4 a 50.8 mm</td> <td>L</td> <td>M</td> <td>H</td> </tr> <tr> <td>> 50.8 mm</td> <td>M</td> <td>M</td> <td>H</td> </tr> </tbody> </table> | | Profundidad máxima del hueco. | Diámetro medio (mm) | | | 102 a 203 mm | 203 a 457 mm | 457 a 762 mm | 12.7 a 25.4 mm | L | L | M | > 25.4 a 50.8 mm | L | M | H | > 50.8 mm | M | M | H |
| Profundidad máxima del hueco. | Diámetro medio (mm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 102 a 203 mm | 203 a 457 mm | 457 a 762 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12.7 a 25.4 mm | L | L | M | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| > 25.4 a 50.8 mm | L | M | H | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| > 50.8 mm | M | M | H | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Frontera y tipo de intervención | Bajo | No se hace nada. Parcheo parcial o profundo. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Medio | Parcheo parcial o profundo. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Alto | Parcheo profundo. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |


2.2.6.1.14 *Falla: Ahuellamiento.*

Tabla 15:
Falla de ahuellamiento

| Tipo de falla | Estructural - Ahuellamiento | |
|--|--|--|
| Descripción | El ahuellamiento es una depresión en la superficie de las huellas de las ruedas. Puede presentarse el levantamiento del pavimento a lo largo de los lados del ahuellamiento, pero, en muchos casos, éste sólo es visible después de la lluvia, cuando las huellas estén llenas de agua. El ahuellamiento se deriva de una deformación permanente en cualquiera de las capas del pavimento o la subrasante, usualmente producida por consolidación o movimiento lateral de los materiales debidos a la carga del tránsito. Un ahuellamiento importante puede conducir a una falla estructural considerable del pavimento. | |
| Imagen o aspecto superficial |  | |
| Unidad de medida | El ahuellamiento se mide en metros cuadrados de área afectada y su severidad está definida por la profundidad media de la huella. La profundidad media del ahuellamiento se calcula colocando una regla perpendicular a la dirección del mismo, midiendo su profundidad, y usando las medidas tomadas a lo largo de aquel para calcular su profundidad media. | |
| Evaluación | Bajo: Profundidad media del ahuellamiento de 6.0 a 13.0 mm. | |
| | Medio: Profundidad media del ahuellamiento >13.0 mm a 25.0 mm. | |
| | Alto: Profundidad media del ahuellamiento > 25.0 mm. | |
| Frontera y tipo de intervención | Bajo | No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta. |
| | Medio | Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobrecarpeta. |
| | Alto | Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobrecarpeta. |

2.2.6.1.15 *Falla: Desplazamiento.*

Tabla 16:
Falla de desplazamiento

| Tipo de falla | Estructural - Desplazamiento | |
|---|---|---|
| <p>Descripción</p> | <p>El desplazamiento es un corrimiento longitudinal y permanente de un área localizada de la superficie del pavimento producido por las cargas del tránsito. Cuando el tránsito empuja contra el pavimento, produce una onda corta y abrupta en la superficie. Los desplazamientos también ocurren cuando pavimentos de concreto asfáltico confinan pavimentos de concreto de cemento Pórtland. La longitud de los pavimentos de concreto de cemento Pórtland se incrementa causando el desplazamiento.</p> | |
| <p>Imagen o aspecto superficial</p> |  | |
| <p>Unidad de medida</p> | <p>Los desplazamientos se miden en metros cuadrados de área afectada. Los desplazamientos que ocurren en parches se consideran para el inventario de daños como parches, no como un daño separado.</p> | |
| <p>Evaluación</p> | <p>Bajo: El desplazamiento causa calidad de tránsito de baja severidad. Medio: El desplazamiento causa calidad de tránsito de severidad media Alto: El desplazamiento causa calidad de tránsito de alta severidad.</p> | |
| <p>Frontera y tipo de intervención</p> | <p>Bajo</p> | <p>No se hace nada. Fresado.</p> |
| | <p>Medio</p> | <p>Fresado. Parcheo parcial o profundo.</p> |
| | <p>Alto</p> | <p>Fresado. Parcheo parcial o profundo.</p> |


