



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

ESTIMACIÓN DEL DETERIORO DEL PAVIMENTO
ASFÁLTICO DE LA AVENIDA LAS PALMERAS, DISTRITO
DE LOS OLIVOS - LIMA

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Autor:

Juan Jesus Olano Alejos

Asesor:

Mg. Ing. Josualdo Carlos Villar Quiroz

Lima - Perú

2021

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS

El asesor Mg. Ing. Josualdo Carlos Villar Quiroz, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de **INGENIERÍA CIVIL**, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis del estudiante:

- Olano Alejos Juan Jesús

Por cuanto, **CONSIDERA** que la tesis titulada: ESTIMACIÓN DEL DETERIORO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO DE LA AVENIDA LAS PALMERAS, DISTRITO DE LOS OLIVOS - LIMA para aspirar al título profesional de: **INGENIERO CIVIL** por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA** al interesado para su presentación.



Ing. Josualdo Carlos Villar Quiroz, MBA
CIP 106994
Asesor

ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador asignados han procedido a realizar la evaluación de la tesis del estudiante: Juan Jesús Olano Alejos para aspirar al título profesional con la tesis denominada: Estimación del deterioro del pavimento asfáltico de la avenida Las Palmeras, distrito de Los Olivos – Lima.

Luego de la revisión del trabajo, en forma y contenido, los miembros del jurado concuerdan:

Aprobación por unanimidad

Aprobación por mayoría

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Desaprobado

Firman en señal de conformidad:

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos
Jurado
Presidente

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos
Jurado

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos
Jurado

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado a Dios, por darme las fuerzas necesarias para realizar esta tesis, a mis madres Ruth Alejos y Victoria Aranda, que han sabido darme su ejemplo y por haber sido mi apoyo a lo largo de mi vida y han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores lo cual me ha ayudado mucho para seguir adelante en momentos difíciles, y a la memoria de mi padre Jesús Olano porque ha sido la base que me ha hecho cada vez más fuerte

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Privada del Norte por la formación profesional brindada. A mi Asesor de tesis Mg. Ing. Josualdo Carlos Villar Quiroz por transmitirme su experiencia y conocimientos en el tema y tiempo brindado y en especial a mi familia por la comprensión y apoyo incondicional

TABLA DE CONTENIDOS

Contenido

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS.....	2
ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
ÍNDICE DE ECUACIONES	14
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	17
1.1. Realidad problemática	17
1.1.1. <i>Global</i>	17
1.1.2. <i>Macro</i>	20
1.1.3. <i>Micro</i>	22
1.1.4. <i>Nano</i>	23
1.2. Antecedentes de la investigación	23
1.3. Bases teóricas.....	31
1.3.1. <i>Deterioro</i>	31
1.3.2. <i>Deterioro del Pavimento</i>	32
1.3.3. <i>Definición de Pavimento</i>	32
1.3.4. <i>Definición de Pavimento Flexible</i>	35
1.3.5. <i>Estructura del pavimento asfáltico</i>	35
1.3.6. <i>Clasificación de pavimentos</i>	36
1.3.7. <i>Serviciabilidad de pavimentos</i>	36
1.3.8. <i>Rol estructural del pavimento asfáltico</i>	36
1.3.9. <i>Ciclo de vida del Pavimento</i>	37
1.3.10. <i>Factores que causan el deterioro asfáltico</i>	40
1.3.11. <i>Norma Técnica ASTM D6433-03</i>	42
1.3.12. <i>Metodología PCI</i>	42
1.3.13. <i>Regresión lineal simple</i>	44
1.3.14. <i>Recta de regresión de mínimos cuadrados</i>	45
1.3.15. <i>Coefficiente de correlación lineal de Pearson</i>	46
1.3.16. <i>Coefficiente de determinación</i>	47
1.3.17. <i>Google Maps</i>	48
1.3.18. <i>Rehabilitación y mantenimiento de pavimentos flexibles</i>	49

1.4.	Justificación	53
1.5.	Formulación del problema	53
1.6.	Objetivos	54
1.6.1.	<i>Objetivo general</i>	54
1.6.2.	<i>Objetivos específicos</i>	54
1.7.	Hipótesis	54
1.7.1.	<i>Hipótesis general</i>	54
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA		55
2.1.	Enfoque de la investigación	55
2.2.	Tipo de investigación	55
2.2.1.	<i>Por el propósito:</i>	55
2.2.2.	<i>Según el diseño de investigación:</i>	55
2.2.3.	<i>Según el nivel de la investigación</i>	55
2.3.	Diseño de investigación:	56
2.4.	Variable.....	57
2.4.1.	<i>Clasificación de variables</i>	57
2.4.2.	<i>Operacionalización de variables</i>	57
2.5.	Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)	59
2.5.1.	<i>Población</i>	59
2.5.2.	<i>Muestra</i>	60
2.5.3.	<i>Materiales</i>	64
2.6.	Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	64
2.6.1.	<i>Técnica de recolección de datos</i>	64
2.6.2.	<i>Instrumento de recolección de datos</i>	65
2.6.3.	<i>Validación del instrumento de recolección datos</i>	65
2.6.4.	<i>Análisis de datos:</i>	65
2.7.	Procedimientos.....	67
2.7.1.	<i>Reconocimiento de la zona en estudio</i>	67
2.7.2.	<i>Mediciones previas de la zona en estudio</i>	67
2.7.3.	<i>Aplicación de la metodología del PCI</i>	68
2.7.4.	<i>Llenado del Formato de registro de la condición del pavimento</i>	73
2.7.5.	<i>Cálculo del PCI de las unidades de muestreo</i>	74
2.7.6.	<i>Consolidación la matriz de sistematización de datos</i>	88
2.7.7.	<i>Definir los valores para PCI teóricos en el tiempo</i>	88
2.7.8.	<i>Aplicación del método de regresión de mínimos cuadrados</i>	88
2.7.9.	<i>Estimación de los valores a y b de la función: $PCI = a + bt$</i>	89
2.7.10.	<i>Obtención de la ecuación teórica de predicción del deterioro del pavimento</i>	91
2.7.11.	<i>Estimación el deterioro del pavimento asfáltico en la Av. Las Palmeras</i>	91
2.7.12.	<i>Determinación de acciones de intervención según la aplicación del cálculo del PCI</i>	92

2.8.	Desarrollo de la tesis.....	93
2.8.1.	<i>Reconocimiento de la zona de estudio.....</i>	93
2.8.2.	<i>Mediciones previas de la zona de estudio</i>	97
2.8.3.	<i>Aplicación de la metodología PCI</i>	97
2.8.4.	<i>Llenado del formato de registro de la condición del pavimento.....</i>	100
2.8.5.	<i>Cálculo del PCI de las unidades de muestreo.....</i>	100
2.8.6.	<i>Consolidación de la matriz de sistematización de datos.....</i>	104
2.8.7.	<i>Definición de los valores PCI teóricos en el tiempo</i>	104
2.8.8.	<i>Aplicación del método de regresión de mínimo cuadrados.....</i>	105
2.8.9.	<i>Estimación de los valores a y b de la función: $PCI = a + bt$.....</i>	105
2.8.10.	<i>Obtención de la ecuación teórica de predicción del deterioro del pavimento... ..</i>	106
2.8.11.	<i>Estimación del deterioro del pavimento asfáltico en la Av. Las Palmeras.....</i>	106
2.8.12.	<i>Determinación de acciones de intervención según la aplicación del cálculo del PCI.....</i>	107
CAPÍTULO III. RESULTADOS		108
3.1.	Estado del deterioro del pavimento asfáltico de la avenida Las Palmeras, distrito de Los Olivos - Lima.....	108
3.2.	Categorías de acción a aplicar en función del rango del PCI.....	109
3.3.	Valores PCI teóricos en el tiempo	111
3.4.	Valores a y b para el ajuste de la función de regresión lineal	114
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		117
4.1.	Discusión	117
4.2.	Conclusiones.....	119
4.3.	Recomendaciones	120
REFERENCIAS		121
ANEXOS		127
Anexo N°1. Formato de registro de la condición del pavimento		127
Anexo N° 2. Tipos de fallas en pavimentos flexibles		128
Anexo N°3. Descripción y posibles causas de los tipos de fallas establecidos por el PCI.....		129
Anexo N°4. Tipos de fallas según nivel de severidad.....		135
Anexo N°5. Nivel de severidad.....		153
Anexo N°6. Formatos de registro de la condición del pavimento llenos		155
Anexo N°7. Matriz de sistematización de datos		211
Anexo N°8. Panel Fotográfico		212

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. El rol estructural del pavimento asfáltico.....	37
Tabla 2. Valores de PSI y calificación de la serviciabilidad	39
Tabla 3. Rangos de calificación del PCI	44
Tabla 4. Esquema del diseño transversal	56
Tabla 5. Matriz de clasificación de las variables.....	57
Tabla 6. Matriz de operacionalización de variables	58
Tabla 7. Referencia de la población de estudio.....	60
Tabla 8. Referencia del área de evaluación.....	61
Tabla 9. Longitudes de unidades de muestreo asfáltico	71
Tabla 10. Cálculos previos para estimar los coeficientes a y b de la función PCI.....	89
Tabla 11. PCI obtenidos a partir de la ecuación teórica PCI.....	92
Tabla 12. Categorización de acciones	93
Tabla 13. Datos previos para la estimación de la muestra	98
Tabla 14. Estimación de la muestra	98
Tabla 15. Consolidación de la matriz de sistematización de datos	104
Tabla 16. PCI teóricos para la muestra N°1	104
Tabla 17. Cálculos previos para estimar los coeficientes a y b	105
Tabla 18. PCI obtenidos a partir de la ecuación teórica PCI.....	106
Tabla 19. Matriz de sistematización total de datos de las unidades de muestreo.....	108
Tabla 20. Categoría de acción en función del rango PCI.....	109
Tabla 21. PCI promedio 2013	113
Tabla 22. PCI promedio 2015	113
Tabla 23. Valores teóricos PCI	114
Tabla 24. Valores previos para cálculo de la recta de regresión lineal	114
Tabla 25. Coeficientes de la recta de regresión lineal.....	114
Tabla 26. Estimación del deterioro del pavimento de la Av. Las Palmeras, distrito de Los Olivos - lima.....	115
Tabla 27. Tipos de fallas según su nivel de severidad establecidos por el PCI.....	128
Tabla 28. Descripción y posibles causas de los tipos de fallas establecidos por el PCI.....	129
Tabla 29. Esquema del diseño transversal	153

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura del pavimento asfáltico.....	35
Figura 2. Desviaciones de valores observados y ajustados	45
Figura 3. Diagrama del diseño de investigación	56
Figura 4. Avenida Las Palmeras en el distrito de Los Olivos	59
Figura 5. Área de evaluación.....	61
Figura 6. Gráfico Lineal	66
Figura 7. Gráfico de líneas	66
Figura 8. Esquema de los procedimientos a seguir	67
Figura 9. Formato de exploración de condición para carreteras con superficie asfáltica.....	69
Figura 10. Procedimiento para la evaluación del pavimento - metodología PCI.....	70
Figura 11. Cálculo del PCI de las unidades de muestreo	74
Figura 12. Fisura piel de cocodrilo.....	76
Figura 13. Fisura en bloque.....	77
Figura 14. Fisura de borde.....	77
Figura 15. Fisura de reflexión de junta	78
Figura 16. Fisura de longitudinales y transversales	78
Figura 17. Fisura de parabólicas o por deslizamiento	79
Figura 18. Abultamientos y hundimientos	79
Figura 19. Corrugación	80
Figura 20. Depresión.....	80
Figura 21. Ahuellamiento.....	81
Figura 22. Desplazamiento.....	81
Figura 23. Hinchamiento.....	82
Figura 24. Cruce vía férrea.....	82
Figura 25. Baches (huecos)	83
Figura 26. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados.....	83
Figura 27. Exudación	84
Figura 28. Agregado pulido	84
Figura 29. Desnivel carril - berma	85
Figura 30. Parches (baches y zanjas separadas).....	85
Figura 31. Formato para la obtención del Máximo valor deducido corregido.....	86
Figura 32. Curvas de VDC – PCI (ASTMD 6433-03) según falla	87

Figura 33. Reconocimiento de la Av. Las Palmeras	94
Figura 34. Av. Las Palmeras cruce con Av. Carlos Izaguirre	94
Figura 35. Av. Las Palmeras cruce con Av. Los Alisos.....	95
Figura 36. Av. Las Palmeras cruce con Av. El Naranjal.....	95
Figura 37. Av. Las Palmeras cruce con Av. Rio Maraón.....	96
Figura 38. Av. Las Palmeras cruce con Av. Alfredo Mendiola	96
Figura 39. Av. Las Palmeras cruce con Av. Panamericana Norte	97
Figura 40. Esquema del pavimento para muestreo.....	99
Figura 41. Unidad de muestra N°1 – Calzada izquierda.....	100
Figura 42. Fallas encontradas en la muestra N°1 – 2013 – calzada izquierda	101
Figura 43. Fallas encontradas en la muestra N°1 – 2015 – calzada izquierda	101
Figura 44. Formato de registro de la condición de la muestra N°1 – 2013 – calzada izquierda	102
Figura 45. Formato de registro de la condición de la muestra N°1 – 2015 - calzada izquierda.....	103
Figura 46. PCI de las unidades de muestreo 2013 - calzada derecha.....	111
Figura 47. PCI de las unidades de muestreo 2013 - calzada izquierda	112
Figura 48. PCI de las unidades de muestreo 2015 - calzada derecha.....	112
Figura 49. PCI de las unidades de muestreo 2015 - calzada izquierda	113
Figura 50. Proyección de PCI hasta el 2037	116
Figura 51. Piel de cocodrilo – baja severidad	135
Figura 52. Piel de cocodrilo – mediana severidad.....	135
Figura 53. Piel de cocodrilo – alta severidad	136
Figura 54. Agrietamiento en bloque – baja severidad.....	136
Figura 55. Agrietamiento en bloque – mediana severidad.....	136
Figura 56. Agrietamiento en bloque – alta severidad.....	137
Figura 57. Agrietamiento de borde – baja severidad.....	137
Figura 58. Agrietamiento de borde – mediana severidad.....	137
Figura 59. Agrietamiento de borde – alta severidad	138
Figura 60. Agrietamiento de reflexión de junta – baja severidad.....	138
Figura 61. Agrietamiento de reflexión de junta – mediana severidad.....	138
Figura 62. Agrietamiento de reflexión de junta – alta severidad	139
Figura 63. Longitudinales y transversales – baja severidad.....	139
Figura 64. Longitudinales y transversales – mediana severidad	139
Figura 65. Longitudinales y transversales – alta severidad.....	140
Figura 66. Fisura parabólica o por deslizamiento – baja severidad	140

Figura 67. Fisura parabólica o por deslizamiento – mediana severidad.....	140
Figura 68. Fisura parabólica o por deslizamiento – alta severidad	141
Figura 69. Abultamientos y hundimientos – baja severidad	141
Figura 70. Abultamientos y hundimientos – mediana severidad	141
Figura 71. Abultamientos y hundimientos – alta severidad	142
Figura 72. Corrugación – baja severidad	142
Figura 73. Corrugación – mediana severidad.....	142
Figura 74. Corrugación – alta severidad	143
Figura 75. Depresión – baja severidad.....	143
Figura 76. Depresión – mediana severidad	143
Figura 77. Depresión – alta severidad.....	144
Figura 78. Ahuellamiento – baja severidad.....	144
Figura 79. Ahuellamiento – mediana severidad.....	144
Figura 80. Ahuellamiento – alta severidad.....	145
Figura 81. Desplazamiento – baja severidad.....	145
Figura 82. Desplazamiento – mediana severidad.....	145
Figura 83. Desplazamiento – alta severidad.....	146
Figura 84. Hinchamiento – El nivel de severidad depende.....	146
Figura 85. Cruce vía férrea – baja severidad.....	146
Figura 86. Cruce vía férrea – mediana severidad.....	147
Figura 87. Cruce vía férrea – alta severidad.....	147
Figura 88. Baches (huecos) – baja severidad	147
Figura 89. Baches (huecos) – mediana severidad	148
Figura 90. Baches (huecos) – alta severidad	148
Figura 91. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados – baja severidad.....	148
Figura 92. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados – mediana severidad.....	149
Figura 93. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados – alta severidad.....	149
Figura 94. Exudación – baja severidad	149
Figura 95. Exudación – mediana severidad.....	150
Figura 96. Exudación – alta severidad	150
Figura 97. Agregado pulido – No hay niveles de severidad definidos.....	150
Figura 98. Desnivel carril – berma – baja severidad.....	151
Figura 99. Desnivel carril – berma – mediana severidad	151
Figura 100. Desnivel carril – berma – alta severidad.....	151

Figura 101. Parches – baja severidad	152
Figura 102. Parches – mediana severidad	152
Figura 103. Parches – alta severidad	152

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Coeficiente de correlación lineal de Pearson.....	47
Ecuación 2. Coeficiente de determinación	47
Ecuación 3. Número mínimo de unidades de muestreo.....	62
Ecuación 4. Intervalo de espaciamiento de muestreo.....	63
Ecuación 5. Media de t.....	90
Ecuación 6. Media del PCI	90
Ecuación 7. Cálculo del coeficiente b.....	90
Ecuación 8. Forma alternativa para calcular el coeficiente b	90
Ecuación 9. Numerador de b de la forma N°02.....	90
Ecuación 10. Denominador de b de la forma N°02	91
Ecuación 11. Cálculo del coeficiente a	91
Ecuación 12. Recta de regresión lineal PCI en función del tiempo	91
Ecuación 13. Ecuación teórica de predicción del deterioro del pavimento.....	106
Ecuación 14. Recta de predicción del deterioro del pavimento – calzada derecha	114
Ecuación 15. Recta de predicción del deterioro del pavimento – calzada izquierda	115

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la Av. Las Palmeras en Los Olivos - Lima, cuyo objetivo fue determinar la estimación del deterioro del pavimento asfáltico. Para tal efecto se utilizó el método del Índice de Condición del Pavimento (PCI) y el análisis de regresión lineal. Se aplicó la metodología del PCI para una vía de 7.30 metros de ancho aproximadamente y se calculó unidades de muestreo de 40 metros de largo, resultando un total por calzada de 54 unidades de muestreo del cual fueron evaluadas 14 unidades de muestreo. La obtención de datos del deterioro de cada muestra fue a través de una inspección visual para los años 2013 y 2015 mediante la herramienta de Google Maps. Con base en los valores obtenidos en referidos años y al análisis de regresión lineal, mediante tres valores del PCI en el tiempo, se puede predecir el deterioro de cada vía concluyendo que la condición del pavimento asfáltico al 2021 en las calzadas izquierda y derecha de la vía son de condición regular ($PCI = 48.26$) y bueno ($PCI = 58.42$) respectivamente; siendo la categoría de acción para la calzada izquierda, realizar un mantenimiento correctivo y para la calzada derecha, realizar un mantenimiento preventivo rutinario y/o periódico. También, se formuló los modelos de predicción estadísticos: $PCI = 3,664.88 - 1.78*t$ para la calzada derecha y $PCI = 4,477.85 - 2.19*t$ para la calzada izquierda.

Palabras clave: PCI, regresión lineal, categoría de acción, condición del pavimento

ABSTRACT

The present investigation was carried out at Av. Las Palmeras in Los Olivos - Lima, whose objective was to determine the estimate of the deterioration of the asphalt pavement. For this purpose, the Pavement Condition Index (PCI) method and linear regression analysis were used. The PCI methodology was applied for a road approximately 7.30 meters wide and sampling units of 40 meters long were calculated, resulting in a total of 54 sampling units per road, of which 14 sampling units were evaluated. Data on the deterioration of each sample was obtained through a visual inspection for the years 2013 and 2015 using the Google Maps tool. Based on the values obtained in referred years and the linear regression analysis, through three values of the PCI over time, the deterioration of each road can be predicted, concluding that the condition of the asphalt pavement by 2021 on the left and right roads of the roads are of fair condition (PCI = 48.26) and good (PCI 58.42) respectively; being the category of action for the left road, to carry out corrective maintenance and for the right road, to carry out routine and / or periodic preventive maintenance. Also, the statistical prediction models were formulated: $PCI = 3,664.88 - 1.78 * t$ for the right road and $PCI = 4,477.85 - 2.19 * t$ for the left road.

Keywords: PCI, linear regression, action category, pavement condition

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

1.1.1. Global

Los pavimentos son el principal medio de vinculación entre distintos lugares en el mundo, y es de mucha relevancia para el desarrollo y crecimiento económico, competitividad e integración social en los países, por lo que en varios países se realizan programas de mantenimiento y rehabilitación utilizando diferentes tipos de evaluación para el pavimento. De acuerdo con Bettera, Montero, Hildmann, Maldonado y Bogino (2019) la concentración de los sistemas y redes de transporte necesarias que faciliten el traslado e inserción en el mercado mundial refleja el desarrollo económico de un país, porque permite una mayor integración en el territorio y su ampliación (p. 16).

Alzate (2019) refiere que en las ciudades de Colombia las vías en general presentan problemas persistentes de deterioro en los pavimentos flexibles, los cuales originados por la reiteración de ciclos de fuerza sobre el pavimento a lo largo de su vida útil, el cual disminuye mucho su nivel de servicio si no se le realiza tratamiento a las fallas oportuna y adecuadamente; también refiere que el tratamiento de las vías es un tanto complicado puesto que hay varios factores que pueden originar fallas en las vías (p. 10).

Por otro lado, Montes de Oca y Palacios (2013) refieren que en México el transporte tiene un papel muy relevante para su economía, por lo que debe evaluar la problemática de los deterioros o fallas de los elementos de una vía con base en la normativa, experiencia, tecnologías, innovaciones (en materiales, procedimientos y métodos de conservación de la carretera) puesto que es importante asegurar las

condiciones idóneas de transitabilidad y seguridad de las vías. Asimismo, refieren que el Estado debe ser responsable de garantizar la gestión óptima de las vías o carreteras; también señalan que una adecuada planificación e implementación en la conservación de las vías o carreteras es beneficioso desde el punto de vista técnico (mantenimiento preventivo) y también en lo económico (optimización de costos) (p. 5).

En Ecuador, la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12-MTOP (2013) refiere que es constante las afectaciones en la infraestructura vial como paralizaciones, colapso de puentes y caminos, generados por varios factores como el riesgo sísmico o factores climáticos entre otros factores, los cuales inciden negativamente al proceso de desarrollo económico y productivo de Ecuador (p. v). Por otro lado, según refiere Navarro (2016) en Ecuador la gestión de tratamiento para la conservación vial en las vías de provincia es insuficiente, señala que las entidades correspondientes no han recopilado suficiente data de las peculiaridades técnicas de las vías para su gestión e intervención para evitar el deterioro anticipado de las vías, y que al no intervenir a tiempo, o postergando su tratamiento o acción necesaria, esto implicaría el deterioro de la carretera el cual genera elevados costos en reconstrucción con niveles de servicio por debajo de los estándares (p. iv).

De acuerdo con Pastor y Pérez (2009) respecto a las redes viales, nuestro país cuenta con 78,687 km de vías, los cuales se clasifican en tres porcentajes: nacional (22%), departamental (18%) y vecinal (60%), y debido al crecimiento desigual de diversos medios de transporte y debido a la infraestructura insuficiente entre otros factores, el sistema de transporte en nuestro país no satisface la exigencia de acceso,

transitabilidad, confiabilidad y seguridad a la población; también refieren que nuestro país no se ve avance alguno en infraestructura vial respecto a los países de la región (p. 18). Por otro lado, Vergara (2015) refiere que las redes viales a nivel nacional está conformada principalmente por pavimentos flexibles y de suma importancia para el desarrollo social y económico de nuestro país; por tanto, es necesario realizar seguimiento a los pavimentos para conocer su condición, puesto que es de suma importancia estimar en qué momento de la vida útil del pavimento se debe intervenir, con el fin de lograr una eficiencia funcional de la vía y optimizar costos, pues el deterioro de los pavimentos flexibles incide directamente en costos de mantenimiento entre otras acciones, el cual aumenta con el tiempo y también los sobrecostos de operación como el aumento de los tiempos de recorridos (p. 6).

Tineo (2019), refiere que en la rehabilitación del pavimento asfáltico en las vías de Lima, por lo general se desecha mediante el fresado la capa superficial de la carpeta asfáltica y se coloca otro estrato encima sin considerar el tipo de falla existente en el pavimento, sin embargo, no se considera que el estrato de abajo tiene fisuras, que luego repercute hacia la superficie del pavimento y que prontamente el volverá a dañarse; por otro lado, refiere que las entidades del estado encargadas de realizar diversas acciones para el tratamiento vial, no cuentan con el sustento técnico para valorizar referidas acciones, por tanto, el problema de las vías dañadas son del tipo económico; también, refiere que, otra causa del deterioro de los pavimentos en Lima, es que no hay data del tráfico vehicular, y se realizan tratamientos al pavimento considerando solo vehículos de tráfico liviano, pero no se tiene en cuenta el tráfico pesado como camiones, los cuales generan alta presión sobre los

pavimentos causando esfuerzos compresionales mayores generando diversos tipos de fallas o deterioros en las vías (p. 1).