2.2.6.1.16. *Falla: Fisura Parabólica o por Deslizamiento.*

Tabla 17:
Falla de fisura parabólica o por deslizamiento

| Tipo de falla | Superficial - Fisura parabólica o por deslizamiento | |
|--|---|----------------------------------|
| Descripción | Las grietas parabólicas por deslizamiento (slippage) son grietas en forma de media luna creciente. Son producidas cuando las ruedas que frenan o giran inducen el deslizamiento o la deformación de la superficie del pavimento. Usualmente, este daño ocurre en presencia de una mezcla asfáltica de baja resistencia, o de una liga pobre entre la superficie y la capa siguiente en la estructura de pavimento. Este daño no tiene relación alguna con procesos de inestabilidad geotécnica de la calzada. | |
| Imagen o aspecto superficial | | |
| Unidad de medida | El área asociada con una grieta parabólica se mide en metros cuadrados) y se califica según el nivel de severidad más alto presente en la misma. | |
| Evaluación | <p>Bajo: Ancho promedio de la grieta menor que 10.0 mm.</p> <p>Medio: Existe una de las siguientes condiciones: 1. Ancho promedio de la grieta entre 10.0 mm y 38.0 mm. 2. El área alrededor de la grieta está descascarada en forma moderada</p> <p>Alto: Existe una de las siguientes condiciones: 1. Ancho promedio de la grieta entre 10.0 mm y 38.0 mm. 2. El área alrededor de la grieta está fracturada en pequeños pedazos ajustados.</p> | |
| Frontera y tipo de intervención | Bajo | No se hace nada. Parcheo parcial |
| | Medio | Parcheo parcial |
| | Alto | Parcheo parcial |

2.2.6.1.17. *Falla: Hinchamiento.*

Tabla 18:
Falla de hinchamiento

| Tipo de falla | Estructural - Hinchamiento | |
|--|---|----------------------------------|
| Descripción | El hinchamiento se caracteriza por un pandeo hacia arriba de la superficie del pavimento – una onda larga y gradual con una longitud mayor que 3.0 m. El hinchamiento puede estar acompañado de agrietamiento superficial. Usualmente, este daño es causado por el congelamiento en la subrasante o por suelos potencialmente expansivos. | |
| Imagen o aspecto superficial |  | |
| Unidad de medida | El hinchamiento se mide en metros cuadrados de área afectada. | |
| Evaluación | Bajo: El hinchamiento causa calidad de tránsito de baja severidad. El hinchamiento de baja severidad no es siempre fácil de ver, pero puede ser detectado conduciendo en el límite de velocidad sobre la sección de pavimento. Si existe un hinchamiento se producirá un movimiento hacia arriba. | |
| | Medio: El hinchamiento causa calidad de tránsito de severidad media. | |
| | Alto: El hinchamiento causa calidad de tránsito de alta severidad. | |
| Frontera y tipo de intervención | Bajo | No se hace nada. |
| | Medio | No se hace nada. Reconstrucción. |
| | Alto | Reconstrucción. |

2.2.6.1.18 *Falla: Peladura por Intemperismo y Desprendimiento de Agregados.*


Tabla 19:

Falla de peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados

| Tipo de falla | Superficial - Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados | |
|--|---|---|
| Descripción | La peladura por intemperismo es la desintegración superficial del pavimento por pérdida del ligante asfáltico y de las partículas sueltas de agregado. Este daño indica que, o bien el ligante asfáltico se ha endurecido de forma apreciable, o que la mezcla presente es de pobre calidad. El desprendimiento hace referencia a partículas de agregado sueltas o removidas. El ablandamiento de la superficie y la pérdida de los agregados debidos al derramamiento de aceites también se consideran como desprendimiento. | |
| Imagen o aspecto superficial |  |  |
| Unidad de medida | Las peladuras y el desprendimiento se miden en metros cuadrados de área afectada. | |
| Evaluación | <p>Bajo: Han comenzado a perderse los agregados o el ligante. En algunas áreas la superficie ha comenzado a deprimirse. En el caso de derramamiento de aceite, puede verse la mancha del mismo, pero la superficie es dura y no puede penetrarse con una moneda.</p> <p>Medio: Se han perdido los agregados o el ligante. La textura superficial es moderadamente rugosa y ahuecada. En el caso de derramamiento de aceite, la superficie es suave y puede penetrarse con una moneda.</p> <p>Alto: Se han perdido de forma considerable los agregados o el ligante. La textura superficial es muy rugosa y severamente ahuecada. Las áreas ahuecadas tienen diámetros menores que 10.0 mm y profundidades menores que 13.0 mm; áreas ahuecadas mayores se consideran baches. En el caso de derramamiento de aceite, el ligante asfáltico ha perdido su efecto ligante y el agregado este suelto.</p> | |
| Frontera y tipo de intervención | Bajo | No se hace nada. Sello superficial. Tratamiento superficial. |
| | Medio | Sello superficial. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. |
| | Alto | Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción. Para los niveles M y H, si el daño es localizado, por ejemplo, por derramamiento de aceite, se hace parcheo parcial. |