Coripuna y Huanacchiri (2019), refieren que una debilidad del sistema de carreteras Nacional en el Perú radica en que las vías pavimentadas presentan un componente crítico muy notorio de la infraestructura de transporte y que con los años el pavimento se deteriora, presentando diferentes fallas y afectando la serviciabilidad de la vía; también indican que una gran mayoría de las carreteras en el Perú tienen desgaste y están deterioradas por causas como el alto tránsito vehicular, procesos productivos erróneos, factores climáticos, el peso propio del pavimento y por deficiencias que a nivel de alcantarillado; agregan que, en ocasiones cuando se realiza la reparación de los pavimentos, la estructura del pavimento inicial se deja con menor calidad y con tendencia a fallar nuevamente, también refieren que la mayoría de pavimentos flexibles en el país no se evalúan de manera correcta o ni siquiera se realizan, y los únicos pavimentos flexibles evaluados son los que en mayoría son concesionados, es insuficiente realizar la intervención cuando el camino o carretera es intransitable pero que la acción óptima es realizar la evaluación de los pavimentos para así conocer su estado para una oportuna intervención y no incurrir en acciones de rehabilitación o reconstrucción que implica un mayor costo (pp. 4-5, 7-8).

1.1.2. Macro

Coripuna y Huanacchiri (2019), en su investigación concluyen que, con la aplicación de la metodología PCI se puede catalogar la condición del pavimento con

el fin de contar con categorías de acciones idóneas para proponer el tratamiento del pavimento (p. 113).

Tineo (2019), en su investigación concluye que con la metodología PCI se puede estimar y examinar todos los daños existentes en el pavimento (p. 134).

Andrade (2018), en su investigación concluye que, las vías en la ciudad de Valencia necesitan de una gestión planificada para realizar adecuadas acciones de mantenimiento, y que esto se conseguirá si se puede contar con la proyección del deterioro de la vía, y que están apareciendo nuevas metodologías como la regresión lineal, cadenas de Markov, redes neuronales entre otros (p. 76).

Jara (2020), en su investigación concluye que, la metodología del PCI es veraz y apropiado al momento de evaluar la superficie del pavimento, pues con la metodología se detalla el tipo de falla existente, y según esta metodología se puede proponer la categoría de acción a realizar en función del valor del PCI para el mejoramiento de la vía (p. 114).

Existe evidencia de que la metodología del PCI es correcta y aceptada por ser un procedimiento estandarizado para evaluar superficialmente el deterioro en los pavimentos, mediante una evaluación visual, en rangos de clasificación de daños por clase, severidad, cantidad o densidad; y a esto si le suma herramientas estadísticas para ver el comportamiento empírico del deterioro del pavimento en el tiempo, podría ser de suma importancia para los tomadores de decisiones en el estado puesto que permite una evaluación económica con perspectiva en el tiempo.

APSA Gestión de infraestructura, RUC: 20550059151, es una empresa chilena con sucursales en Perú y Colombia, el cual como parte de sus servicios que brinda,

realiza el cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI) en evaluaciones de pavimentos.

Geonaylamp S.A.C, RUC: 20547038569, es una empresa dedicada a la elaboración de expedientes técnicos, estudios de ingeniería geotécnica y laboratorio de mecánica de suelos, asfalto y concreto.

1.1.3. Micro

El deterioro de los pavimentos en diversos distritos de Lima, es cada vez un problema serio e inevitable para las municipalidades, pues se evidencia en la mayoría de estos, que su sistema de gestión vial es deficiente o no existe; asimismo, no se conoce a detalle un inventario de la infraestructura de las vías que puedan dar luces del estado de conservación del pavimento.

El deterioro de los pavimentos tiene diversas causas, los más comunes son: grietas por fatiga, que es originado por tensiones de tracción en la parte inferior de la capa asfáltica, producto de la flexión de dicha capa por el paso repetido de vehículos, y la deformación permanente o ahuellamiento, que es la alteración de nivel de la capa superior por hundimiento a lo largo de las huellas

Actuar sobre el deterioro del pavimento es de suma importancia porque la población necesita contar con un pavimento en buen estado, por lo que se hace necesario determinar en qué momento de la vida útil del pavimento se requiere intervenir para mejorar su funcionalidad y optimizar costos de mantenimiento y de mejora.

En el distrito de Los Olivos como en toda la capital, existe mucho deterioro de sus pavimentos flexibles por el aumento del flujo vehicular, el cual causa incomodidad a la población e inseguridad vial. La avenida Las Palmeras del distrito de Los Olivos,

es una de las avenidas más importantes del distrito, existen diversos daños en su pavimento flexible, el cual requiere un diagnóstico que indique el estado de la vía, para tratar el deterioro y fallas que presenta.

Cabe mencionar que, las diversas vías y calles que interceptan con esta avenida presentan similares daños en la carpeta asfáltica, por tal motivo se estimará el deterioro del pavimento en esta avenida y plantear tratamientos a las vías.

1.1.4. Nano

Con el objetivo de disminuir costos por rehabilitación o reconstrucción de pavimentos flexibles por causa del deterioro de las vías en el distrito de Los Olivos, surge la idea de proyectar una metodología con base en la metodología PCI y al análisis estadístico de regresión lineal, que permita contar con un modelo estadístico de estimaciones empírica del deterioro o condición del pavimento asfáltico, pues sería fundamental para el manejo eficiente del sistema de transporte en el distrito, para poder plantear niveles de intervención y con esto incrementar la vida útil de la estructura del pavimento asfáltico, el cual implicaría un ahorro significativo en el presupuesto, y con esto se mejorará la gestión de mantenimiento vial en el distrito.

1.2. Antecedentes de la investigación

“Evaluación del estado del pavimento asfáltico aplicando los métodos PCI y VIZIR para proponer alternativas de mantenimiento – Av. Canto Grande”.

(Tineo, 2019). Evaluar el estado del pavimento asfáltico en la avenida Canto Grande del distrito de San Juan de Lurigancho, aplicando los métodos del PCI y VIZIR, esto con la finalidad de proponer alternativas de mantenimiento que permitan extender la vida útil del pavimento asfáltico (p. 4). En la tesis se desarrolló una investigación

aplicada descriptiva, con base en las metodologías PCI y VIZIR con enfoque cuantitativo y prolectivo y de diseño observacional, longitudinal y prospectivo, y se tomó muestras de las vías colectoras de pavimento asfáltico para identificar y clasificar fallas existentes (pp. 72-73). De acuerdo a los resultados de la evaluación de la superficie de rodadura por las metodologías PCI y VIZIR se determinó el estado del pavimento asfáltico dando como resultado que por PCI las calzadas derecha e izquierda tienen una calificación promedio de 39.47 (condición mala) y 46.92 (condición regular) respectivamente, y que por VIZIR las calzadas derecha e izquierda tienen índices de deterioro superficial de 3.47 (condición marginal) y 2.75 (condición marginal) respectivamente (p. 118). Estos valores indican que corresponde realizar mantenimientos periódicos al pavimento asfáltico como tratamientos superficial, recapeo a 10 años, sellado asfáltico y fresado; también, con la metodología PCI se evaluó los tipos de daños que presentó en el pavimento, determinando el estado del pavimento como REGULAR, mientras que, con la metodología VIZIR solo se consideró los daños TIPO A que son daños estructurales omitiendo los daños TIPO B que son los funcionales y determinando el estado del pavimento como MARGINAL (pp. 133-134).

Referida investigación nos aporta metodologías para las evaluaciones técnicas del estado del pavimento asfáltico empleando métodos que permite conocer los tipos de daños presentes en el pavimento para la propuesta de alternativas de mantenimiento vial, con el fin de prolongar la vida útil del pavimento asfáltico y minimizar los costos de mantenimiento, el cual servirá para la evaluación de la unidad de estudio para la presente investigación.

“Evaluación superficial del pavimento flexible utilizando el método PCI contrastado con la guía PMBOK en la Avenida Independencia, Cajamarca 2017”.

(Salazar, 2019). Evaluar superficialmente el estado de conservación del pavimento flexible utilizando el método PCI, contrastado con los parámetros de gestión de la guía PMBOK, para mejorar el mantenimiento de la Avenida Independencia, Cajamarca 2017 (p. 20). En la tesis se desarrolló una investigación aplicada tecnológica, a nivel descriptivo, explicativo y de diseño experimental con temporalización transversal, usando el método de inspección visual y el método PCI para la evaluación superficial, permitiendo determinar la condición del pavimento flexible e identificar la clase, severidad y cantidad de fallas; también, se empleó la guía PMBOK para el análisis comparativo de resultados para el contraste del resultado del cálculo del PCI con los parámetros de gestión del alcance, tiempo, costo y calidad de la guía PMBOK para mejorar la gestión de los procesos de mantenimiento del pavimento asfáltico (pp. 22-24). De acuerdo a la contrastación entre el resultado de la evaluación del pavimento flexible utilizando el método PCI con los parámetros de gestión de la guía PMBOK (alcance, tiempo costo y calidad), se demuestra que existe una notable diferencia (p. 42). También, de la evaluación del pavimento flexible, se determinó que su estado de conservación es regular, con un PCI promedio de 49.09%, donde el área afectada indicada como Bueno representa el 22.67%, como Regular 48.00% y como Malo 29.33%; siendo el deterioro de mayor nivel encontrado el de peladura por intemperismos y desprendimiento de agregados, piel de cocodrilo y baches y parches de corte utilitario, con un nivel de severidad media y baja (p. 53).

Referida investigación permite contar con una metodología que permite determinar el estado de conservación del pavimento flexible utilizando la metodología del PCI y contrastado con los parámetros de gestión de la guía PMBOK para mejorar la gestión de mantenimiento, identificando los métodos idóneos para su rehabilitación y que servirá para tener una idea de posibles condiciones o estados del pavimento flexible utilizando la metodología del PCI en la evaluación de la unidad de estudio de la presente investigación.

“Evaluación del estado de conservación del pavimento, utilizando el método PCI con el software EvalPav, en las avenidas El Trébol, Venus y Manuel Gonzales Prada (km 0+000 - 2+383) del distrito de los olivos”.

(Coripuna y Huanacchiri, 2019). Determinar el estado de conservación del pavimento, utilizando el método PCI con el Software EvalPav, en las avenidas El Trébol, Venus y Gonzales Prada en Los Olivos (p. 12). En la tesis se desarrolló una metodología cuya investigación es aplicada, con enfoque cuantitativo, nivel descriptivo, diseño tipo no experimental, transversal y prospectivo, para el cual se ha recolectado, procesado y analizado los datos de campo en 3 tramos, en la cual el primer tramo cuenta con 4 carriles y el segundo y tercer tramo con 2 carriles de un total de 96 muestras, y que permitió determinar los parámetros de evaluación de la metodología PCI para conocer el estado de conservación del pavimento (pp. 65, 67). Según los tipos de fallas existentes en el pavimento, se clasificó el estado de las vías resultando que el PCI para el primer tramo tiene un valor promedio de 34 obtenido de los cuatro carriles que lo conforman, para el segundo tramo un valor promedio de 8 obtenido de los dos carriles que lo conforman y para el tercer tramo un valor 32.15

obtenido de los dos carriles que lo conforman, los cuales califican al pavimento como un estado malo, fallado y malo para el primer, segundo y tercer tramo respectivamente (pp. 89, 72, 95). También, de las evaluaciones realizadas con el software EvalPav al pavimento se identificó que la muestra tiene un PCI de 25 que lo define como un pavimento muy malo, y dentro de las evaluaciones a las muestras se encontró 15 clases de fallas con 3 tipos de severidad (baja, media y alta) y de diferentes extensiones, los cuales sirvieron como base para hallar el estado de conservación del pavimento (p. 113).

Referida investigación nos aporta una guía de información para la elaboración de un plan de mejoramiento de pavimentos, el cual permite tener una idea de la evaluación superficial de la capacidad funcional del pavimento identificando las fallas existentes mediante el Índice de Condición del Pavimento (PCI), el cual servirá para la identificación de posibles fallas en el pavimento para la presente investigación.

“Mejora de la gestión del mantenimiento de pavimentos urbanos en la ciudad de Valencia a través de la predicción de su deterioro”.

(Andrade, 2018). Conocer el estado del arte de los sistemas de gestión de pavimentos utilizados en el mundo; analizar el estado de las vías de la ciudad de Valencia (24 vías); categorizar el tráfico existente; ajustar los datos obtenidos a una curva de deterioro del índice de condición de pavimento a lo largo del tiempo y desarrollar una metodología para la predicción del deterioro (p. 7). Se analizó 24 vías de la ciudad de Valencia y la predicción de su deterioro en el tiempo, utilizando la metodología PCI, para el cual se utilizaron imágenes del pavimento obtenidas de Google Earth, evaluando los daños más representativos en diferentes años;

obteniendo valores para el PCI del pavimento en el tiempo que sirvió para la predicción del deterioro; también, se obtuvieron curvas PCI vs Edad de las imágenes del pavimento obtenidas de Google Earth y se compararon con las curvas teóricas; además, a partir de la curva teórica se realizó una proyección del PCI a junio 2018 y se comparó con el PCI real evaluado in situ para verificar si el modelo es adecuado (pp. 42-45). De acuerdo con los valores obtenidos se graficaron curvas PCI vs Edad para cada vía, el cual es muy importante para la obtención de la curva de deterioro del pavimento a través de los datos tomados de Google Earth, que permitirá visualizar la tendencia del deterioro que tendrá el pavimento a través del tiempo (p. 72). También, de las 24 muestras tomadas, 9 vías están por encima del 5% de error que permite el método PCI, por lo que la ecuación teórica no afirma una proyección de PCI adecuado, sin embargo, se propone una metodología con base en una ecuación cuadrática por cada vía; además, la metodología propone gestionar de una mejor manera el mantenimiento del pavimento y con ello conservar la vía con índices de servicio adecuados a lo largo de la vida útil (pp. 76-77).

Referida investigación aporta una metodología útil en relación a valores obtenidos para diferentes años y a un criterio técnico para poder formular una ecuación de regresión para el pavimento, de forma que mediante tres o cuatro valores del PCI en el tiempo tomados mediante Google Earth, se predice el deterioro del pavimento, con un bajo error en comparación con otros tipos análisis, y que servirá para tener una idea en el planteamiento del modelo de predicción del pavimento de la presente investigación.

“Determinación de fallas en el pavimento flexible de la Av. John F. Kennedy ubicada en la ciudad de Jipijapa”.

(Ponce, 2019). Determinar las fallas del pavimento flexible, aplicando el método PCI en la Av. John F. Kennedy ubicada en la ciudad de Jipijapa (p. 2). En la tesis se desarrolló una investigación aplicada, con una metodología cuantitativa y cualitativa, y en un pavimento de 693 m de longitud se han tomado 22 unidades de muestreo de las cuales se seleccionó 10 muestras de forma aleatoria, además, se han usado técnicas de evaluación y registro para cada uno de los deterioros con su respectiva gravedad y análisis de daños de acuerdo con el manual del PCI de la Norma ASTM D6433-07 (pp. 60, 62-63). De acuerdo a los datos obtenidos, se identificó las fallas presentes en el pavimento flexible a través de una inspección visual; también, se logró ingresar los datos de campo en las fichas de registro, de tal forma que se clasificó cada falla con su respectivo nivel de severidad, se procesó y determinó la densidad de cada falla; además, se determinó el IPC y el tipo de mantenimiento que se requiere para el mejoramiento del pavimento de los cuales se obtuvo un PCI entre 0 y 30, que indica un estado malo y requiere construcción, un PCI entre 31 y 70, que indica un estado regular y requiere rehabilitación, y un PCI entre 71 y 100 que indica un estado bueno y solo requiere mantenimiento (pp. 64, 84, 95, 103). También, la evaluación del pavimento mediante los métodos y técnicas establecidas por el método PCI se pudo realizar de una manera rápida, segura y confiable; y de acuerdo a los datos ingresados de cada uno de las dimensiones de las fallas analizadas presentan diferentes tipos de deterioros y severidades como piel de cocodrilo, agrietamiento por fatiga, baches, meteorización y desprendimiento de agregados; y se logró

determinar la condición final del pavimento flexible de acuerdo a las normas ASTM, indicando que, el estado del pavimento se clasifica como malo (p. 104).

La presente investigación nos aporta información para evaluar la condición que presenta el pavimento flexible con altos niveles de severidad realizando una inspección detallada en el sitio de estudio, y siguiendo detalladamente cada uno de los pasos descritos en la norma para calcular la condición final del pavimento, el cual permite determinar una solución recomendable para evitar que los daños puedan incrementar la severidad y prolongar la vida útil del pavimento.

“Aplicación y comparación de las diferentes metodologías de diagnóstico para la conservación y mantenimiento del tramo PR 00+000 – PR 01+020 de la vía al llano (Dg. 78 Bis Sur – Calle 84 Sur) en la UPZ Yomasa”.

(Sierra y Rivas, 2016). Analizar, evaluar y comparar la aplicación de las metodologías VIZIR, Y PCI en un pavimento flexible en el tramo PR 00+000 – PR 01+020 de la vía al llano (Dg 78 bis sur – calle 84 sur) en la UPZ Yomasa (p. 20). En la tesis se desarrolló una metodología en la cual se recopiló antecedentes en cuanto a estrategias de conservación y mantenimiento de carreteras por los métodos VIZIR y PCI, así como también, daños en pavimentos flexibles, que sirvieron de soporte para realizar la aplicación con los métodos VIZIR y PCI basados en información real para el cual se levantó información de daños existentes, y se experimentó en una vía de rodadura flexible con características para evaluar estructuralmente las diversas manifestaciones del deterioro de la superficie de rodadura (p. 24). De acuerdo con la evaluación a la vía de rodadura flexible con las metodologías PCI y VIZIR, se obtuvo valores numéricos de clasificación promedio de 89 (calificado como

excelente) y de 2 (calificado como bueno) respectivamente; asimismo, se realizó un perfil comparativo de ambas metodologías y que, por tener escalas de clasificación diferentes, se tuvo que se unificar los criterios transformando la escala VIZIR en porcentajes PCI para tener una mejor comparación y a escalas reales, resultando que la tendencia es paralela entre las dos metodologías debido al alto rango de variedad y el nivel de escalas de la metodología PCI. (pp. 58-59). Con la metodología PCI se evalúa todos los tipos de daños, deterioros o fallos que el pavimento pueda padecer, mientras que con la metodología VIZIR se evalúa con más rigurosidad los daños estructurales que son catalogados por esta como daños tipo A (ahuellamientos, parches, grietas longitudinales y piel de cocodrilo) y no tiene en cuenta los daños funcionales catalogados como daños tipo B; asimismo, realizando una comparación entre ambas metodologías se observó que la más completa es la metodología PCI, por ende es más compleja y difícil de realizar (p. 62).

La presente investigación nos aporta un análisis detallado y una comparación que nos lleva a la conclusión más idónea para una mejor alternativa de cuantificación para el mantenimiento y rehabilitación de pavimentos flexibles aplicando las metodologías PCI y VIZIR, que permitirá tener una mejor idea de evaluación del pavimento flexible para la presente tesis.

1.3. Bases teóricas

1.3.1. Deterioro

Según el Diccionario de la Real Academia de la Lengua, deterioro es “Acción y efecto de deteriorar o deteriorarse” (del.rae.es, 2020).

Asimismo, según el Diccionario de la Real Academia de la Lengua, deteriorar es “Dicho de una cosa o de una persona. Pasar a un peor estado o condición.” (del.rae.es, 2020).

“El deterioro es el desgaste que se produce por obra del uso, de fenómenos climáticos, accidentes, hechos voluntarios, o del paso del tiempo que afecta tanto a las cosas animadas como inanimadas. El deterioro es un concepto negativo que indica que la apariencia o la función de algo o alguien es menor con referencia a otro estado anterior” (deconceptos.com, s.f.).

También, otra definición para deterioro es “Degeneración, empeoramiento gradual de algo” (WordReference.com, s.f.).

1.3.2. Deterioro del Pavimento

De acuerdo con Gamboa (2009), las vías sufren desperfectos periódicamente por causas externas como la lluvia, el flujo vehicular entre otros, y esta puede volverse una vía intransitable, originándose desde un deterioro imperceptibles hasta el deterioro total del pavimento; también refiere que las vías se proyectan para para que funcionen cierto tiempo o tengan una cierta duración a lo que se nombra como ciclo de vida útil de la vía (p. 12).

1.3.3. Definición de Pavimento

El Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección suelos y pavimentos, publicado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, define el pavimento como una estructura conformada por niveles y fabricada sobre la subrasante de la vía el cual soporta y reparte fuerzas provocadas por el flujo vehicular y aumenta la calidad de seguridad y comodidad para la

circulación vehicular. También refiere que, el pavimento está estructurada casi siempre por los niveles: base, subbase y capa de rodadura (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2014, p. 21).

Hidalgo (2007) define el pavimento como una estructura de soporte conformado por niveles sobre las que actúan fuerzas repetidas procedentes de la carga vehicular en su superficie, el cual debe ser capaz de transferir durante su existencia las fuerzas de tensión causadas por estas hacia la subrasante y también hacia los materiales conformados de sus niveles para que no se superen las fuerzas de tensión y deformaciones específicas admisibles del cimiento (p. 25).

1.3.3.1. Capa de rodadura

El Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección suelos y pavimentos, publicado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, define la capa de rodadura como el nivel superior del pavimento, el cual puede ser flexible, rígido o de adoquines, cuya competencia es soportar el tránsito vehicular directamente (MTC, 2014, p. 21).

1.3.3.2. Base

El Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección suelos y pavimentos, publicado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, define a la base del pavimento como el nivel que está por debajo a la capa de rodadura, que soporta, reparte y transmite las fuerzas originadas por el tránsito vehicular. Este nivel es producido de material granular drenante ($CBR \geq 80\%$) y también puede ser producido con asfalto, cal o cemento (MTC, 2014, p. 21).

1.3.3.3. Subbase

El Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección suelos y pavimentos, publicado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, define a la subbase del pavimento como un nivel de material específico y espesor de diseño determinado, el cual sostiene a la base y a la carpeta de rodadura; este nivel funciona como drenaje y moderador de la capilaridad del agua. También, de ser el tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, este nivel puede no considerarse; este nivel puede ser producido de material granular ($\text{CBR} \geq 40\%$) o producido con asfalto, cal o cemento (MTC, 2014, p. 21).

1.3.3.4. Sub rasante

El Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección suelos y pavimentos, publicado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, define a la Sub rasante del pavimento como la superficie finalizada de la vía a nivel de corte y relleno, en el que se coloca la estructura afirmada; también refiere que la subrasante forma parte del prisma de la vía y se fabrica entre el terreno natural allanado y la estructura del pavimento, siendo la capa superior del terraplén el cual está configurada por suelos con bondades aceptables y compactados por niveles para conformar un cuerpo estable en muy buenas condiciones para que no se afecte la carga de diseño proveniente del tránsito vehicular. También refiere que la capacidad de aguante en la calidad del servicio, sumado con el tránsito vehicular y las bondades de los materiales de construcción de la superficie de rodadura

conforman los elementos principales para el diseño de la estructura del pavimento que se debe colocar en la parte superior (MTC, 2014, p. 20).

1.3.4. Definición de Pavimento Flexible

El Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección suelos y pavimentos, publicado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, define el pavimento flexible

Como una estructura conformada por la base y subbase (niveles granulares) y como capa de rodadura (nivel aglomerante, de agregados y aditivos). También refiere que el pavimento flexible es el nivel que básicamente está sobre capas granulares: mezclas asfálticas en frío y en caliente, mortero asfáltico, tratamiento superficial bicapa, micropavimentos, macadam asfáltico (MTC, 2014, p. 22).

1.3.5. Estructura del pavimento asfáltico

A groso modo se puede decir que este tipo de pavimento tiene una estructura conformada por tres capas o niveles de composición granular, los cuales son la base, subbase y la capa de rodadura, y en la parte inferior se encuentra como soporte la sub rasante, tal como se muestra a continuación:

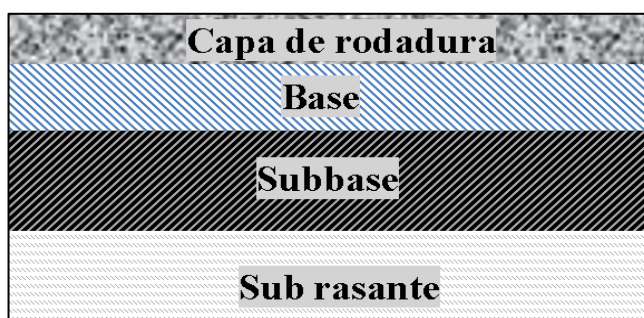


Figura 1. Estructura del pavimento asfáltico

1.3.6. Clasificación de pavimentos

Según Rodríguez y Rodríguez (2004), el pavimento flexible es un concepto nace a raíz de que una superficie bituminosa es plástica y fluye bajo cargas periódicas, siendo la capa bituminosa una combinación de agregados pétreos y cemento asfáltico funcionando como aglutinante; y por el tipo de mezcla los pavimentos flexibles se pueden clasificar del siguiente modo: Mezclas asfálticas en frío, Mezclas asfálticas en caliente, Tratamiento superficial y Macadam asfáltico (p. 26).

1.3.7. Serviciabilidad de pavimentos

De acuerdo con Martínez y Noguera (2020), sostienen que, el índice de serviciabilidad de inicio es una condición con el que cuenta un pavimento inmediatamente posterior a la construcción del mismo, y para elegirlo es necesario considerar los métodos de construcción, porque de esto depende la calidad del pavimento; además, la serviciabilidad se define como la condición necesaria del pavimento de servir al tipo de tráfico vehicular (autos y camiones) que circulan en él; que se mide en un intervalo discreto del 0 al 5 en el cual 0 (cero) lo califica como pavimento intransitable y 5 (cinco) lo califica como pavimento excelente o en buenas condiciones; también, indican que la serviciabilidad es una valor subjetivo de la calificación del pavimento, con tendencia en poder definirla con parámetros cuantificables (p. 23).