2.2.6.1.19 *Falla: Cruce de Vía Férrea.*

Tabla 20:
Falla de cruce de vía férrea

| Tipo de falla | Superficial - Cruce de vía férrea | |
|---------------------------------|---|--|
| Descripción | Los defectos asociados al <i>cruce de vía férrea</i> son <i>depressiones</i> o <i>abultamientos</i> alrededor o entre los rieles. | |
| Imagen o aspecto superficial |  | |
| Unidad de medida | El área del cruce se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada. Si el cruce no afecta la <i>calidad de tránsito</i> , entonces no debe registrarse. Cualquier <i>abultamiento</i> considerable causado por los rieles debe registrarse como parte del cruce. | |
| Evaluación | Bajo: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de baja severidad. | |
| | Medio: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad media. | |
| | Alto: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad alta. | |
| Frontera y tipo de intervención | Bajo | No se hace nada. |
| | Medio | Parcheo superficial o parcial de la aproximación. Reconstrucción del cruce. |
| | Alto | Parcheo superficial o parcial de la aproximación. Reconstrucción del cruce |

2.2.6.2 Pasos para la determinación del PCI

Paso 1: Se inicia con la división de la vía en secciones, las cuales deben mantener características uniformes de construcción, mantenimiento, historial, y condiciones.

Paso 2: Se realiza la división de una sección del Pavimento en unidades de muestreo cuyo tamaño varía de acuerdo con el tipo de pavimento

Tabla 21:
Tamaño de la muestra

| Tipo de pavimento | Tamaño de la muestra | | |
|-------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| | Ideal | Mínimo | Máximo |
| Rígidos | 20 losas | 12 losas | 28 losas |
| Flexibles | 450 m ² | 270 m ² | 630 m ² |
| Mixto | | | |

Fuente: (MTC P. N., 2009)

Paso 3: En la “Evaluación de un Proyecto” se deben inspeccionar todas las unidades (N), sin embargo, de no ser posible, el número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la Ecuación N° 1, la cual produce un estimado del PCI ± 5 del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

$$n = \frac{Ns^2}{\left(\left(\frac{e^2}{4}\right) * (N - 1) + s^2\right)}$$

Ecuación N° 1: Número mínimo de unidades de muestreo

Donde:

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

e: Error admisible en el estimativo del PCI de la sección ($e = 5\%$)

s: Desviación estándar del PCI entre las unidades.

Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar (s) del PCI de 10 para pavimento asfáltico (rango PCI de 25) y de 15 para pavimento



de concreto (rango PCI de 35) Cuando el número mínimo de unidades a evaluar es menor que cinco ($n < 5$), todas las unidades deberán evaluarse.

Paso 4: Se selecciona las unidades de muestreo a inspeccionar, se recomienda que las unidades elegidas estén igualmente espaciadas a lo largo de la sección de pavimento y que la primera de ellas se elija al azar (aleatoriedad sistemática) de la siguiente manera:

a. El intervalo de muestreo (i) se expresa mediante la Ecuación 2:

$$i = N/n$$

Ecuación N° 2. Intervalo de muestreo

Donde:

N: Número total de unidades de muestreo disponible.

n: Número mínimo de unidades para evaluar.

i: Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior

b. La primera unidad de muestra que va ser inspeccionada es seleccionada al azar entre las unidades de muestra 1 y el intervalo de muestreo i .

Paso 5: Se realiza la inspección del pavimento identificando el tipo de falla, la medición del nivel de severidad y la cantidad de cada tipo de falla, datos que serán registrados manualmente en la ficha de evaluación para unidad de muestra de acuerdo al manual de daños.

Paso 6: Una vez realizada la inspección de campo, la información sobre los daños se utiliza para calcular el PCI este cálculo puede ser manual o computarizado y se basa en los “Valores Deducidos” de cada daño de acuerdo con la cantidad y severidad reportadas.

Paso 7: Se calculará el valor deducido (VD) para cada falla medida a partir de los datos de severidad y densidad. Para esto:

- Contabilizar cada tipo y nivel de severidad de daño.
- Calcular la densidad.