1.3.8. Rol estructural del pavimento asfáltico

Los roles estructurales del pavimento asfáltico, de acuerdo con Hidalgo (2007), se indican en la siguiente tabla:

Tabla 1.

El rol estructural del pavimento asfáltico

Capas	Rol	Mecanismo de degradación a tener en cuenta para un dimensionamiento adecuado	Propiedades mecánicas importantes
SUELO DE CIMENTACIÓN	Soporte del pavimento lo que condiciona el dimensionamiento	Deformación permanente excesiva	Resistencia (módulo y resistencia a la deformación permanente).
SUBBASE GRANULAR	- Evitar la deformación excesiva del suelo después de la construcción. - Protección del suelo contra el hielo. - Capa anticontaminante. - Drenaje.	Deformación permanente excesiva	Módulo y resistencia a la deformación permanente.
BASE	- Evitar la deformación permanente de las capas subyacentes. - Proporcionar un soporte estable al revestimiento.	- Deformación permanente excesiva para una base granular. - Fisuración por fatiga en bases estabilizadas con cemento	- Módulo y resistencia a la deformación permanente en bases granulares. - Módulo de resistencia a la fisuración por fatiga en bases estabilizadas con cemento.
CAPA DE RODADURA	- Superficie de rodadura (confort y seguridad). - Capa soportante. - Impermeabilización del pavimento.	Fisuración por fatiga y deformación permanente excesiva	- Módulo y resistencia a la fisuración por fatiga. - Resistencia a la deformación permanente.

Fuente: Hidalgo (2007, p. 34)

1.3.9. Ciclo de vida del Pavimento

Las etapas o fases que los pavimentos flexibles que presentan durante su ciclo de vida en función a su comportamiento, según Rodríguez y Rodríguez (2004), son los siguientes:

- Fase de consolidación, es la fase de inicio en la vida del pavimento flexible, y las capas del pavimento se consolidan por la transmisión de cargas por parte de las llantas de los vehículos. Es una fase corta que tiende a estabilizarse con rapidez; esta fase depende de la compactación aplicada a las capas del pavimento en su construcción.

- Fase elástica, el cual inicia al terminar la anterior fase, y corresponde a la vida útil del pavimento; cabe mencionar que, si ocurre la fase de consolidación, cada carga provoca deformación de tipo permanente, que tiende a transformarse en deformación transitoria de recuperación instantanea de tipo elástico; asimismo, durante esta fase no se presentan fallas generalizadas en el pavimento, salvo deformaciones o fallas por defectos de materiales, exceso de humedad, etc., también, en esta fase elástica las deformaciones causadas por las cargas, producen esfuerzos de tensión en las capas asfálticas y esfuerzos de compresión en las capas granulares; por otro lado, la vida del pavimento depende de la fase elástica y de su duración, el cual implica que, esta muy ligado a las deflexiones que pueda sufrir el pavimento.
- Fase de fatiga, que es considerado la fase final en la vida de la estructura por el constante tránsito vehicular el cual causa deflexiones que provocan tensiones de tracción en los revestimientos asfálticos, y que se han estado acumulando desde la fase anterior y dura hasta que la capa se rompe por fatiga despues de cierto numero de pasadas vehicular, y desde ese momento comienza un colapso gradual en el pavimento, requiriendose una reconstrucción del pavimento. Cabe precisar que, la rotura por fatiga comienza con la aparición de grietas longitudinales que sumado con el constante tránsito vehicular y la penetración de las aguas superficiales dentro del pavimento, provocan el colapsoo del pavimento, llegando al final de su vida útil (pp. 30-32).

La siguiente tabla, extraída del Reglamento Nacional de Edificaciones - Norma Técnica CE. 010 – Pavimentos Urbanos, muestra la calificación del índice de serviciabilidad:

Tabla 2.

Valores de PSI y calificación de la serviciabilidad

PSI	Calificación
0.0	Intransitable
0.1 – 1.0	Muy malo
1.1 – 2.0	Malo
2.1 – 3.0	Regular
3.1 – 4.0	Bueno
4.1 – 4.9	Muy bueno
5.0	Excelente

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), 2010

Por otro lado, Gamboa (2009), refiere que los pavimentos exigen un tratamiento en su vida útil lo cual refleja inversiones importantes para mantener los estándares de calidad y alargar su duración, y sufren deterioros constantes por causa de diversos factores; asimismo, refiere que el ciclo de vida del pavimento puede clasificarse en cuatro etapas:

a. Primera etapa: Construcción.

La condición del pavimento es excelente y cumple con los estándares de calidad para satisfacer a los usuarios.

b. Segunda etapa: Deterioro imperceptible.

La vía ha sufrido un desgaste progresivo en el tiempo, existe fallas, pero es poco visible. Generalmente el mayor daño se produce en la superficie de rodadura debido al tránsito y clima. Para disminuir el deterioro o desgaste se hace necesario aplicar acciones de tratamiento, pues si no se

efectúan la vida útil del pavimento se reduce drásticamente. El camino aún se encuentra en buenas condiciones y sirviendo adecuadamente a los usuarios y la calificación del estado de la vía varía desde excelente a regular.

c. Tercera etapa: Deterioro acelerado.

Luego de cierto tiempo, los elementos de la vía están cada vez más deteriorados, la resistencia al tránsito se ve reducida. La estructura básica del pavimento está dañada, se verifica fallas visibles en la superficie de rodadura. Esta etapa es de corta duración pues la destrucción del pavimento es acelerada, la calificación del estado de la vía varía desde regular hasta muy pobre.

d. Cuarta etapa: Deterioro total.

Esta etapa puede durar varios años manifestando el desgaste completo de la vía. La transitabilidad se reduce mucho y los vehículos empiezan a experimentar daños en sus llantas, ejes, etc. La vía se hace intransitable para vehículos menores (pp. 12-13).

1.3.10. Factores que causan el deterioro asfáltico

Los factores que causan el deterioro al pavimento son varias, y de acuerdo con Humpiri (2015), afirma que independientemente del método y calidad del diseño de un pavimento, afectan de gran forma al pavimento, y se puede considerar los siguientes factores:

- a. Característica de los materiales, puesto que es importante en el comportamiento y espesor requerido en la estructura de un pavimento

flexible; y para determinar referida característica de los materiales, se obtiene aplicando un estudio de Mecánica de Suelos.

- b. Clima, siendo el más representativo la precipitación pluvial, directa o por elevación de aguas freáticas, también, durante las heladas, el agua que se encuentra dentro del pavimento se convierte en cristales de hielo y daña directamente el comportamiento estructural del pavimento en la capa de rodadura, y cuando existe deshielo, el agua del suelo es muy elevado dentro de un espesor muy variable.
- c. Tránsito, pues produce cargas sobre el pavimento; y es muy importante estimar esas cargas y las presiones de inflado en las llantas en el diseño del pavimento, así como también, el área de contacto, su disposición y arreglo en el vehículo, la frecuencia y número de repeticiones de las cargas y las velocidades de aplicación.
- d. Drenaje, se conoce que el agua es considerada como elemento principal que mayores problemas causa al pavimento; entonces, se debe resolver el tema del drenaje en los pavimentos, pues se debe evitar que el agua toque el pavimento, por tanto, un buen drenaje es el alma del pavimento, ya que cumple una función muy importante en el comportamiento estructural del pavimento reflejándose en la vida útil (pp. 5-6).
- e. Otros autores, refieren sobre factores adicionales que causan deterioro asfáltico, los cuales se indican a continuación:
 - Deficiencias durante el proceso constructivo
 - Deficiente mantenimiento

- Efectos medio ambientales

1.3.11. Norma Técnica ASTM D6433-03

La Norma Técnica internacional ASTM D6433-03, publicada el 2004, es una práctica estándar para Inspección del Índice de la Condición de Pavimentos para Caminos y Estacionamientos el cual se encuentra bajo la jurisdicción del Comité ASTM E17 Sistemas de Pavimentos para Vehículos y bajo responsabilidad directa del Subcomité E17.41. Gerencia de Pavimentos. Este procedimiento determina la condición del pavimento y estacionamientos a través de inspecciones visuales usando el método del Índice de Condición del Pavimento (PCI). Esta normativa refiere que, el PCI fue desarrollado por Ingenieros del Ejército de EE.UU. y ha sido verificado y adoptado por el DOD y APWA, siendo los valores establecidos en unidades de pulgada-libra y que deben considerarse como valores estándar.

1.3.12. Metodología PCI

Es de mucha importancia la evaluación del pavimento para conocer la magnitud de su deterioro, para que, de forma oportuna e idónea sea contrarrestado, y con ello, prolongar su vida útil y optimizar costos; el Índice de Condición del Pavimento (Pavement Condition Index: PCI) es una metodología que sirve para la evaluación y calificación objetiva de los pavimentos flexibles y rígidos para determinar el estado estructural del pavimento y de la condición de operacional para poder contrarrestarlo con un tratamiento y mantenimiento idóneo; cabe mencionar que, esta metodología es de fácil entendimiento e implementación, no requiere de herramientas sofisticadas adicionales en su procedimiento. Esta metodología sirve para identificar los daños superficiales de un pavimento mediante la evaluación o inspección visual, clasificación de daños por clase, la severidad y la densidad.

Según la norma ASTM D6433-03 (2004), se refiere que: “El PCI es un indicador numérico que le da una calificación a las condiciones superficiales del pavimento. El PCI proporciona una medición de las condiciones actuales del pavimento basada en las fallas observadas en su superficie, indicando también su integridad estructural y condiciones operacionales (rugosidad localizada y seguridad). El PCI no puede medir la capacidad estructural del pavimento, y tampoco proporciona determinación directa sobre el coeficiente de resistencia a la fricción (resistencia al resbalamiento) o la rugosidad general. Proporciona una base objetiva y racional para determinar las necesidades y prioridades de reparación y mantenimiento. Un monitoreo continuo del PCI es utilizado para establecer el ritmo de deterioro del pavimento, a partir del cual se identifican con la debida anticipación las necesidades de rehabilitación mayores. El PCI proporciona información sobre el rendimiento del pavimento para su validación o para incorporar mejoras en su diseño y procedimientos de mantenimiento” (p. 4).

Vásquez (2002), refiere sobre el PCI que: “El deterioro de la estructura de pavimento es una función de la clase de daño, su severidad y cantidad o densidad del mismo. La formulación de un índice que tuviese en cuenta los tres factores mencionados ha sido problemática debido al gran número de posibles condiciones. Para superar esta dificultad se introdujeron los “valores deducidos”, como un arquetipo de factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad tiene sobre la condición del pavimento” (p. 2).

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0) hasta cien (100), a continuación, se presentan los intervalos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento:

Tabla 3.

Rangos de calificación del PCI

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

Fuente: Vásquez (2002, p. 2)

Vásquez (2002), refiere que calcular el Índice de Condición del Pavimento se basa en una revisión visual del estado del pavimento medido por tipo de clase, cantidad y severidad en función del tipo de falla para desarrollar un valor que refleje la integridad estructural del pavimento y la situación de funcionamiento de la superficie (p. 2).

1.3.13. Regresión lineal simple

Córdova (2003), explica la regresión lineal simple: “Dados n pares de valores $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ de una variable bidimensional (X, Y) . La regresión lineal simple de Y con respecto a X , consiste en determinar la ecuación de la recta: $Y = a + bX$, que mejor se ajuste a los valores de la muestra, con el fin de predecir o estimar Y . El proceso de predecir o estimar Y a partir de la variable X , es la regresión; hallar la función lineal $Y = a + bX$, consiste en determinar los valores de a y b a partir de los datos de la muestra. Usaremos la notación \hat{y}_i para representar un

valor de Y calculado de la ecuación $Y = a + bX$ cuando X es igual a x_i . Esto es, $\hat{y}_i = a + bx_i$. Al valor \hat{y}_i se denomina valor estimado o predicho o ajustado de Y cuando $X = x_i$. Si x_i es un valor de la muestra, entonces (x_i, \hat{y}_i) es un punto de la recta de regresión $Y = a + bX$.

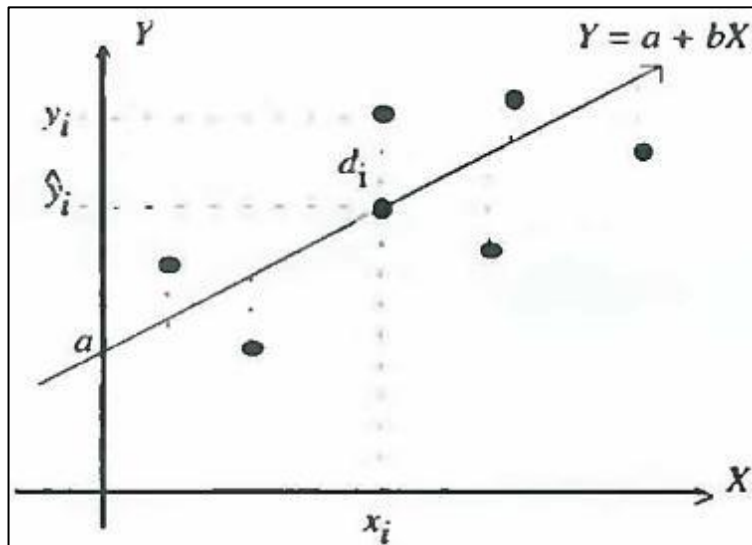


Figura 2. Desviaciones de valores observados y ajustados

Fuente: Estadística Descriptiva e Inferencial y Aplicaciones, Córdova (2003)

Definición. Se denomina error o residuo a cada diferencia $d_i = y_i - \hat{y}_i$ del valor observado y_i y el valor pronosticado \hat{y}_i . Un método para determinar la recta que mejor se ajuste a los n datos de la muestra (x_i, y_i) es el método de los mínimos cuadrados” (pp. 90-91).

1.3.14. Recta de regresión de mínimos cuadrados

Según explica Córdova (2003), la recta de regresión de mínimos cuadrados:

“La recta de regresión de mínimos cuadrados de Y en X es aquella que hace mínima la suma de los cuadrados de errores (SCE) cuya expresión es: $SCE = \sum_{i=1}^n d_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2$; luego, de determinar una recta de regresión de mínimos cuadrados consiste en hallar los valores de a y b de manera que hagan

mínima, la suma: $SCE = \sum_{i=1}^n (y_i - (a + bx_i))^2$. Este requisito se cumple, de acuerdo con el teorema de Gauss-Markow, si a y b se determinan resolviendo el siguiente sistema de ecuaciones normales: $\sum_{i=1}^n y_i = na + b \sum_{i=1}^n x_i$; $\sum_{i=1}^n x_i y_i = a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2$. Estas ecuaciones se obtienen de igualar a cero las derivadas de SCE con respecto a “a” y con respecto a “b” respectivamente consideradas como variables, ya que (x_i, y_i) son datos observados; resolviendo el sistema de ecuaciones normales para b, se obtiene: $b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$, o $b = \frac{S_{xy}}{S_x^2}$, y dividiendo por “n” la primera ecuación normal, se tiene el valor: $a = \bar{y} - b\bar{x}$; Nota: sustituyendo $a = \bar{y} - b\bar{x}$ en $Y = a + bX$, resulta $y - \bar{y} = b(X - \bar{x})$, que es otra forma de expresar la recta de regresión. Observar que la recta de regresión contiene al punto (\bar{x}, \bar{y}) cuyas componentes son las medias de X y de Y respectivamente” (pp. 91-92).

Con la herramienta estadística de regresión lineal se pretende analizar el comportamiento del deterioro del pavimento asfáltico en el tiempo, a través de data histórica; para establecer una relación empírica entre el PCI y el tiempo, y que, por tener como variable al tiempo, la regresión se puede denominar como una serie de tiempo.

1.3.15. Coeficiente de correlación lineal de Pearson

Según Córdova (2003), el coeficiente de correlación lineal de Pearson de n pares de valores $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ de una variable bidimensional (X, Y) , es el número abstracto r que se calcula por $r = S_{xy}/S_x S_y$, donde S_{xy} es la covarianza de X e Y, S_x es la desviación estándar de X, S_y es la desviación estándar de Y. se verifica que:

Ecuación 1. Coeficiente de correlación lineal de Pearson

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \sqrt{n \sum y^2 - (\sum y)^2}}$$

Donde el coeficiente de correlación r es un número que se encuentra entre -1 y $+1$.

Esto se interpreta de la siguiente manera:

- Si $r = 1$, se dice que hay una correlación perfecta positiva
- Si $r = -1$, se dice que hay una correlación perfecta negativa
- Si $r = 0$, se dice que no hay correlación entre las dos variables (pp. 89-90).

1.3.16. Coeficiente de determinación

Según Córdova (2003), el coeficiente de determinación r^2 de la regresión Y en X está dada por la siguiente expresión:

Ecuación 2. Coeficiente de determinación

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

Donde:

- \hat{y}_i se denomina valor estimado o predicho o ajustado de Y cuando $X = x_i$.
- \bar{y} es la media de Y .
- y_i es el valor observado.

Consecuencias:

- El valor de r^2 varia: $0 \leq r^2 \leq 1$, entonces:
 - Si $r > 0$, se dice que existe una correlación directa positiva, ambas variables aumentan (o disminuyen) simultáneamente.

- Si $r < 0$, se dice que existe una correlación inversa negativa, mientras los valores de una variable aumentan, los de la otra disminuyen y viceversa.
- Si $r = 0$, se dice que no hay correlación entre X e Y, por lo tanto, no hay regresión de Y en X.
- Si todos los y_i están en la recta de regresión, se dice que hay una correlación perfecta entre X e Y.
 - Si $r = 1$, se dice que hay una correlación perfecta positiva
 - Si $r = -1$, se dice que hay una correlación perfecta negativa
- Si y_i no cambia cuando x_i o todas las predicciones son iguales a una misma constante, en este caso no hay correlación ni regresión ($r^2 = 0$)
- El coeficiente de determinación r^2 , es pues una medida de proximidad del ajuste de la recta de regresión. Cuanto mayor sea el valor de r^2 , mejor será el ajuste y más útil la recta de regresión como instrumento de predicción (pp. 99-100).

1.3.17. Google Maps

El Google Maps es un sistema de información geográfica en el cual se puede visualizar cartográficamente todo el mundo de forma virtual, con base en imágenes y planos desplazables tomadas satelitalmente de alta resolución, cuenta con GPS (Sistema de Posicionamiento Global), el cual permite contar con mapas detallados de carreteras, imágenes panorámicas desde calles y lugares de cualquier parte del mundo. Esta tecnología será utilizada en la presente investigación porque permitirá acceder a imágenes del pavimento asfáltico de la avenida Las Palmeras que son insumos para la evaluación mediante la metodología del PCI.

1.3.18. Rehabilitación y mantenimiento de pavimentos flexibles

De acuerdo con el Manual de Carreteras Mantenimiento o Conservación Vial del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018), refiere que la conservación vial es un conjunto de fases sucesivas de actividades de obras e instalaciones, que se realizan constantemente en una red vial ; también refiere que, la consevación constante es una serie de actividades necesarias para cuidar la seguridad del camino y para prevenir del avance de fallas o deterioros en toda la via (pistas, puentes y túneles, señales y dispositivos de seguridad, obras de drenaje, contención de taludes, limpieza de carreteras, etc.). La conservación constante o rutinaria trata de evitar y de ser el caso, corregir el deterioro que cause incomodidad o perturbar la circulación vehicular y evitar riesgos de accidentes y evitar frenar el deterioro en la infraestructura vial (p. 33-34).

Garcés (2017), clasifica las actividades de conservación vial en función de la magnitud y frecuencia con que se van a realizar referidas actividades.

- Actividades de conservación vial en función de la magnitud de actividades necesarias mantenimiento que pueden ser preventivos y correctivos.
- Actividades en función de la frecuencia con que se reiteran, los cuales pueden ser actividades rutinarias y periódicas (p. 79).

1.3.18.1. Conservación Rutinaria

De acuerdo con el Manual de Carreteras Mantenimiento o Conservación Vial del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018), la conservación rutinaria es un conjunto de acciones necesarias que se

realizan para cuidar la seguridad de la vía y para alertar a los usuarios de las condiciones requeridas para transitar sin riesgos en vías con buenas condiciones (p. 24).

Jugo (2005), refiere que el mantenimiento o conservación rutinario debe considerar las siguientes actividades:

- Mantenimiento y limpieza de obras de desagüe
- Inspección de la vegetación próxima a la vía
- Atención a ciertos desperfectos en la superficie (p. 9).

1.3.18.2. Conservación periódica

De acuerdo con el Manual de Carreteras Mantenimiento o Conservación Vial del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018), la conservación periódica es el conjunto de actividades periódicas que por lo general se ejecutan en un año, con el fin de prevenir la aparición de fallas mayores, de conservar las características superficiales de la vía, su conformación estructural y de cambiar defectos puntuales mayores (p. 9).

Jugo (2005), refiere que en la conservación de la vía se considera las siguientes actividades:

- Mantenimiento y/o reparación de elementos físicos del camino
- Adecuado señalamiento
- Estabilización y protección de los taludes
- Sellado de grietas
- Bacheo de emergencia, superficial, de carpeta o profundo
- Sello asfáltico localizado

- Nivelación localizada
- Fresado y/o texturización localizada (p. 9-10).

1.3.18.3. Mantenimiento Preventivo

De acuerdo con el Manual de Carreteras Mantenimiento o Conservación Vial del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018), refiere que, para lograr el mantenimiento vial de conservación de las condiciones físicas de la vía, se debe apuntar a la aplicación de una gestión con criterio preventivo, el cual es un cambio en la práctica tradicional de trabajo de reparar lo dañado por el de evitar dañar se debe fomentar las acciones preventivas antes que las correctivas (p. 9).

1.3.18.4. Mantenimiento correctivo

De acuerdo con Jugo (2005), el mantenimiento correctivo es realizar acciones de protección del pavimento para corregir pequeñas fallas cuando recién aparecen en la vía; se realiza mantenimiento preventivo para corregir o reparar fallas que impidan que el pavimento brinde un nivel óptimo de servicio o exista algún peligro para el usuario de la vía. También refiere que, si el pavimento alcanza un alto nivel de deterioro, entonces las acciones de mantenimiento se hacen más costosas y poco efectivas y será difícil mejorar la condición en general de la estructura vial. Finalmente señala que el nivel de calidad y el costo del mantenimiento son indicadores del deterioro y surge la necesidad de tomar acciones de tratamiento en el pavimento. Jugo también refiere que, dentro de las acciones de mantenimiento correctivo se debe considerar:

- Tratamientos superficiales del pavimento

- Capas o estratos asfálticas
- Remoción por fresado
- Reciclado en frío o en caliente (p. 12-13).

1.3.18.5. Mantenimiento de emergencia

De acuerdo con el Manual de Carreteras Mantenimiento o Conservación Vial del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018), las emergencias viales ocurren naturalmente, ocasionando fallas a la infraestructura vial afectando la circulación vehicular y sus condiciones de seguridad. Las emergencias viales son atendidas a la brevedad con el fin de reponer la transitabilidad; luego, se debe realizar trabajos de reparación, reconstrucción y prevención para recuperar el nivel óptimo de servicio del pavimento (p. 36).

1.3.18.6. Rehabilitación de pavimentos

Garcés (2017), refiere que para la rehabilitación de pavimentos se debe realizar actividades que guíen a sanar el estado del pavimento, rescatando las propiedades iniciales de la vía, para contar con una estructura adecuada con capacidad de soportar la circulación vehicular sin ningún tipo de modificación en su sección interna transversal. Asimismo, refiere algunas acciones de rehabilitación de pavimentos, los cuales se indican a continuación:

- Variación de materiales
- Estabilizar la calzada
- Transformación en concreto macizo
- Reconstruir (p. 81).

1.4. Justificación

La presente investigación está orientada a incentivar el mantenimiento del pavimento asfáltico, detectando las fallas en el pavimento a tiempo para plantear alternativas de solución con el fin de incrementar el tiempo de vida útil, mejorar la serviciabilidad, transitabilidad, seguridad y comodidad a los usuarios de la vía.

Se realizó un análisis exhaustivo aplicando la metodología PCI en la evaluación del pavimento asfáltico de la avenida Las Palmeras ubicado en el distrito de los Olivos para determinar la cantidad de fallas que presenta la referida unidad de estudio, también se realizaron mediciones del nivel de daño y severidad del mismo, permitiendo conocer sobre el estado situacional del pavimento, para proponer posibles niveles de intervención.

La presente investigación servirá como referente para futuras investigaciones afines a la estimación de fallas en superficies de pavimentos flexibles, asimismo, se presenta un modelo estadístico de predicción del deterioro de pavimentos, con el fin de contar con información futura aproximada del posible estado de deterioro del pavimento y que será de gran ayuda al distrito de Los Olivos entre otros, para la evaluación económica de sus vías prospectivamente y realizar de forma oportuna las actividades de mantenimiento vial, mejorar la planificación, ejecución y control del mismo.

1.5. Formulación del problema

¿Cuál es la estimación del deterioro del pavimento asfáltico de la avenida Las Palmeras, distrito de Los Olivos - Lima 2021?

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Determinar la estimación del deterioro del pavimento asfáltico de la avenida Las Palmeras, distrito de Los Olivos - Lima 2021.

1.6.2. Objetivos específicos

- Determinar el estado de deterioro del pavimento asfáltico, aplicando la metodología del PCI, en la avenida Las Palmeras, distrito de Los Olivos - Lima 2021.
- Determinar las categorías de acción según la aplicación del cálculo del PCI, para el pavimento asfáltico en la avenida Las Palmeras, distrito de Los Olivos - Lima 2021.
- Formular un modelo estadístico de predicción del deterioro del pavimento asfáltico de la avenida Las Palmeras, distrito de Los Olivos - Lima 2021.

1.7. Hipótesis

1.7.1. Hipótesis general

La estimación del deterioro del pavimento asfáltico de la avenida Las Palmeras, distrito de Los Olivos - Lima 2021, se realizará mediante la metodología del Índice de Condición del Pavimento – PCI.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Enfoque de la investigación

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo porque mediante la metodología del PCI se realizó planteamientos acotados analizando la realidad objetivamente, también, mediante el análisis de regresión lineal se formuló un modelo de predicción haciendo uso de la estadística básica.

2.2. Tipo de investigación

Los tipos de investigación se indican a continuación:

2.2.1. Por el propósito:

La presente investigación es aplicada, porque se estimó el deterioro de los pavimentos flexibles usando la metodología PCI y herramientas propias de la ingeniería que es utilizada en diversas investigaciones; también, se propuso un modelo estadístico de predicción del pavimento asfáltico, consolidando conocimiento útil en el campo de la ingeniería.

2.2.2. Según el diseño de investigación:

La presente investigación es de tipo no experimental, porque no existe manipulación de variables, y descriptiva, porque solo contamos con una variable para evaluar y describir el estado del pavimento asfáltico.

2.2.3. Según el nivel de la investigación

La presente investigación es transversal descriptivo pues se recolectó datos del estado del pavimento en un momento determinado para realizar un diagnóstico y propuso opciones de tratamiento o de reparación de acuerdo con la categoría de acción determinada en la metodología del PCI.

2.3. Diseño de investigación:

El diseño de la presente investigación es no experimental, transversal descriptivo, porque se efectúa sin la manipulación de la variable, se basa principalmente en la observación y se da en un contexto natural para posteriormente analizarlo y diagnosticar.

A continuación, se muestra el diagrama de diseño de investigación:

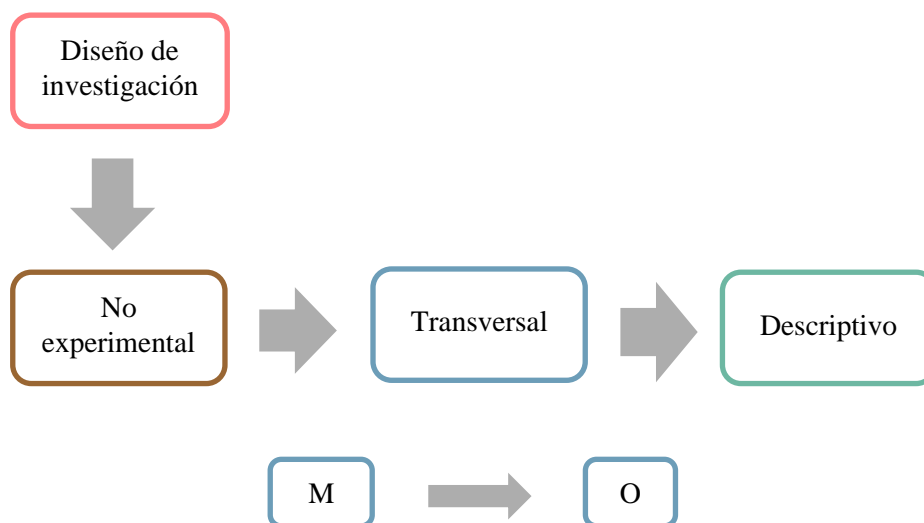


Figura 3. Diagrama del diseño de investigación

Tabla 4.

Esquema del diseño transversal

Estudio	T
M	O

Donde:

M: Pavimento asfáltico de la avenida Las Palmeras, distrito de Los Olivos –
Lima

O: Deterioro

2.4. Variable

La presente investigación trabaja solo con una variable: deterioro. La variable deterioro tiene una relación independiente y es de naturaleza cuantitativa continua.

2.4.1. Clasificación de variables

A continuación, se muestra la matriz de clasificación de variables:

Tabla 5.

Matriz de clasificación de las variables

VARIABLE	CLASIFICACIÓN				
	Relación	Naturaleza	Escala de medición	Dimensión	Forma de medición
Deterioro	Independiente	Cuantitativa Continua.	Razón	Multidimensional	Indirecta

2.4.2. Operacionalización de variables

Tabla 6.

Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	INSTRUM ENTO	ESCALA DE MEDICIÓN
Deterioro	Deterioro: “Acción y efecto de deteriorar o deteriorarse” (del.rae.es, 2020);	El deterioro se evaluará del comportamiento del pavimento mediante la metodología del PCI: "Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos" (ASTM D6433-03), por medio de inspecciones visuales	Estado del deterioro	Índice de condición del pavimento - PCI	¿Cuál es la condición del pavimento para cada tipo, severidad y cantidad de fallas encontradas?	Formato del PCI	Razón
	Deteriorar: “Dicho de una cosa o de una persona: Pasar a un peor estado o condición.” (del.rae.es, 2020).	se determina el estado de la vía, dependiendo del tipo, cantidad y severidad de las fallas existentes.	Categoría de acción		¿Qué categoría de acción debo aplicar en función del rango del PCI?		
	Deterioro: “Degeneración, empeoramiento gradual de algo” (WordReference.c om, s.f.).		Modelo estadístico de predicción	Valores para PCI teóricos en el tiempo	¿Cuáles y cuántos son los valores para el PCI teóricos en el tiempo?		
				Valores a y b de la función: $PCI = a + bt$	¿Cuáles son los valores a y b que se ajustan a la función de regresión lineal con base en los valores teóricos en el tiempo?	Método de regresión de mínimos cuadrados	

2.5. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.5.1. Población

Avenida Las Palmeras.

La avenida Las Palmeras pertenece al distrito de Los Olivos en la ciudad de Lima, es una de las avenidas principales del distrito, en sus extremos interseca a la avenida Panamericana Norte y a la avenida Carlos Izaguirre cerca de la Municipalidad de Los Olivos, y en su recorrido interseca a las avenidas Los Alisos, Naranjal, Rio Marañón y Alfredo Mendiola; a lo largo de esta avenida hay palmeras que le dan el nombre a la avenida, también existe una gran dinámica comercial de servicios que es una característica del distrito por tener un alto nivel de densidad empresarial como restaurantes y pollerías, hostales, colegios entre otros; una característica de esta vía permite la circulación vehicular interna del distrito. Para la presente investigación se considera las dos vías de la avenida Las Palmeras, y la toma de muestras en el periodo 2013 – 2015.



Figura 4. Avenida Las Palmeras en el distrito de Los Olivos

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Google Earth

Tabla 7.

Referencia de la población de estudio

Punto Inicial: Km 00 + 000 cruce con Av. Panamericana Norte	
S	11°57'59.0"
W	77°04'04.3"
Altitud	70 m.s.n.m.
Punto Final: Km 02 + 960 cruce con Av. Carlos Izaguirre	
S	11°59'27.4"
W	77°04'18.1"
Altitud	55 m.s.n.m.

2.5.2. Muestra

La muestra para la siguiente investigación son las dos vías (cada vía de dos carriles) de la avenida Las Palmeras cuya área de evaluación inicia desde la intersección con la avenida Panamericana Norte y termina en la intersección con la avenida Los Alisos.

Se ha visto conveniente considerar solo este tramo en las dos vías, pues en la Av. Las Palmeras desde el cruce con la Av. Los Alisos hasta el cruce con la Av. Carlos Izaguirre presenta una carpeta asfáltica con un ancho promedio de 9 m (tres carriles cada vía), el cual no aplica con la metodología del PCI ya que para las carreteras con capa de rodadura asfáltica el ancho debe medir como máximo de 7.30 m.

A continuación, se muestra los 2,180 m del tramo de la avenida Las Palmeras materia de estudio:



Figura 5. Área de evaluación

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Google Earth

Tabla 8.

Referencia del área de evaluación

Punto Inicial:	Km 00 + 000 cruce con Av. Panamericana Norte
S	11°57'59.3"
W	77°04'04.3"
Altitud	70 m.s.n.m.
Punto Final:	Km 02 + 180 cruce con Av. Los Alisos
S	11°59'00.9"
W	77°04'20.3"
Altitud	55 m.s.n.m.

2.5.2.1. Técnicas de muestreo

La técnica de muestreo se aplicó la metodología del PCI, de acuerdo con Vásquez (2002), el cual consiste primero en dividir el tramo de estudio en Unidades de Muestra; las cuales, deben cumplir con lo siguiente, para carreteras con capa asfáltica

y ancho con medida hasta 7.30 m, el área debe estar en el Rango de $230.0 \text{ m}^2 \pm 93.0 \text{ m}^2$ (p.3).

Cálculo del número mínimo de unidades de muestreo

Siguiendo la metodología del PCI y de acuerdo con Vásquez (2002), la determinación del número mínimo de unidades se empleará la siguiente ecuación:

Ecuación 3. *Número mínimo de unidades de muestreo*

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

Donde:

- n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar (redondeado al mayor entero), Si $n < 5$, deberán ser evaluadas todas las unidades.
- N: Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.
- e: Error de estimación aceptable en el PCI de la sección, normalmente $e = \pm 5$ puntos del PCI (5%).
- Desviación estándar de una unidad a otra dentro de la misma sección.

Esta ecuación determina el número de Unidades de Muestra a evaluar en cada sección, con un estimado del PCI ± 5 del promedio verdadero, con una confiabilidad del 95%.

Se asume un valor de 10 para la desviación estándar para pavimentos flexibles. Este valor debe ser calculado luego de determinar los primeros valores de PCI (pp.4-5).

Selección de las Unidades de Muestreo para Inspección

Vázquez (2002) 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 forma:

- El intervalo de muestreo:

Ecuación 4. Intervalo de espaciamiento de muestreo

$$i = \frac{N}{n}$$

siendo:

- N: el número total de unidades de muestreo disponible,
- n: es el número mínimo de unidades a evaluar,

Considerar que “i” se redondea al entero inferior.

- El inicio al azar se selecciona entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestreo i.
- Las unidades de muestreo para evaluación se identifican como S, S+1, S+2, etc.
- Si se requieren cantidades de daño exactas para pliegos de licitación (rehabilitación), todas y cada una de las unidades de muestreo deberán ser inspeccionadas (p.5).

2.5.2.2. Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra mide 2180 m de vía de la Av. Las Palmeras, en sus dos vías, el cual tiene un ancho promedio de 7.30 m (sin considerar las bermas y según medición realizada en Google Maps).

2.5.3. Materiales

2.5.3.1. Formato de datos de campo

El material básico utilizado es el formato para la obtención de datos de campo para la evaluación de la condición del pavimento de acuerdo a la metodología del PCI, que es un documento donde se registra toda la información obtenida durante la inspección visual y consolida la información principal de la vía y permite el relevamiento correcto de las fallas en la zona de estudio.

2.5.3.2. Microsoft Office Excel 2019

Para el registro de información sobre la base de los formatos de la metodología PCI empleada. Este procedimiento permitirá configurar la matriz de sistematización de datos.

2.5.3.3. Google Maps:

Con la ayuda de la herramienta Google Maps se procederá a obtener las imágenes en el tiempo de todas las vías seleccionadas como muestra, y para cada vía se deberán tomar diferentes imágenes para cada año a analizar.

2.6. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.6.1. Técnica de recolección de datos.

La técnica de recolección de datos realizada para la presente investigación es la técnica de la observación, mediante el uso del Google Maps para evaluar el pavimento asfáltico mediante imágenes en el periodo 2013 – 2015 y el formato de registro donde se consignó toda la información pertinente; esta técnica permite realizar una evaluación detallada del pavimento en la cual se efectúa la recopilación de datos, para identificarlas y clasificarlas para su correspondiente análisis.

Finalmente, se aplicó fundamentos básicos de la estadística, para el tratamiento de datos obtenidos con el formato de registro como parte de la aplicación de la metodología del PCI.

2.6.2. Instrumento de recolección de datos

El principal instrumento para la recolección de datos fue el formato de registro de la condición del pavimento según la metodología del Índice de Condición del Pavimento PCI. Este instrumento permitió consignar adecuadamente todos los datos importantes del pavimento (las vías), para luego ser evaluados e interpretados. El formato de registro de la condición del pavimento fue adaptado de la Norma Técnica internacional ASTM D6433-03 (2004) de acuerdo a la metodología del Índice de Condición del Pavimento (PCI). Ver Anexo N°1.

2.6.3. Validación del instrumento de recolección datos.

Validez del instrumento de recolección:

La validez del instrumento de recolección de datos se respalda en la Norma Técnica internacional ASTM D6433-03 (2004), esta norma es un procedimiento que comprende la determinación de la condición del pavimento de caminos y estacionamientos a través de inspecciones visuales usando el método del Índice de Condición del Pavimento (PCI) que cuantifica la condición del pavimento.

2.6.4. Análisis de datos:

La presente investigación aplicará el diseño no experimental y transversal puesto que el estudio se realizará en un intervalo de tiempo; asimismo, se utilizará la estadística descriptiva con el soporte la herramienta informática Microsoft Excel, en la cual se

utilizarán tablas y gráficos estadísticos para poder visualizar y evaluar los resultados de la metodología a aplicar.

Cabe precisar que, el análisis de datos se interpretará en términos de los resultados de la presente investigación, estableciendo una inferencia de la variable de estudio: pavimento, del cual se extraerá conclusiones y recomendaciones.

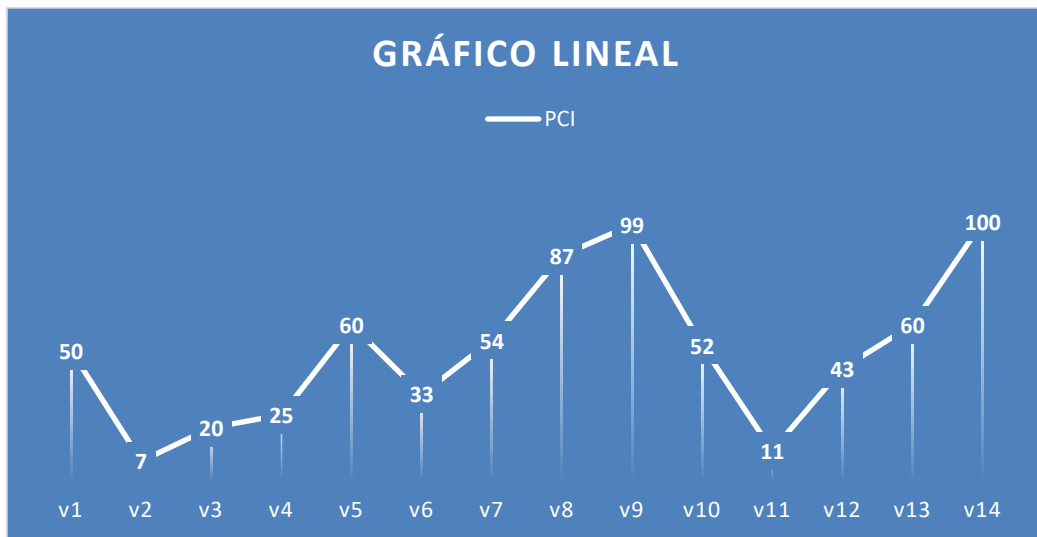


Figura 6. Gráfico Lineal

Nota: Esta es una representación gráfica lineal en la cual se visualizarán los valores de la variable a analizar.

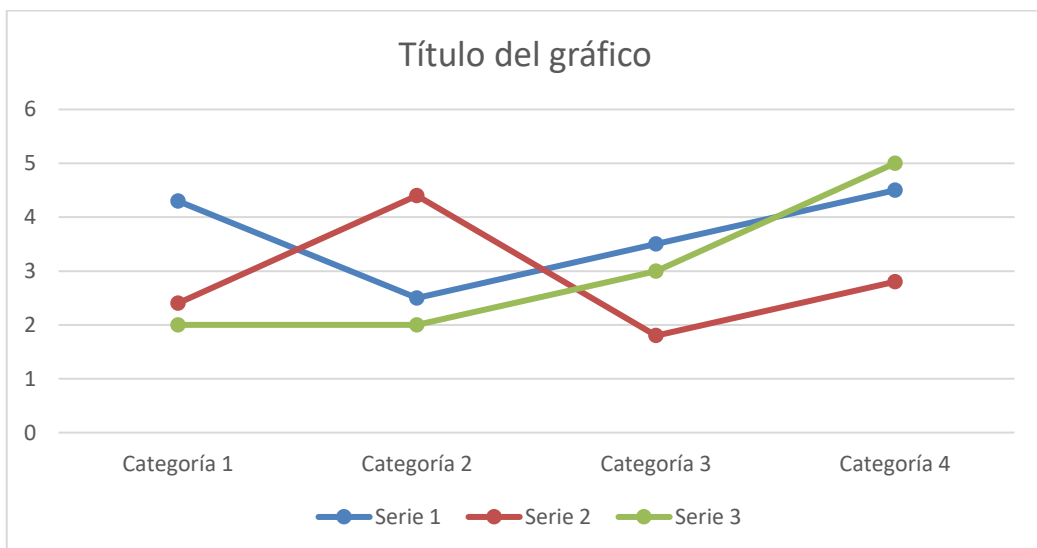


Figura 7. Gráfico de líneas

Nota: Esta es una representación gráfica de dispersión en las cuales se visualizarán los valores de las variables que se analizarán.

2.7. Procedimientos

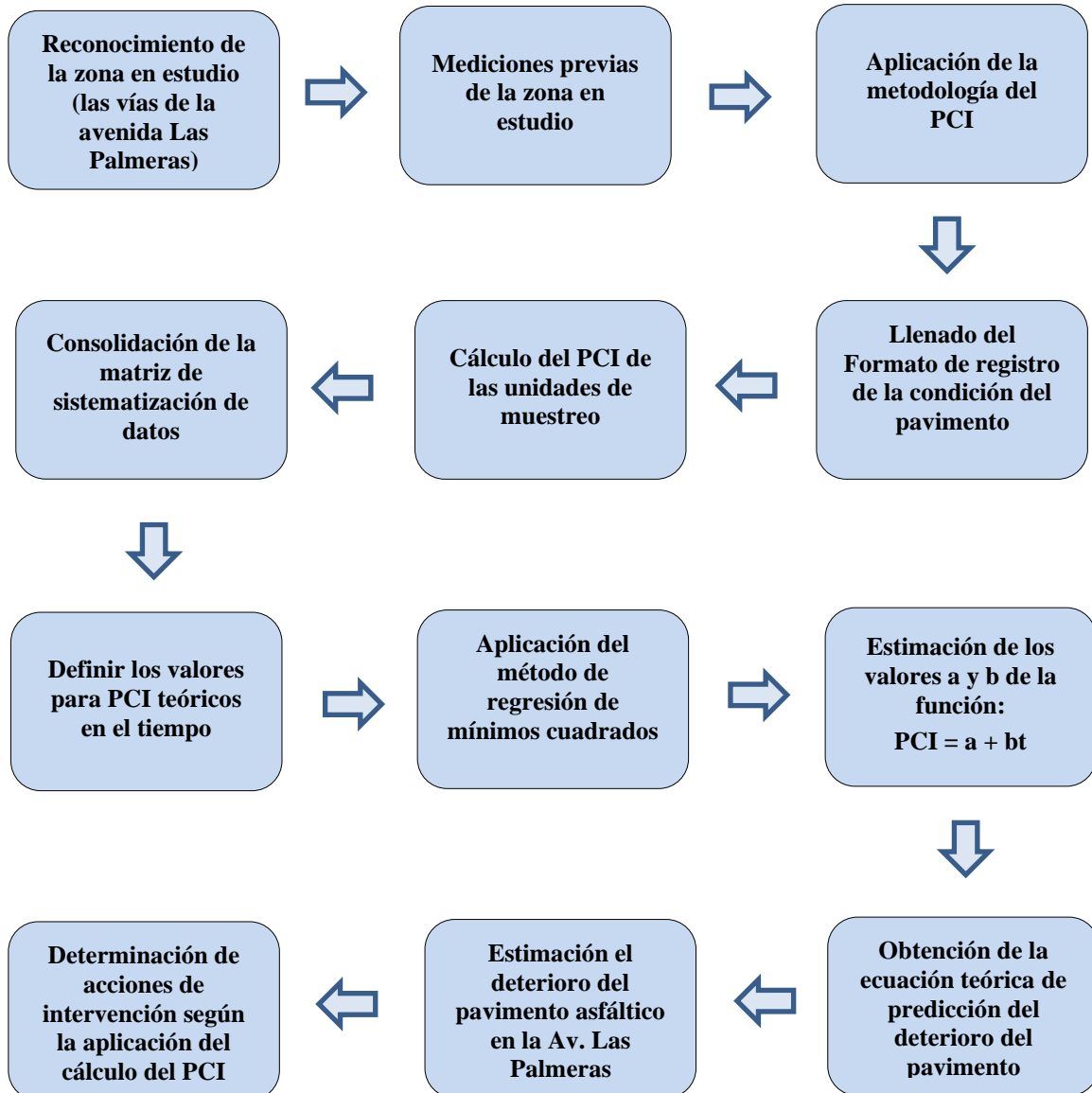


Figura 8. Esquema de los procedimientos a seguir

2.7.1. Reconocimiento de la zona en estudio

Consiste en inspeccionar las vías de la avenida Las Palmeras mediante el aplicativo Google Maps, e identificar posibles fallas a considerar en la evaluación y considerando que solo se tomará una porción que contiene solo vías a dos carriles.

2.7.2. Mediciones previas de la zona en estudio

Se deberá realizar mediciones de longitud y área de la zona de estudio previo al cálculo de las unidades de muestreo; asimismo, se deberá considerar el año o periodo para la selección de imágenes del pavimento como unidad de estudio de acuerdo lo refiera el Google Maps.

2.7.3. Aplicación de la metodología del PCI

Según Vásquez (2002), el procedimiento comienza con el trabajo de campo en el cual se identifican los daños que exista en el pavimento, tomándose en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. Para consignar toda la información pertinente, se debe registrar en formatos adecuados para tal fin como el formato que se muestra a continuación:

EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO				ESQUEMA		
ZONA	ABSCISA INICIAL	UNIDAD DE MUESTREO				
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
CÓDIGO VÍA	ABSCISA FINAL	ÁREA MUESTREO (m ²)				
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
INSPECCIONADA POR		FECHA				
<input type="text"/>		<input type="text"/>				
No.	Daño	No.	Daño			
1	Piel de cocodrilo.	11	Parqueo.			
2	Exudación.	12	Pulimento de agregados.			
3	Agrietamiento en bloque.	13	Huecos.			
4	Abultamientos y hundimientos.	14	Cruce de vía férrea.			
5	Corrugación.	15	Ahuellamiento.			
6	Depresión.	16	Desplazamiento.			
7	Grieta de borde.	17	Grieta parabólica (slippage)			
8	Grieta de reflexión de junta.	18	Hinchamiento.			
9	Desnivel carril / berma.	19	Desprendimiento de agregados.			
10	Grietas long y transversal.					
Daño	Severidad	Cantidades parciales		Total	Densidad (%)	Valor deducido

Figura 9. Formato de exploración de condición para carreteras con superficie asfáltica
Fuente: Vásquez (2002).

A continuación, se muestra un esquema del procedimiento de evaluación de la condición del pavimento mediante la metodología PCI:

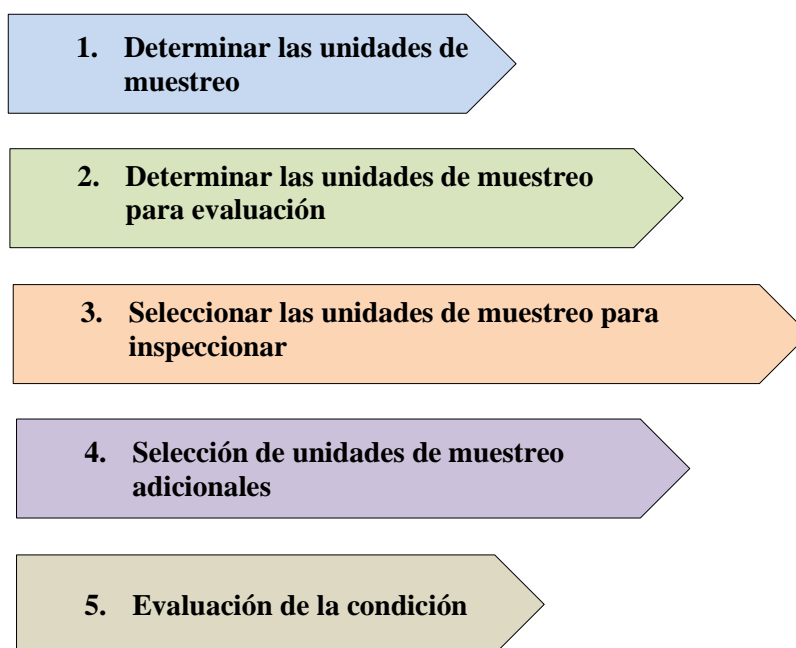


Figura 10. Procedimiento para la evaluación del pavimento - metodología PCI

2.7.3.1. Determinar las unidades de muestreo

Según la Norma Técnica internacional ASTM D6433-03 (2004) y de acuerdo con la metodología del PCI, para determinar las unidades de muestreo primero se divide el tramo de estudio en Unidades de Muestra; las cuales, deben cumplir con lo siguiente, para carreteras con capa asfáltica y ancho con medida hasta 7.30 m, el área debe estar en el Rango de $230.0 \text{ m}^2 \pm 93.0 \text{ m}^2$

2.7.3.2. Determinar las unidades de muestreo para evaluación

De acuerdo con Vásquez (2002), indica que, se debe dividir la vía en unidades de muestreo considerando las dimensiones de acuerdo al tipo de vía y de capa de rodadura, como se señala a continuación:

- a. Para carreteras de capa de rodadura asfáltica y ancho de calzada menor que 7.30 m, el área de la unidad de muestreo debe encontrarse en el intervalo $230.00 \pm 93.0 \text{ m}^2$, significa que el máximo valor que puede

tomar el área es de 323.00 m², y el área mínima es de 137.00 m². En el cuadro siguiente puede apreciar algunas relaciones de ancho y longitud de calzada pavimentada:

Tabla 9.

Longitudes de unidades de muestreo asfáltico

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

Fuente: Vásquez (2002).

- b. Vásquez (2002), refiere que en la evaluación del pavimento podría contarse con muchas unidades de muestreo el cual implicaría contar con más tiempo y recursos, por lo que se recomienda aplicar un proceso de muestreo (p.4).
- c. En la evaluación de un proyecto, Vásquez (2002) señala que, se deben inspeccionar la totalidad de las unidades de muestreo; pero de no ser posible, la cantidad mínima de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la ecuación: $n = \frac{Nx\sigma^2}{\frac{e^2}{4}x(N-1)+\sigma^2}$, la cual produce un estimado del PCI ± 5 del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%", donde: "n" es el Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar; "N" es el Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento; "e" es el Error admisible en el estimativo del PCI de la sección (e = 5%) y "σ" es la Desviación estándar del PCI entre las unidades. Cabe mencionar que, en la inspección inicial se recomienda

asumir una desviación estándar ($\sigma = 10$) para el pavimento asfáltico (rango PCI de 25), pues en inspecciones siguientes se deberá usar la desviación estándar real (o el rango PCI) de la inspección previa en la determinación del número mínimo de unidades que deben evaluarse, asimismo indica que, cuando la cantidad mínima de unidades de muestreo a evaluar es menor que 5 ($n < 5$), todas las unidades de muestreo deberán evaluarse (pp.4-5).

2.7.3.3. Seleccionar las unidades de muestreo para inspeccionar

Vázquez (2002) refiere que, las unidades de muestreo deben ser elegidas y estar igualmente espaciadas a lo largo de la sección de pavimento y elegir la primera muestra al azar de la siguiente forma:

- a. El intervalo de muestreo (i) se expresa como: $i = \frac{N}{n}$, siendo “N” el número total de unidades de muestreo disponible, “n” es la cantidad mínima de unidades de muestreo a evaluar, considerar que “i” se redondea al entero inferior (ejemplo, 13.6 se redondea a 13).
- b. La muestra inicial se selecciona al azar entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestreo i ; por ejemplo: si la unidad de muestreo para inspección seleccionada es 2 y el intervalo de muestro es 3, las subsiguientes unidades de muestreo a inspeccionar serían 5, 8, 11, 14, etc.” (p.5).

2.7.3.4. Selección de unidades de muestreo adicionales

De acuerdo con la Norma Técnica internacional ASTM D6433-03 (2004), debido a que la metodología de muestreo se realiza de manera al azar, existe la posibilidad que se estén omitiendo unidades de muestreo en mal

estado o con fallas especiales o con algún tipo de falla, por tal motivo se debe elegir una unidad adicional para que estas no influyan de manera inadecuada a la unidad que se tomó de manera aleatoria.

2.7.3.5. Evaluación de la condición

Para la presente investigación se hizo necesario los implementos adecuados y suficientes para consignar de forma precisa la inspección visual mediante el aplicativo Google Maps. Para cada unidad de muestreo se le detecta el tipo, severidad de falla o daño, los cuales se consignan en el formato de registro de forma ordenada de acuerdo a cada tipo de daño, extensión y nivel de severidad.

2.7.4. Llenado del Formato de registro de la condición del pavimento

Se deberá realizar el llenado del formato de registro de la condición del pavimento, en el cual se considera ítems importantes en la exploración de la condición por unidad de muestreo, los cuales se indican a continuación:

- Nombre de la vía
- Lugar
- Fecha
- Abscisa Inicial
- Abscisa Final
- Esquema
- Unidad de muestreo
- Calzada
- Área de muestreo
- Tipo de falla (existe 19 tipos de fallas de acuerdo a la metodología del PCI).

- Nivel de severidad: Baja (Low), Media (Medium) y Alta (High).
- Cantidades parciales
- Densidad (%)
- Valor Deducido
- Valor Deducido Corregido
- PCI
- Condición del pavimento

Para la presente investigación, se ha elaborado Formato de registro de la condición del pavimento adaptado de la Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004) de acuerdo con la metodología del PCI. Ver Anexo N°01.

2.7.5. Cálculo del PCI de las unidades de muestreo

De acuerdo con Vásquez (2002), luego de haber realizado la inspección de campo, con la información obtenida sobre los daños del pavimento se debe calcular el PCI. El cálculo para pavimentos con capa de rodadura asfáltica debe cumplir con las siguientes etapas:

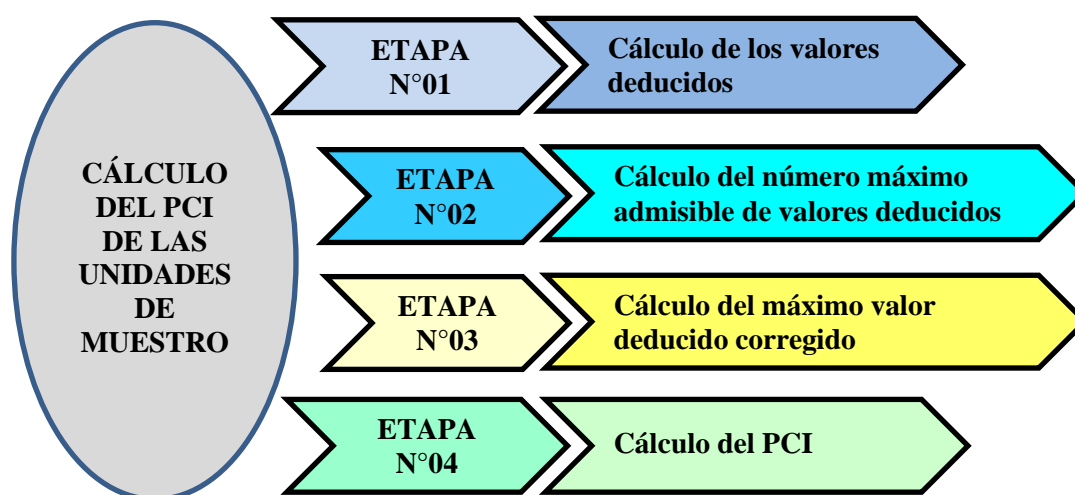


Figura 11. Cálculo del PCI de las unidades de muestreo

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Vásquez (2002)

2.7.5.1. Etapa 01. Cálculo de los valores deducidos

- a. Primer paso, se totaliza cada tipo y nivel de severidad de daño y se registra en la columna TOTAL del formato (hoja de registro). Cabe mencionar que, el daño puede medirse en área, longitud o por número según su tipo; y se debe tener en cuenta que, el pavimento flexible se clasifica en 19 tipos de fallas; además, la severidad de la falla se clasifica en tres niveles: baja, media y alta.
- b. Segundo paso, se calcula la DENSIDAD del daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio de la siguiente forma:
$$Densidad = \frac{\text{Número de fallas}}{\text{Área total de la muestra}} \times 100$$
, y se deberá realizar para cada tipo de falla.
- c. Tercer paso, se calcula el VALOR DEDUCIDO (VD) para cada tipo de daño y su nivel de severidad se determinará mediante las curvas y tablas establecidas denominadas “Valor Deducido del Daño”.

2.7.5.2. Etapa 02. Cálculo del número máximo admisible de valores deducidos (m),

Al respecto, se debe realizar lo siguiente:

- a. Primer paso, de los “Valores Deducidos” si ninguno de estos valores o tan sólo un valor resulta ser mayor que 2, entonces se usará el “Valor Deducido Total” en lugar del mayor “Valor Deducido Corregido”-CDV, obtenido en la Etapa 4; de lo contrario, deben seguirse los pasos b y c de esta etapa.
- b. Segundo paso, se debe listar los valores deducidos individuales deducidos de mayor a menor.

- c. Tercer paso, se debe calcular el “Número Máximo Admisible de Valores Deducidos” (m) para carreteras pavimentadas, usando la fórmula: $m_i = 1 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i)$; donde: " m_i " es el número máximo admisible de “valores deducidos”, incluyendo fracción, para la unidad de muestreo “ i ”, “ HDV_i ” es el mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo “ i ”.
- d. Cuarto paso, se debe considerar que el número de valores individuales deducidos se reduce a “ m ”, inclusive la parte fraccionaria. Si se dispone de menos valores deducidos que “ m ” se debe utilizar todos los que se tengan.

Curvas de Valor Deducido del PCI según falla

A continuación, se presentan las curvas de Valor Deducido del PCI, de acuerdo con Esteban et al. (2016), para cada tipo de falla:

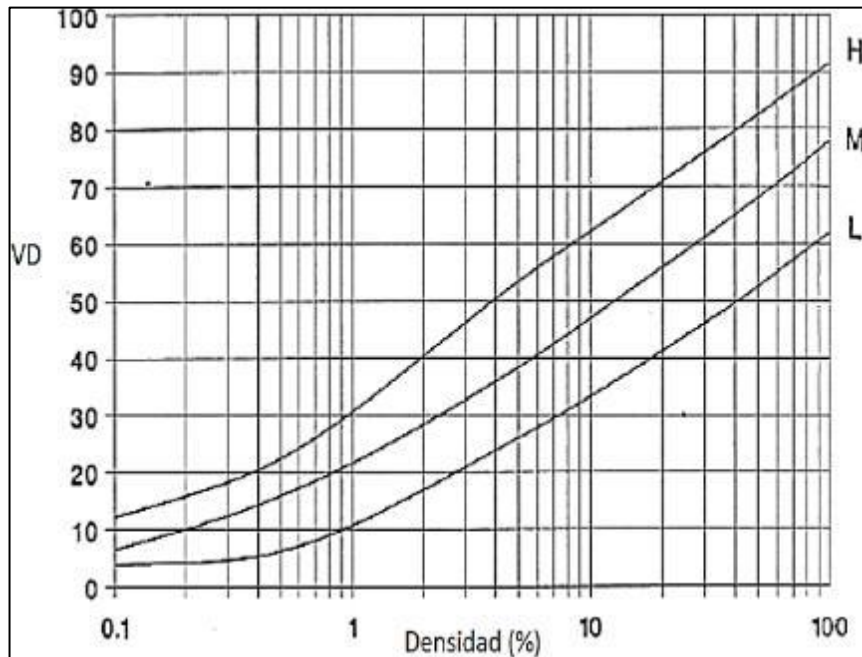


Figura 12. Fisura piel de cocodrilo

Fuente: Esteban et al. (2016, p.27)

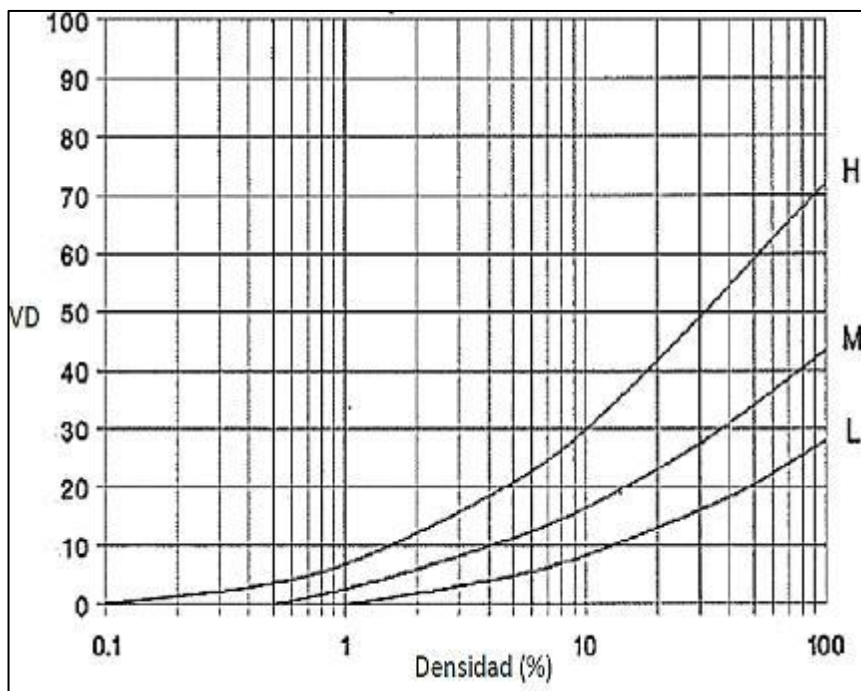


Figura 13. Fisura en bloque
Fuente: Esteban et al. (2016, p.28)

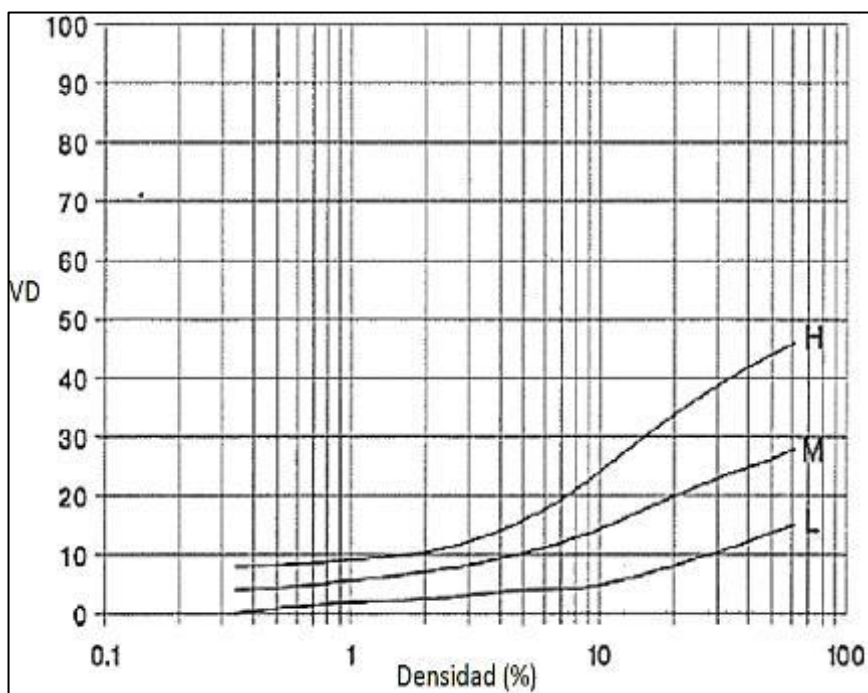


Figura 14. Fisura de borde
Fuente: Esteban et al. (2016, p30)

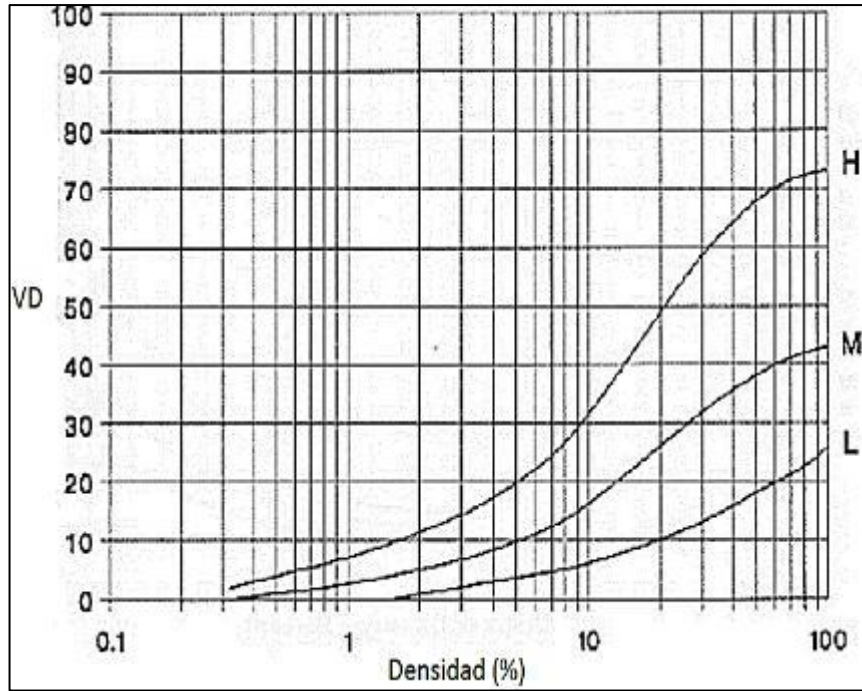


Figura 15. Fisura de reflexión de junta

Fuente: Esteban et al. (2016, p.30)

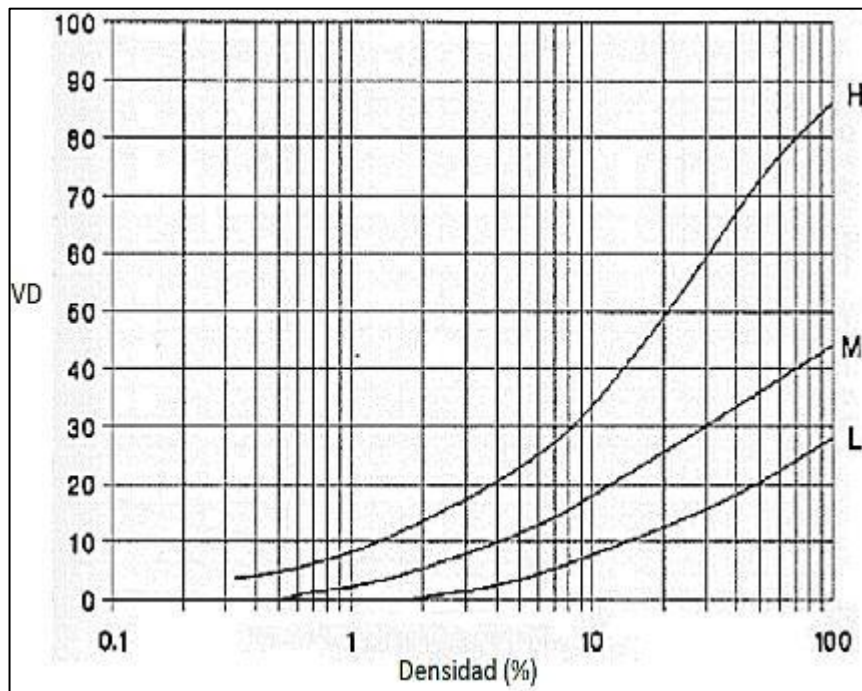


Figura 16. Fisura de longitudinales y transversales

Fuente: Esteban et al. (2016, p.31)

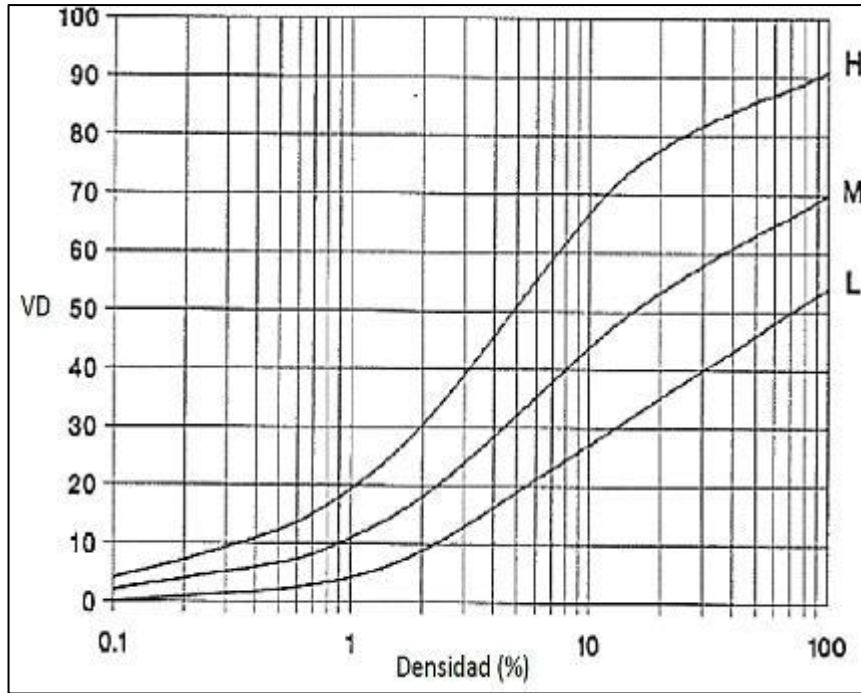


Figura 17. Fisura de parabólicas o por deslizamiento
Fuente: Esteban et al. (2016, p35)

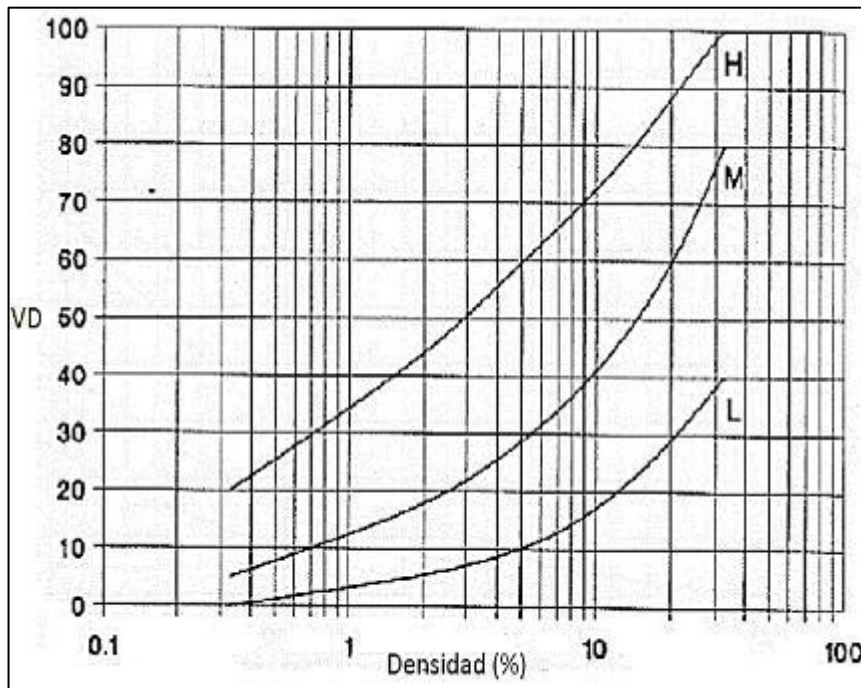


Figura 18. Abultamientos y hundimientos
Fuente: Esteban et al. (2016, p.28)

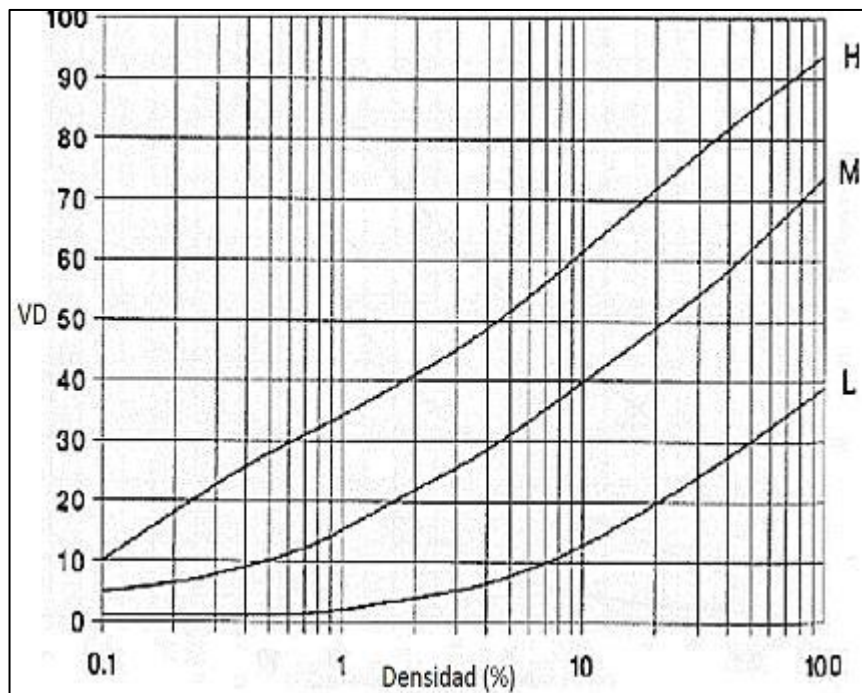


Figura 19. Corrugación
Fuente: Esteban et al. (2016, p.29)

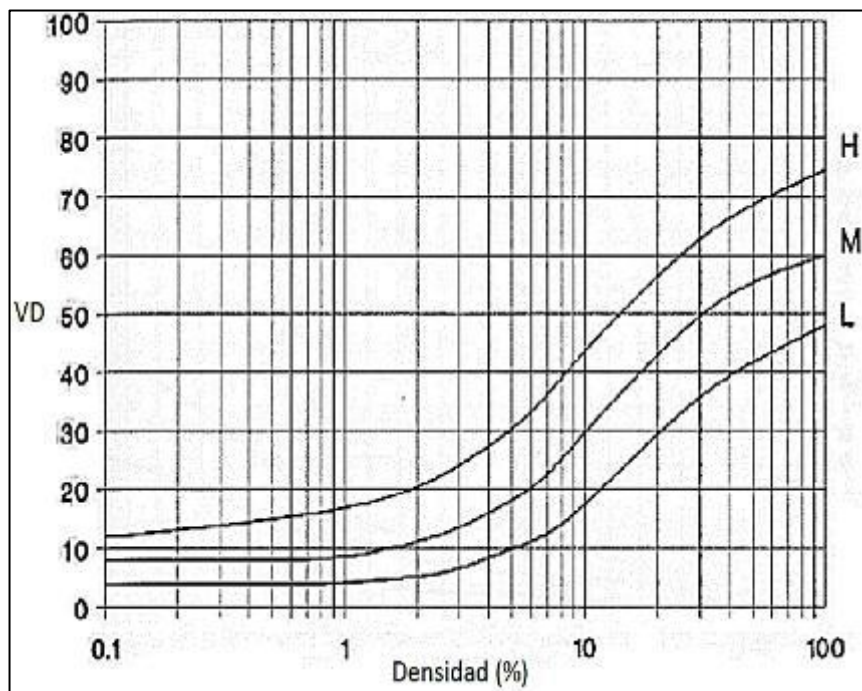


Figura 20. Depresión
Fuente: Esteban et al. (2016, p.29)

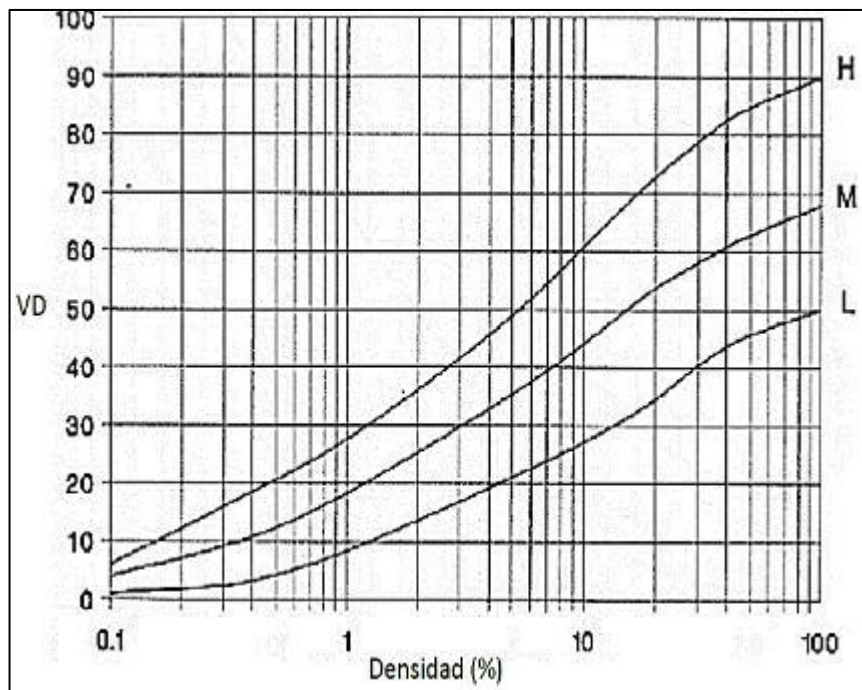


Figura 21. Ahuellamiento
Fuente: Esteban et al. (2016, p.34)

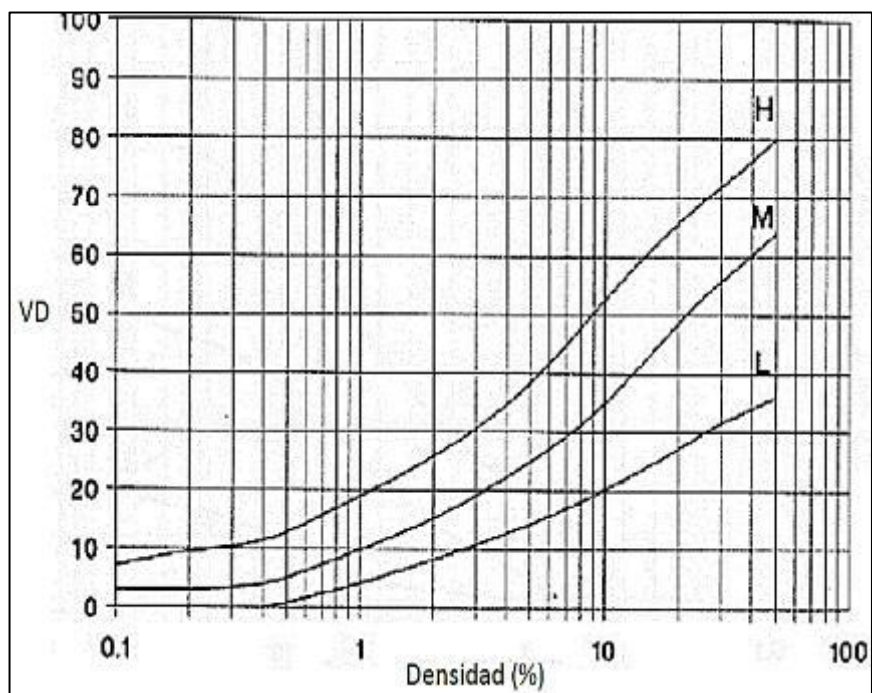


Figura 22. Desplazamiento
Fuente: Esteban et al. (2016, p.34)

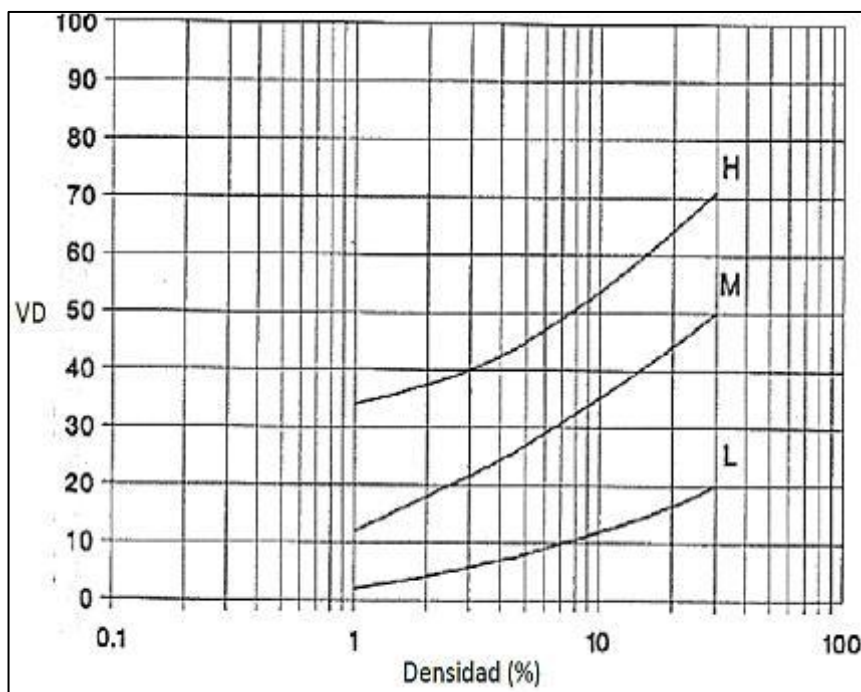


Figura 23. Hinchamiento
Fuente: Esteban et al. (2016, p.35)

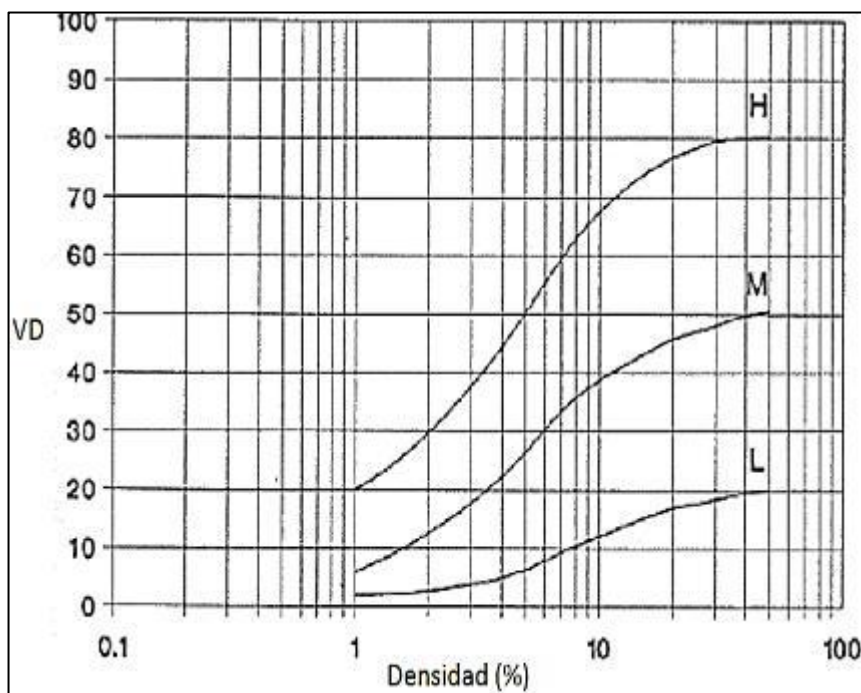


Figura 24. Cruce vía férrea
Fuente: Esteban et al. (2016, p.33)

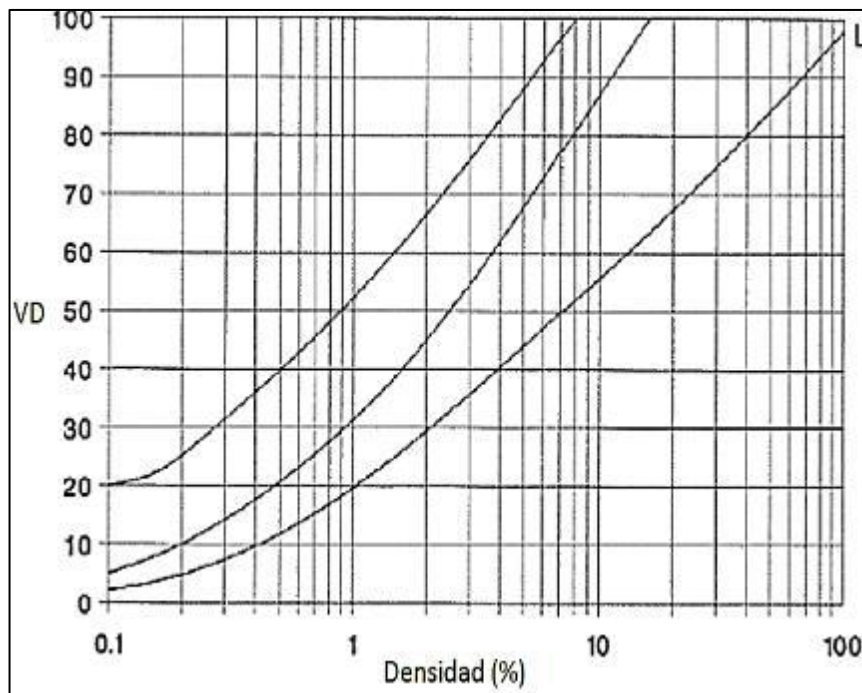


Figura 25. Baches (huecos)
Fuente: Esteban et al. (2016, p.33)

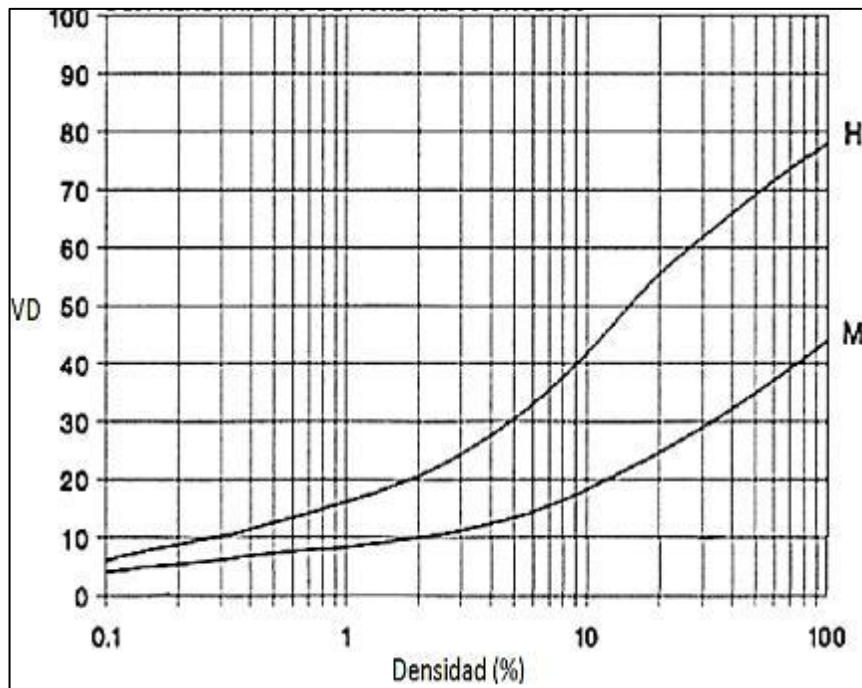


Figura 26. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados
Fuente: Esteban et al. (2016, p.36)

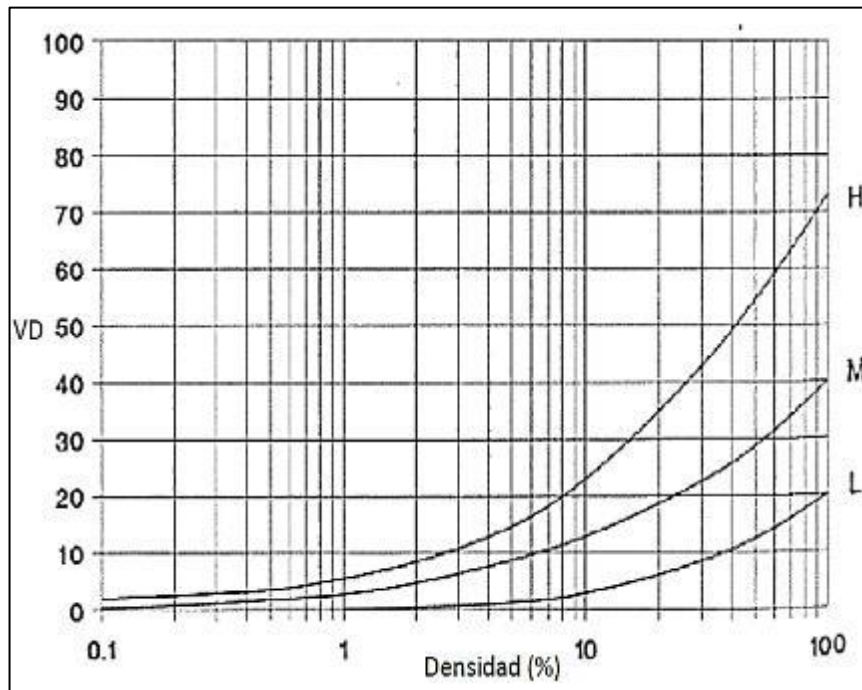


Figura 27. Exudación
Fuente: Esteban et al. (2016, p.27)

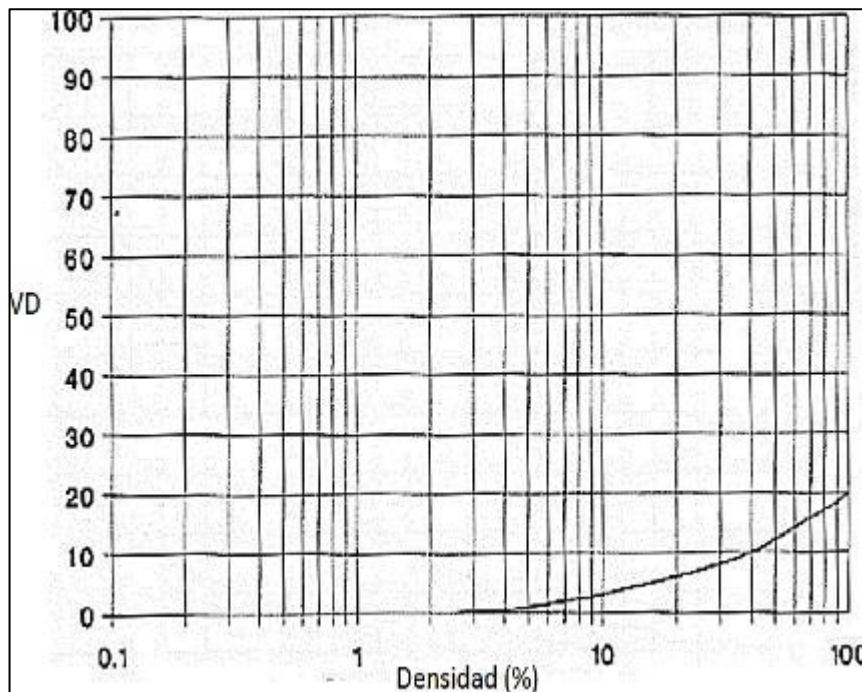


Figura 28. Agregado pulido
Fuente: Esteban et al. (2016, p.32)

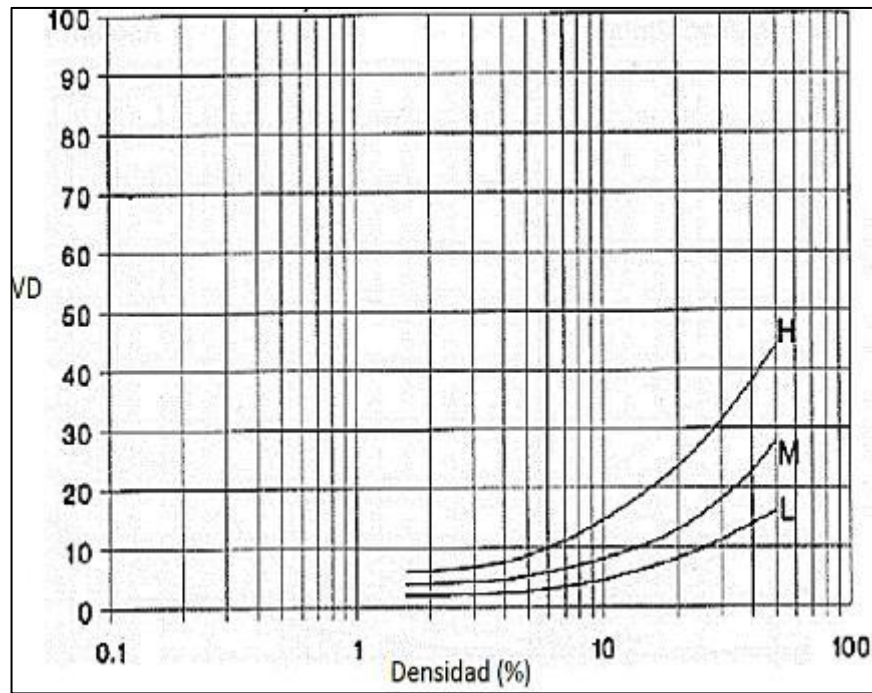


Figura 29. Desnivel carril - berma

Fuente: Esteban et al. (2016, p.31)

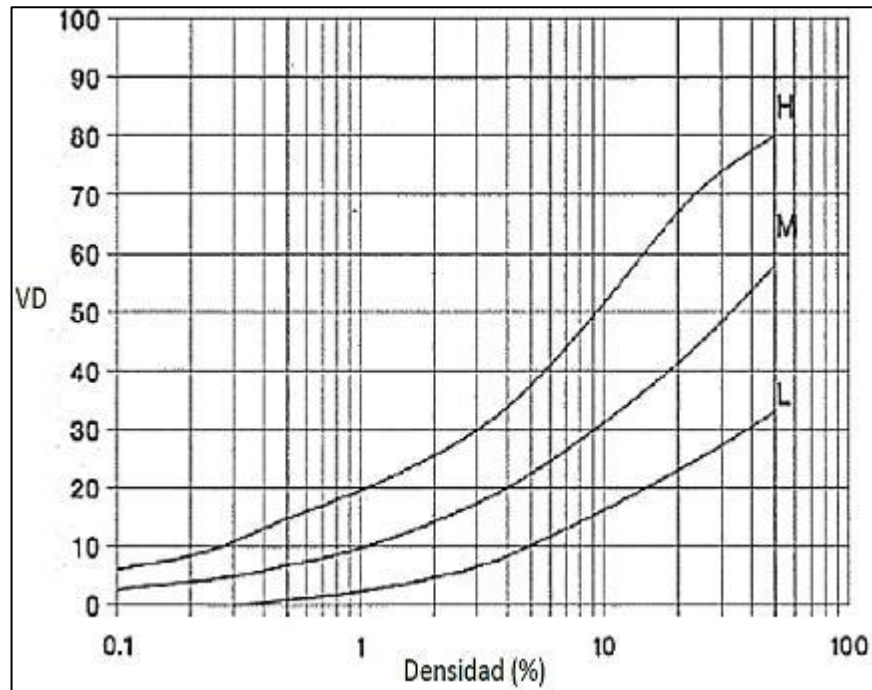


Figura 30. Parches (baches y zanjas separadas)

Fuente: Esteban et al. (2016, p.32)

2.7.5.3. Etapa 03. Cálculo del máximo valor deducido corregido - CDV,

Al respecto se debe realizar el siguiente proceso iterativo:

- a. Primer paso, se debe determinar el número de valores deducidos “q” que son mayores que 2.
- b. Segundo paso, se debe determinar el “Valor Deducido Total” sumando todos los valores deducidos individuales.
- c. Tercer paso, se debe determinar el CDV con “q” y el “Valor Deducido Total” en la curva de corrección correspondiente.
- d. Cuarto paso, se debe reducir a 2 el menor de los “Valores Deducidos” individuales que sea mayor que 2 y repita los pasos a y c de esta etapa, hasta que “q” sea igual a 1.
- e. Cuarto paso, se debe tener en cuenta que el máximo CDV es el mayor de los CDV obtenidos en este proceso” (p. 6-7).

Nro	Valores Deducidos										Total	q	CDV
1													
2													
3													
4													
5													

Figura 31. Formato para la obtención del Máximo valor deducido corregido

Fuente: Vásquez (2002. P.8)

Curvas de Valor Deducido Corregido–PCI (ASTM D6433-03) según falla

A continuación, se presentan las curvas de Valor Deducido Corregido del PCI, de acuerdo con Esteban et al. (2016), para cada tipo de falla:

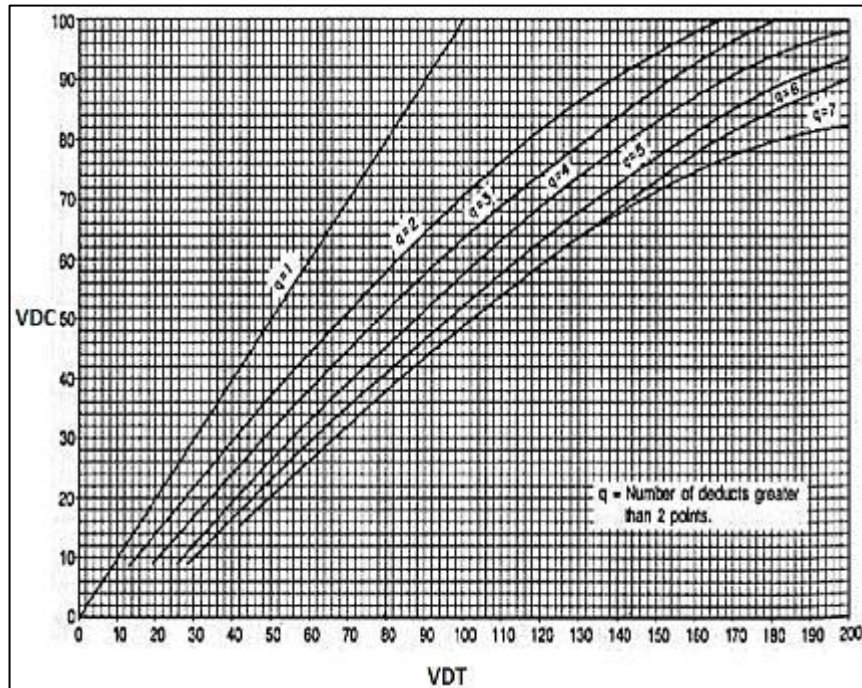


Figura 32. Curvas de VDC – PCI (ASTMD 6433-03) según falla

Fuente: Esteban et al. (2016, p.36)

2.7.5.4. Etapa 04. Cálculo del PCI de una sección de pavimento

Para el cálculo del Índice de Condición del Pavimento - PCI de una sección de pavimento, de acuerdo con Vásquez (2002), si todas las unidades de prueba en la sección de pavimento son inventariadas, entonces el PCI de la sección del pavimento será calculado con una media de los PCI_S calculados en las unidades de muestreo; también, si todas las unidades de prueba evaluadas son seleccionadas de forma aleatoria o en base al elemento más representativo de la sección, el PCI de la sección debe determinarse por la media de los PCI_S de la unidad de prueba inspeccionada; y si alguna unidad de prueba adicional es inspeccionada, entonces se deberá usar una media ponderada usando la siguiente fórmula: $PCI_S = \frac{[(N-A) \times PCI_R] + (A \times PCI_A)}{N}$, siendo "PCI_S" = PCI de la sección pavimentada; "PCI_R" = PCI medio de las muestras

aleatorias (o representativas); " PCI_A " = PCI medio de las muestras adicionales; "N" = número total de muestras en la sección y "A" = número total de muestras adicionales inspeccionadas" (p.8).

Por ejemplo, en una sección de pavimento, 6 unidades de pruebas aleatorias de 15 que fueron inspeccionadas se determinaron los PCI_S de 55, 71, 63, 69, 64 y 59, y se incluyeron tres unidades de prueba adicionales con PCI_S de 41, 45 y 39, entonces el $PCI_R = (55+71+63+69+64+59)/6 = 63.5$; el $PCI_A = (41+45+39)/3 = 41.7$, entonces el $PCI_S = [(15 - 3)(63,5) + (3)(41.7)] / 15 = 59$

2.7.6. Consolidación la matriz de sistematización de datos

Luego de haber realizado las cuatro etapas del cálculo del índice del PCI para todas las unidades de muestreo, se deberá consolidar en una sola matriz la información obtenida utilizando el programa informático Excel, puesto que esta matriz brindará información relevante sobre el comportamiento del pavimento asfáltico para su validación o mejoramiento del diseño existente y procedimientos de conservación. Ver Anexo N°7.

2.7.7. Definir los valores para PCI teóricos en el tiempo

Se deberá definir los valores del índice del PCI que servirá como insumo para la aplicación del método de regresión de mínimos cuadrados, considerando que referidos valores PCI deberán ser calculados del periodo 2013 – 2015, de acuerdo a las imágenes referenciales extraídas del Google Maps.

2.7.8. Aplicación del método de regresión de mínimos cuadrados

Se deberá aplicar el método de regresión de mínimos cuadrados para analizar la información obtenida y consolidada en la matriz de sistematización de datos, con el

fin de expresar su comportamiento de una manera lineal y así minimizar los errores de la data tomada; esta técnica de análisis estadístico está enmarcada dentro de la optimización matemática, en la que, dados un conjunto de pares ordenados y una familia de funciones, se intenta encontrar la función continua, dentro de dicha familia, que mejor se aproxime a los datos, de acuerdo con el criterio de mínimo error cuadrático. En el punto 1.3.13., en las bases teóricas de la presente investigación se detalla sobre la regresión lineal simple.

2.7.9. Estimación de los valores a y b de la función: $PCI = a + bt$

Continuando con la aplicación del método de regresión lineal, se procederá a la estimación de los valores a y b de la función lineal: $PCI = a + bt$, donde PCI es la función dependiente, y t es la función independiente. Para tal fin, se debe llenar el siguiente cuadro:

Tabla 10.

Cálculos previos para estimar los coeficientes a y b de la función PCI

t	PCI	t*PCI	t ²	PCI ²
Año 1				
Año 2				
...				
Año n				
Σt	ΣPCI	$\Sigma t*PCI$	Σt^2	ΣPCI^2

A partir del cuadro, se debe calcular las medias de t y del PCI, aplicando las siguientes ecuaciones:

Ecuación 5. Media de t

$$\bar{t} = \frac{\sum t}{n}$$

Ecuación 6. Media del PCI

$$\overline{PCI} = \frac{\sum PCI}{n}$$

2.7.9.1. Cálculo del coeficiente b

Se utilizará la siguiente ecuación:

Ecuación 7. Cálculo del coeficiente b

$$b = \frac{n \sum (t * PCI) - \sum (t) \sum (PCI)}{n \sum t^2 - (\sum t)^2}$$

Nota: forma N°01 para calcular b .

Ecuación 8. Forma alternativa para calcular el coeficiente b

$$b = \frac{S_{tPCI}}{S_t^2}$$

Nota: forma N°02 para calcular b .

Donde el numerador y denominador de la forma N°02 para calcular b son los siguientes:

Ecuación 9. Numerador de b de la forma N°02

$$S_{tPCI} = \frac{\sum t * PCI}{n} - \bar{t} * \overline{PCI}$$

Ecuación 10. Denominador de b de la forma N°02

$$S_t^2 = \frac{\sum t^2}{n} - \bar{t}^2$$

2.7.9.2. Cálculo del coeficiente a

Se utilizará la siguiente ecuación:

Ecuación 11. Cálculo del coeficiente a

$$a = \overline{PCI} - b * \bar{t}$$

2.7.10. Obtención de la ecuación teórica de predicción del deterioro del pavimento

La ecuación teórica de predicción del deterioro del pavimento se obtiene a partir de los coeficientes a y b.

Ecuación 12. Recta de regresión lineal PCI en función del tiempo

$$PCI = a + b * t$$

2.7.11. Estimación el deterioro del pavimento asfáltico en la Av. Las Palmeras

Ya teniendo la ecuación lineal PCI en función del tiempo, se utiliza dicha recta para encontrar el valor PCI teórico de las vías en años posteriores. Para estimar el deterioro del pavimento, conociendo previamente los valores PCI teóricos a partir de la Ecuación 10, de acuerdo con la metodología del PCI se deberá verificar este índice numérico en un intervalo desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado, de acuerdo con la Tabla N°3 - rangos de calificación del PCI.

A continuación, se muestra el formato en la cual se indicarán los PCI obtenidos a partir de la ecuación teórica y también la condición del pavimento:

Tabla 11.

PCI obtenidos a partir de la ecuación teórica PCI

t	PCI	Condición del Pavimento

2.7.12. Determinación de acciones de intervención según la aplicación del cálculo del PCI

Se debe considerar que el PCI no puede cuantificar la capacidad estructural ni la medida directa de la resistencia al deslizamiento o rugosidad, el PCI solo proporciona una base objetiva y racional para determinar la aplicación de conservación y reparación y sus prioridades.

Se determina las acciones de intervención con base en la metodología del PCI, en la cual se debe considerar 19 tipos de fallas en pavimentos flexibles, ver Anexo N°2 y Anexo N°3; los cuales pueden clasificarse de acuerdo a su nivel de severidad, ver Anexo N°4 y Anexo N°5.

Para el tratamiento de conservación del pavimento existen distintos niveles de intervención los cuales dependen de la condición de la vía; cabe precisar que, si el pavimento sobre pasa el más alto estado de deterioro, entonces se necesitará más que un mantenimiento de la vía, se deberá realizar obras de rehabilitación del pavimento.

A continuación, se muestra una tabla en la cual contiene la categorización de acciones que se debe realizar de acuerdo al rango del PCI clasificado en siete formas:

Tabla 12.

Categorización de acciones

Categoría de acción	Rango	Clasificación
Mantenimiento Preventivo	100 - 85	Excelente
Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o Periódico	85 - 70	Muy Bueno
	70 - 55	Bueno
Mantenimiento Correctivo	55 - 40	Regular
Rehabilitación – Refuerzo Estructural	40 - 25	Malo
	25 - 10	Muy Malo
Rehabilitación - Recosntrucción	10 - 0	Fallado

Fuente: Manual de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos flexibles (Jugo, 2005)

2.8. Desarrollo de la tesis

En el desarrollo de la presente investigación y para su fácil interpretación, se realizó la evaluación de condición de la superficie asfáltica mediante la metodología PCI a las dos calzadas que cuenta la vía de estudio, cada calzada está distribuida con dos carriles; para tal fin, se realizó lo siguiente:

2.8.1. Reconocimiento de la zona de estudio

Se realizó reconocimiento de toda la avenida Las Palmeras que pertenece al distrito de Los Olivos en la ciudad de Lima, en la cual se pudo verificar que los extremos intersecan a la avenida Panamericana Norte y a la avenida Carlos Izaguirre cerca de la Municipalidad de Los Olivos, y en su recorrido interseca a las avenidas Alfredo Mendiola, Los Alisos, Naranjal y Rio Marañón.

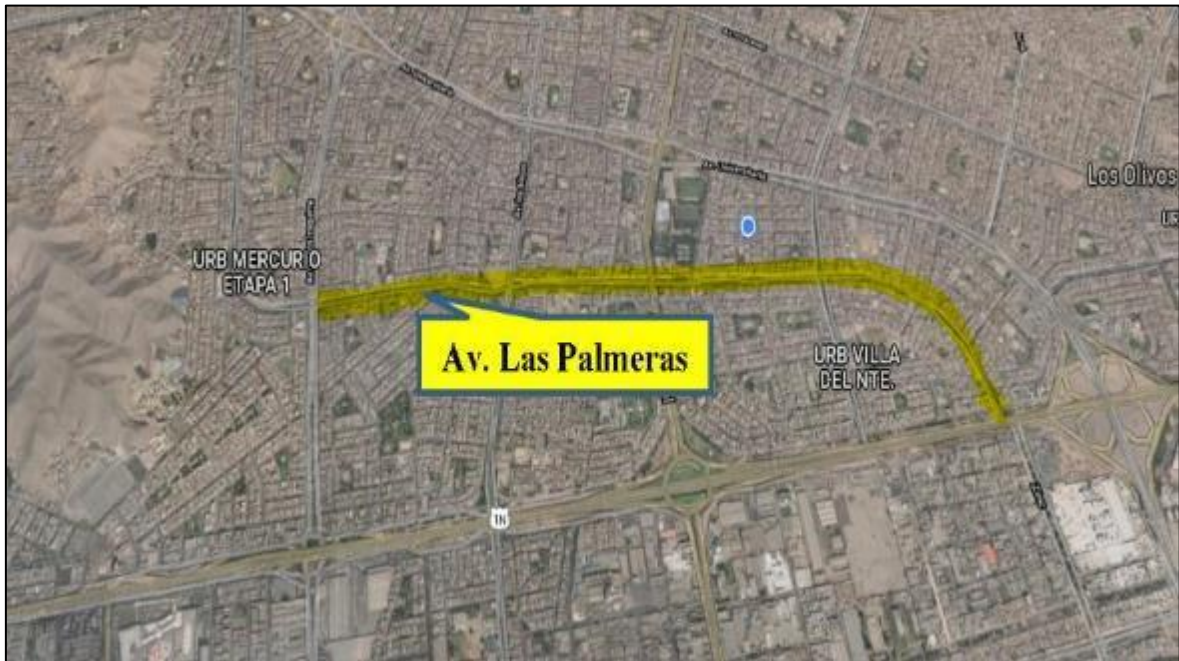


Figura 33. Reconocimiento de la Av. Las Palmeras

Fuente: Google Maps

A continuación, se presenta algunas imágenes de la Avenida Las Palmeras con las avenidas que cruza en su recorrido, extraídas del Google Maps:



Figura 34. Av. Las Palmeras cruce con Av. Carlos Izaguirre

Fuente: Google Maps



Figura 35. Av. Las Palmeras cruce con Av. Los Alisos.

Fuente: Google Maps



Figura 36. Av. Las Palmeras cruce con Av. El Naranjal

Fuente: Google Maps



Figura 37. Av. Las Palmeras cruce con Av. Río Maraón
Fuente: Google Maps



Figura 38. Av. Las Palmeras cruce con Av. Alfredo Mendiola
Fuente: Google Maps



Figura 39. Av. Las Palmeras cruce con Av. Panamericana Norte

Fuente: Google Maps

2.8.2. Mediciones previas de la zona de estudio

Se realizó mediciones de la Av. Las Palmeras con el Google Maps, y se determinó que tiene una extensión de 2,960 metros; cabe precisar que, la muestra tiene una extensión de 2,180 metros en sus dos calzadas de dos carriles cada una.

Las imágenes extraídas del Google Maps tienen como referencia los años 2013 y 2015, los cuales sirvieron como insumo para realizar la evaluación del pavimento mediante la metodología PCI.

2.8.3. Aplicación de la metodología PCI

Se dividió el tramo de estudio en Unidades de Muestra; con capa asfáltica y ancho con medida hasta 7.30 m, en la cual el área cumple con el Rango establecido de $230.0 \text{ m}^2 \pm 93.0 \text{ m}^2$ (área máxima 323 m^2 y área mínima 137 m^2). También, se identificó las fallas que existen en el pavimento, para el cual se consideró la clase,

severidad y extensión de los mismos y se consignó toda la información en el formato de registro PCI, ver Anexo N°1.

- **Muestra y unidades de muestra**

Tramo a estudiar: 00 + 000 02 + 180

Tabla 13.

Datos previos para la estimación de la muestra

Detalle	Valor	Unidad
Máximo:	323.00	m ²
Mínimo:	137.00	m ²
Longitud de la vía:	2,180.00	m
Ancho de la Calzada:	7.30	m
Longitud de muestra:	40.00	m
Área de muestra:	292.00	m ²

La longitud de la muestra se ha elegido considerando que el área de la muestra debe encontrarse dentro de los parámetros establecidos por la Norma (área máx. 323 m² y área mín. 137 m²), para el cual se ha considerado 40 m de longitud de la unidad de muestreo, que para un ancho de calzada de 7.30 m arroja un área de muestra de 292.00 m².

Tabla 14.

Estimación de la muestra

Coefficientes	Valores
N =	54
s =	10.00
e =	5
n =	13

Donde:

- n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar

- N: Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento
- e: Error de estimación aceptable en el PCI de la sección (por lo general $e = \pm 5\%$)
- s: Deviación estándar de una unidad a otra dentro de la misma sección.

Cabe mencionar que, de los cálculos realizados se obtienen 54 unidades totales de muestreo, de los cuales 14 unidades de muestreo serán evaluadas ($14 > n=13$).

- **Intervalo de espaciamiento de muestreo i**

Se calculó dividiendo el número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento entre el número mínimo de unidades de muestreo a evaluar, obteniendo lo siguiente:

$$i = 54/13$$

$$i = 4.153$$

Redondea al entero inferior, siendo el valor del intervalo de espaciamiento de muestreo:

$$i = 4$$

- **Esquema del Pavimento para muestreo**

Se seleccionó aleatoriamente una unidad de muestreo (N°1) y para 14 unidades de muestreo en 2180 m de pavimento se presenta el esquema del pavimento para muestreo de la siguiente forma:

00+040			00+200			00+360			00+520			00+680			00+840			01+000		
1			2			3			4			5			6			7		
01+160			01+320			01+480			01+640			01+800			01+960			02+120		
8			9			10			11			12			13			14		

Figura 40. Esquema del pavimento para muestreo

2.8.4. Llenado del formato de registro de la condición del pavimento

Se llenó los formatos de registro de la condición del pavimento con información de cada unidad de muestreo para cada calzada y para dos años (2013 y 2015), los cuales se muestran en el Anexo N°6.

2.8.5. Cálculo del PCI de las unidades de muestreo

Con la finalidad de entender fácilmente el proceso del cálculo del PCI, se tomó como ejemplo de cálculo los datos de la primera unidad de muestreo para la calzada izquierda como se muestra a continuación:



Figura 41. Unidad de muestra N°1 – Calzada izquierda

Fuente: Google Maps

Se analizó las fallas existentes en el tramo y se realizó la evaluación para los años 2013 y 2015, luego se extrajo del Google Maps las imágenes de las fallas y las colocamos en el formato de registro de la condición del pavimento para la presente unidad de muestreo:

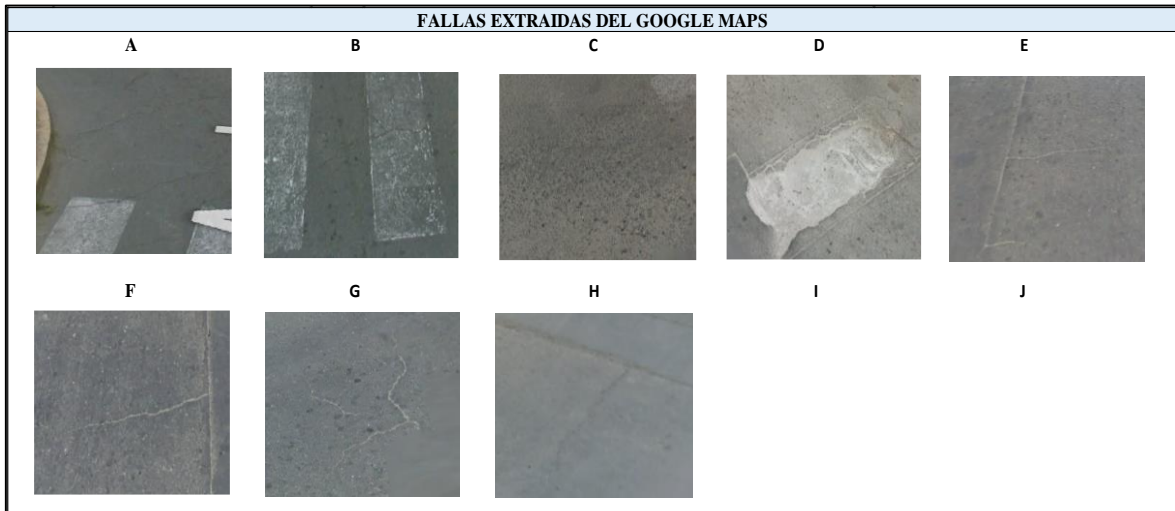


Figura 42. Fallas encontradas en la muestra N°1 – 2013 – calzada izquierda

Fuente: Google Maps

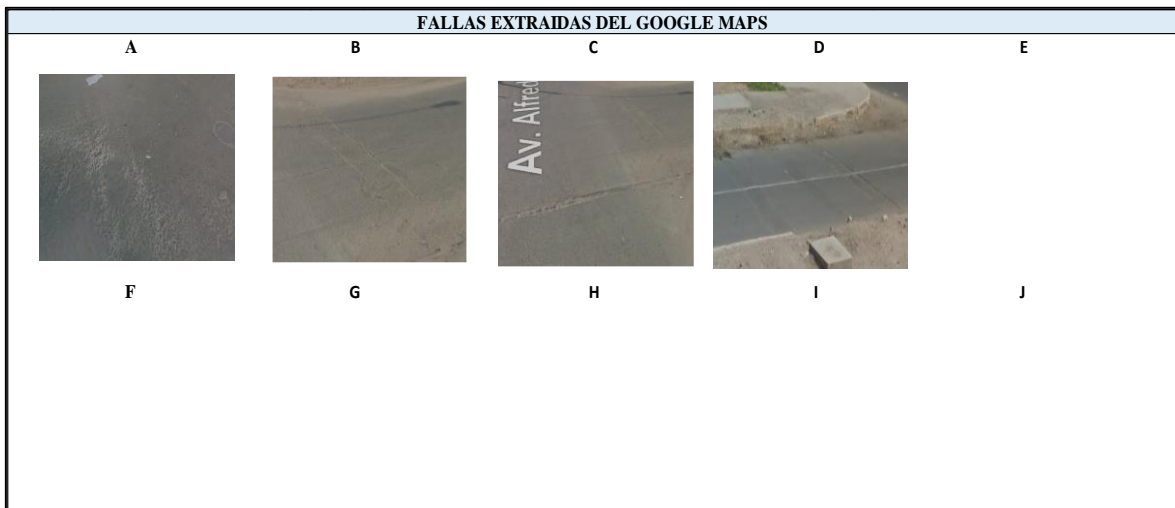


Figura 43. Fallas encontradas en la muestra N°1 – 2015 – calzada izquierda

Fuente: Google Maps

Se colocó la información en el formato de registro del pavimento de acuerdo a la metodología del PCI y se evaluó:

Se ha llenado el formato de registro de la condición del pavimento el cual ha servido para evaluar cada unidad de muestreo; luego de aplicar la metodología del PCI, se calculó este, obteniendo un PCI de 68 en el año 2013 y de 60 en el año 2015, y de acuerdo con el rango de clasificación del PCI, este valor indicó que la condición del pavimento en estas muestras es buena para ambos años de evaluación.

2.8.6. Consolidación de la matriz de sistematización de datos

A continuación, se muestra una matriz de sistematización de datos para los años 2013 y 2015 correspondiente a la calzada izquierda. En capítulo III (resultados) se mostrará la consolidación total en la matriz de sistematización de datos (para el total de las muestras).

Tabla 15.

Consolidación de la matriz de sistematización de datos

Año	Unidad de muestreo	Calzada	Área (m ²)	Abscisa inicial	Abscisa final	PCI	Condición del pavimento	Categoría de acción
2013	MI1	Izquierda	292	00+000	00+040	68	Bueno	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o periódico
2015	MI1	Izquierda	292	00+000	00+040	60	Bueno	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o periódico

2.8.7. Definición de los valores PCI teóricos en el tiempo

En este punto se consideró los PCI obtenidos para la unidad de muestreo N°1, como se muestra a continuación:

Tabla 16.

PCI teóricos para la muestra N°1

t	PCI
2000	100.00
2013	68.00
2015	60.00

Se considera PCI = 100 en el año 2000 pues es el año de creado el pavimento.

2.8.8. Aplicación del método de regresión de mínimo cuadrados

Se realizaron los cálculos para estimar los coeficientes a y b para la función PCI, los cuales se muestran a continuación:

Tabla 17.

Cálculos previos para estimar los coeficientes a y b

t	PCI	t*PCI	t ²	PCI ²
2000	100	200,000.00	4,000,000.00	10,000.00
2013	68	136,884.00	4,052,169.00	4,624.00
2015	60	120,900.00	4,060,225.00	3,600.00
6028	228.00	457,784.00	12,112,394.00	18,224.00

Luego se realizaron los siguientes cálculos

- La media de t:

$$\bar{t} = \frac{\sum t}{n} = \frac{6028}{3} = 2009.33;$$

- La media del PCI:

$$\overline{PCI} = \frac{\sum PCI}{n} = \frac{228.00}{3} = 76.00$$

2.8.9. Estimación de los valores a y b de la función: $PCI = a + bt$

- Cálculo del coeficiente b:

$$b = \frac{n \sum(t * PCI) - \sum(t) \sum(PCI)}{n \sum t^2 - (\sum t)^2} = \frac{3 * (457,784.00) - (6028)(228.00)}{3 * (12,112,394.00) - (6028)^2}$$

$$b = -2.592964$$

- Cálculo del coeficiente a:

$$a = \overline{PCI} - b * \bar{t} = 76.00 - (-2.592964) * 2009.33$$

$$a = 5286.13$$

2.8.10. Obtención de la ecuación teórica de predicción del deterioro del pavimento

Se estimó la recta de regresión lineal PCI en función del tiempo $PCI=a+b*t$, para la unidad de muestreo N°1, siendo este:

Ecuación 13. Ecuación teórica de predicción del deterioro del pavimento

$$PCI = 5286.13 - 2.592964 *t$$

El coeficiente de correlación lineal de Pearson es $r = 1$ el cual indica que hay una correlación perfecta negativa.

También, el coeficiente de determinación es $r^2 = 1$ el cual indica que mejor será el ajuste y más útil la recta de regresión como instrumento de predicción (todos los pares de puntos están sobre la recta de regresión lineal).

2.8.11. Estimación del deterioro del pavimento asfáltico en la Av. Las Palmeras

Se estimó el deterioro del pavimento asfáltico de la unidad de muestreo N°1, con la ecuación teórica para el cual se proyectaron valores teóricos PCI hasta el año 2037 y se obtuvo la siguiente información:

Tabla 18.

PCI obtenidos a partir de la ecuación teórica PCI

t	PCI	Condición del Pavimento
2021	45.75	Regular
2025	35.38	Malo
2029	25.01	Malo
2033	14.63	Muy malo
2037	4.26	Fallado

2.8.12. Determinación de acciones de intervención según la aplicación del cálculo del PCI

Se determinó que la unidad de muestra N°1 no requiere intervención alguna por estar en muy buena condición; sin embargo, en la proyección al 2025, se proyecta que la condición del pavimento es Malo, por lo que se recomienda realizar la acción de rehabilitación – reconstrucción.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Estado del deterioro del pavimento asfáltico de la avenida Las Palmeras, distrito de Los Olivos - Lima

Tabla 19.

Matriz de sistematización total de datos de las unidades de muestreo

Año	Unidad de muestreo	Calzada	Área (m²)	Abscisa inicial	Abscisa final	PCI	Condición del pavimento
2013	MD1	Derecha	292	00+000	00+040	100	Excelente
2013	MD2	Derecha	292	00+160	00+200	100	Excelente
2013	MD3	Derecha	292	00+320	00+360	100	Excelente
2013	MD4	Derecha	292	00+480	00+520	100	Excelente
2013	MD5	Derecha	292	00+640	00+680	94	Excelente
2013	MD6	Derecha	292	00+800	00+840	72	Muy bueno
2013	MD7	Derecha	292	00+960	01+000	100	Excelente
2013	MD8	Derecha	292	01+120	01+160	91	Excelente
2013	MD9	Derecha	292	01+280	01+320	100	Excelente
2013	MD10	Derecha	292	01+440	01+480	100	Excelente
2013	MD11	Derecha	292	01+600	01+640	24	Muy malo
2013	MD12	Derecha	292	01+760	01+800	0	Ninguno
2013	MD13	Derecha	292	01+920	01+960	100	Excelente
2013	MD14	Derecha	292	02+080	02+120	94	Excelente
2013	MI1	Izquierda	292	00+000	00+040	68	Bueno
2013	MI2	Izquierda	292	00+160	00+200	40	Malo
2013	MI3	Izquierda	292	00+320	00+360	66	Bueno
2013	MI4	Izquierda	292	00+480	00+520	44	Regular
2013	MI5	Izquierda	292	00+640	00+680	62	Bueno
2013	MI6	Izquierda	292	00+800	00+840	82	Muy bueno
2013	MI7	Izquierda	292	00+960	01+000	78	Muy bueno
2013	MI8	Izquierda	292	01+120	01+160	100	Excelente
2013	MI9	Izquierda	292	01+280	01+320	100	Excelente
2013	MI10	Izquierda	292	01+440	01+480	92	Excelente
2013	MI11	Izquierda	292	01+600	01+640	32	Malo
2013	MI12	Izquierda	292	01+760	01+800	66	Bueno
2013	MI13	Izquierda	292	01+920	01+960	100	Excelente
2013	MI14	Izquierda	292	02+080	02+120	100	Excelente
2015	MD1	Derecha	292	00+000	00+040	100	Excelente
2015	MD2	Derecha	292	00+160	00+200	100	Excelente
2015	MD3	Derecha	292	00+320	00+360	66	Bueno
2015	MD4	Derecha	292	00+480	00+520	66	Bueno
2015	MD5	Derecha	292	00+640	00+680	58	Bueno

2015	MD6	Derecha	292	00+800	00+840	46	Regular
2015	MD7	Derecha	292	00+960	01+000	60	Bueno
2015	MD8	Derecha	292	01+120	01+160	60	Bueno
2015	MD9	Derecha	292	01+280	01+320	60	Bueno
2015	MD10	Derecha	292	01+440	01+480	60	Bueno
2015	MD11	Derecha	292	01+600	01+640	38	Malo
2015	MD12	Derecha	292	01+760	01+800	0	Ninguno
2015	MD13	Derecha	292	01+920	01+960	62	Bueno
2015	MD14	Derecha	292	02+080	02+120	52	Regular
2015	MI1	Izquierda	292	00+000	00+040	60	Bueno
2015	MI2	Izquierda	292	00+160	00+200	28	Malo
2015	MI3	Izquierda	292	00+320	00+360	38	Malo
2015	MI4	Izquierda	292	00+480	00+520	36	Malo
2015	MI5	Izquierda	292	00+640	00+680	50	Regular
2015	MI6	Izquierda	292	00+800	00+840	58	Bueno
2015	MI7	Izquierda	292	00+960	01+000	32	Malo
2015	MI8	Izquierda	292	01+120	01+160	58	Bueno
2015	MI9	Izquierda	292	01+280	01+320	89	Excelente
2015	MI10	Izquierda	292	01+440	01+480	86	Excelente
2015	MI11	Izquierda	292	01+600	01+640	20	Muy malo
2015	MI12	Izquierda	292	01+760	01+800	46	Regular
2015	MI13	Izquierda	292	01+920	01+960	62	Bueno
2015	MI14	Izquierda	292	02+080	02+120	100	Excelente

3.2. Categorías de acción a aplicar en función del rango del PCI

Tabla 20.

Categoría de acción en función del rango PCI

Año	Unidad de muestreo	Abscisa inicial	Abscisa final	PCI	Condición del pavimento	Categoría de acción
2013	MD1	00+000	00+040	100	Excelente	Mantenimiento Preventivo
2013	MD2	00+160	00+200	100	Excelente	Mantenimiento Preventivo
2013	MD3	00+320	00+360	100	Excelente	Mantenimiento Preventivo
2013	MD4	00+480	00+520	100	Excelente	Mantenimiento Preventivo
2013	MD5	00+640	00+680	94	Excelente	Mantenimiento Preventivo
2013	MD6	00+800	00+840	72	Muy bueno	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o periódico
2013	MD7	00+960	01+000	100	Excelente	Mantenimiento Preventivo
2013	MD8	01+120	01+160	91	Excelente	Mantenimiento Preventivo
2013	MD9	01+280	01+320	100	Excelente	Mantenimiento Preventivo
2013	MD10	01+440	01+480	100	Excelente	Mantenimiento Preventivo

2013	MD11	01+600	01+640	24	Muy malo	Rehabilitación - Reconstrucción
2013	MD12	01+760	01+800	0	Ninguno	Ninguno
2013	MD13	01+920	01+960	100	Excelente	Mantenimiento Preventivo
2013	MD14	02+080	02+120	94	Excelente	Mantenimiento Preventivo
2013	MI1	00+000	00+040	68	Bueno	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o periódico
2013	MI2	00+160	00+200	40	Malo	Rehabilitación - Reconstrucción
2013	MI3	00+320	00+360	66	Bueno	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o periódico
2013	MI4	00+480	00+520	44	Regular	Mantenimiento correctivo
2013	MI5	00+640	00+680	62	Bueno	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o periódico
2013	MI6	00+800	00+840	82	Muy bueno	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o periódico
2013	MI7	00+960	01+000	78	Muy bueno	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o periódico
2013	MI8	01+120	01+160	100	Excelente	Mantenimiento Preventivo
2013	MI9	01+280	01+320	100	Excelente	Mantenimiento Preventivo
2013	MI10	01+440	01+480	92	Excelente	Mantenimiento Preventivo
2013	MI11	01+600	01+640	32	Malo	Rehabilitación - Reconstrucción
2013	MI12	01+760	01+800	66	Bueno	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o periódico
2013	MI13	01+920	01+960	100	Excelente	Mantenimiento Preventivo
2013	MI14	02+080	02+120	100	Excelente	Mantenimiento Preventivo
2015	MD1	00+000	00+040	100	Excelente	Mantenimiento Preventivo
2015	MD2	00+160	00+200	100	Excelente	Mantenimiento Preventivo
2015	MD3	00+320	00+360	66	Bueno	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o periódico
2015	MD4	00+480	00+520	66	Bueno	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o periódico
2015	MD5	00+640	00+680	58	Bueno	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o periódico
2015	MD6	00+800	00+840	46	Regular	Mantenimiento correctivo
2015	MD7	00+960	01+000	60	Bueno	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o periódico
2015	MD8	01+120	01+160	60	Bueno	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o periódico
2015	MD9	01+280	01+320	60	Bueno	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o periódico
2015	MD10	01+440	01+480	60	Bueno	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o periódico
2015	MD11	01+600	01+640	38	Malo	Rehabilitación - Refuerzo Estructural
2015	MD12	01+760	01+800	0	Ninguno	Ninguno
2015	MD13	01+920	01+960	62	Bueno	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o periódico
2015	MD14	02+080	02+120	52	Regular	Mantenimiento correctivo
2015	MI1	00+000	00+040	60	Bueno	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o periódico

2015	MI2	00+160	00+200	28	Malo	Rehabilitación - Refuerzo Estructural
2015	MI3	00+320	00+360	38	Malo	Rehabilitación - Refuerzo Estructural
2015	MI4	00+480	00+520	36	Malo	Rehabilitación - Refuerzo Estructural
2015	MI5	00+640	00+680	50	Regular	Mantenimiento correctivo
2015	MI6	00+800	00+840	58	Bueno	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o periódico
2015	MI7	00+960	01+000	32	Malo	Rehabilitación - Refuerzo Estructural
2015	MI8	01+120	01+160	58	Bueno	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o periódico
2015	MI9	01+280	01+320	89	Excelente	Mantenimiento Preventivo
2015	MI10	01+440	01+480	86	Excelente	Mantenimiento Preventivo
2015	MI11	01+600	01+640	20	Muy malo	Rehabilitación - Reconstrucción
2015	MI12	01+760	01+800	46	Regular	Mantenimiento correctivo
2015	MI13	01+920	01+960	62	Bueno	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o periódico
2015	MI14	02+080	02+120	100	Excelente	Mantenimiento Preventivo

3.3. Valores PCI teóricos en el tiempo

A continuación, se presenta los valores PCI para cada unidad de muestreo por año y calzada:

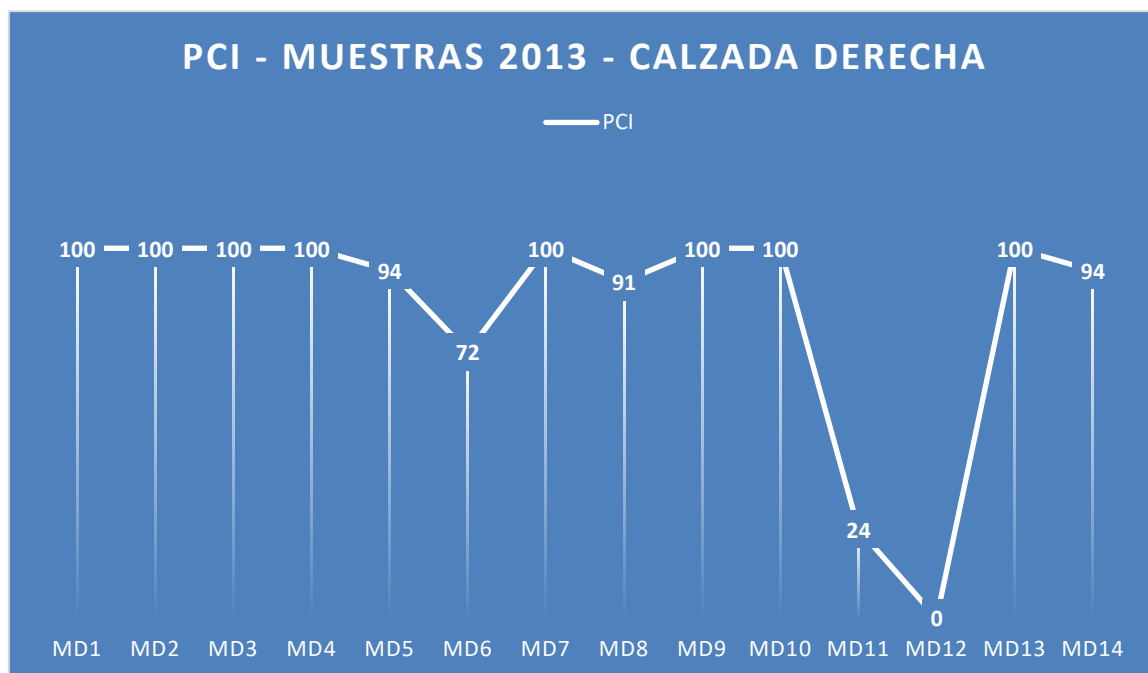


Figura 46. PCI de las unidades de muestreo 2013 - calzada derecha

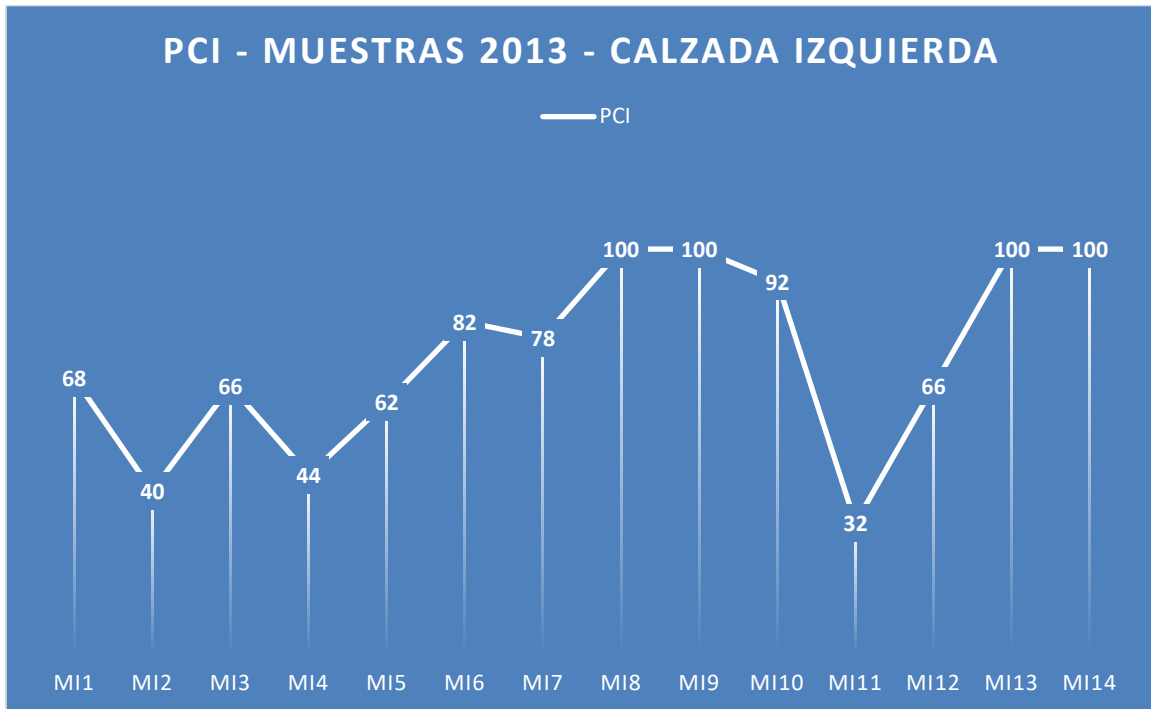


Figura 47. PCI de las unidades de muestreo 2013 - calzada izquierda

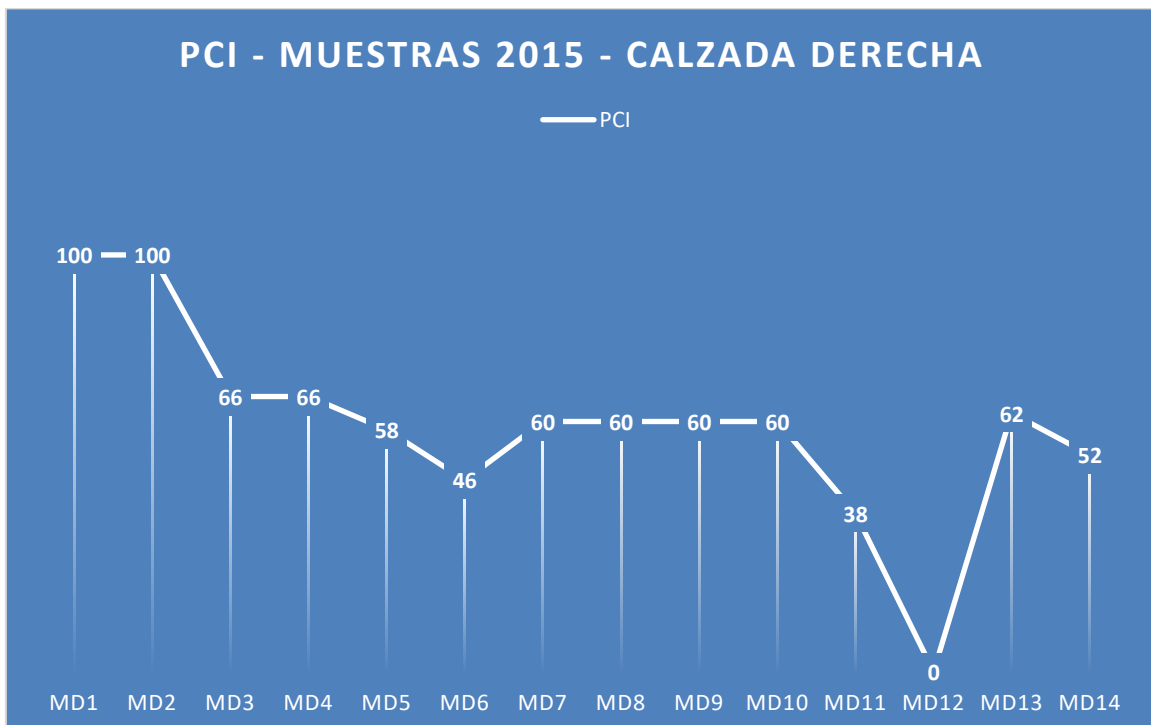


Figura 48. PCI de las unidades de muestreo 2015 - calzada derecha

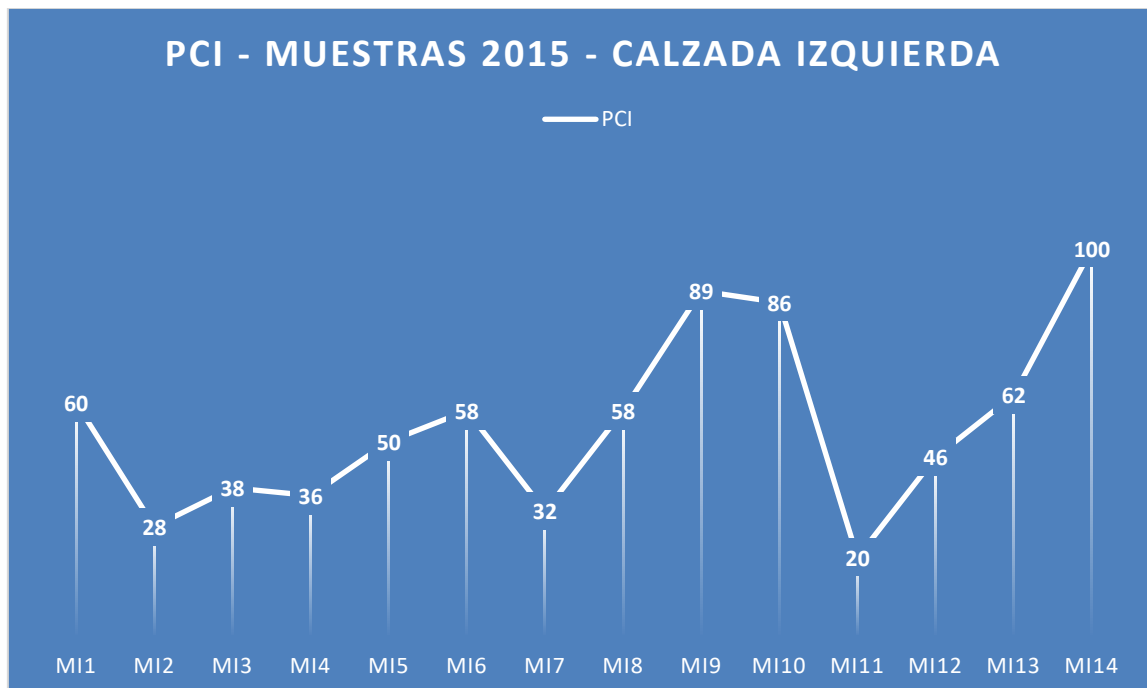


Figura 49. PCI de las unidades de muestreo 2015 - calzada izquierda

Tabla 21.

PCI promedio 2013

Calzada	Promedio PCI 2013	Condición del pavimento	Categoría de acción
Derecha	83.93	Muy bueno	Mantenimiento Preventivo
Izquierda	73.57	Muy bueno	Rutinario y/o periódico

Tabla 22.

PCI promedio 2015

Calzada	Promedio PCI 2013	Condición del pavimento	Categoría de acción
Derecha	59.14	Bueno	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o periódico
Izquierda	54.50	Regular	Mantenimiento correctivo

Se consideró que, el pavimento de la avenida Las Palmeras fue producido en el año 2000, por lo tanto, para este año el valor del PCI es del 100% en ambas calzadas. A continuación, se muestran los valores teóricos PCI en el tiempo:

Tabla 23.

Valores teóricos PCI

Calzada	PCI 2000	PCI Prom. 2013	PCI Prom. 2015
Derecha	100	83.93	59.14
Izquierda	100	73.57	54.50

3.4. Valores a y b para el ajuste de la función de regresión lineal

Tabla 24.

Valores previos para cálculo de la recta de regresión lineal

Calzada	Σt	$\Sigma(\text{PCI})$	$\Sigma(t*\text{PCI})$	$\Sigma(t^2)$	$\Sigma(\text{PCI}^2)$	t prom	PCI prom
Derecha	6,025	243.07	487,821.07	12,100,403.00	20,541.88	2,008.33	81.02
Izquierda	6,025	228.07	457,616.79	12,100,403.00	18,383.01	2,008.33	76.02

Luego de obtener estos valores previos se procedió a calcular los coeficientes a y b de la recta de regresión lineal para ambas calzadas los cuales se muestran a continuación:

Tabla 25.

Coefficientes de la recta de regresión lineal

Calzada	b	a
Derecha	- 1.78	3,664.88
Izquierda	- 2.19	4,477.85

Las rectas de regresión lineal para las calzadas derecha e izquierda se muestra a continuación:

Ecuación 14. Recta de predicción del deterioro del pavimento – calzada derecha

$$\text{PCI calzada derecha} = 3,664.88 - 1.78*t$$

Donde: $r = -0.86$, $r^2 = 0.74$, significa que existe una correlación inversa negativa, mientras los valores de la variable tiempo aumentan, los de la variable PCI disminuyen; y que de 74 pares de puntos están en la recta de regresión, mientras que 26 están fuera de la recta de regresión, por lo que se considera que la recta de regresión es un buen instrumento de predicción.

Ecuación 15. Recta de predicción del deterioro del pavimento – calzada izquierda

$$\text{PCI calzada izquierda} = 4,477.85 - 2.19 * t$$

Donde: $r = -0.95$, $r^2 = 0.90$, significa que existe una correlación inversa negativa, mientras los valores de la variable tiempo aumentan, los de la variable PCI disminuyen; y que de 90 pares de puntos están en la recta de regresión, mientras que 10 están fuera de la recta de regresión, por lo que se considera que la recta de regresión es un buen instrumento de predicción.

Finalmente, ya contando con las rectas de regresión lineal, se proyectó los valores PCI para ambas calzadas y para cinco años obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 26.

Estimación del deterioro del pavimento de la Av. Las Palmeras, distrito de Los Olivos - Lima

t	PCI Calzada Izquierda	Condición del pavimento	Categoría de Acción	PCI Calzada Derecha	Condición del pavimento	Categoría de Acción
2021	48.26	Regular	Mantenimiento correctivo	58.42	Bueno	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o periódico
2025	39.49	Malo	Rehabilitación - Refuerzo Estructural	51.28	Regular	Mantenimiento correctivo
2029	30.73	Malo	Rehabilitación - Refuerzo Estructural	44.14	Regular	Mantenimiento correctivo
2033	21.96	Muy malo	Rehabilitación -	37.01	Malo	Rehabilitación - Refuerzo

			Reconstrucción			Estructural
2037	13.19	Muy malo	Rehabilitación - Reconstrucción	29.87	Malo	Rehabilitación - Refuerzo Estructural

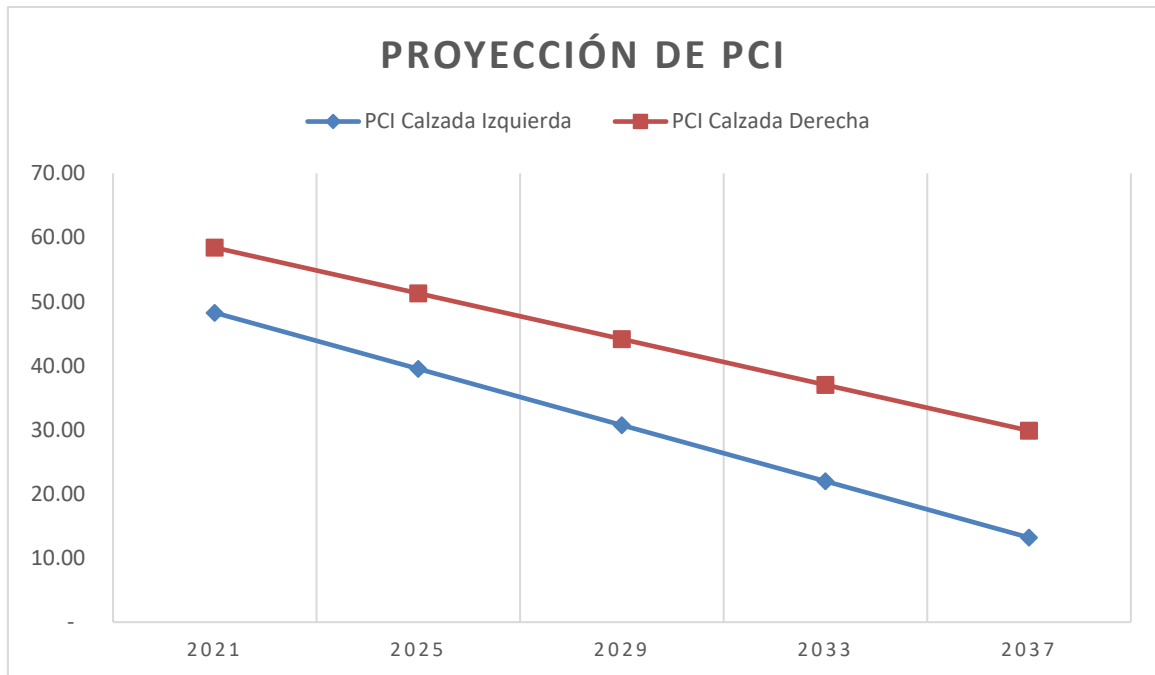


Figura 50. Proyección de PCI hasta el 2037

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

- En la presente investigación se tuvo como objetivo general determinar la estimación del deterioro del pavimento asfáltico de la avenida Las Palmeras, distrito de Los Olivos - Lima 2021; los indicadores abordados tienen como antecedente realizado por Tineo (2019), donde se determina el estado del pavimento asfáltico en la avenida Canto Grande del distrito de San Juan de Lurigancho en Lima, mediante la metodología PCI, dando como resultado que por PCI las calzadas derecha e izquierda tienen una calificación promedio de 39.47 (condición mala), evaluó también los tipos de daños que presentó el pavimento, determinando el estado del pavimento como REGULAR; asimismo, se puede observar en los resultados encontrados del primer objetivo de la presente investigación que al 2021, la condición del pavimento en la calzada izquierda y derecha de la avenida Las Palmeras distrito de Los Olivos es regular y bueno respectivamente. Teniendo una afinidad con Salazar (2019) en su investigación mediante la metodología PCI determinó que el estado de conservación de la Avenida Independencia, Cajamarca 2017, es regular, con un PCI promedio de 49.09%; mostrando que la metodología PCI determina la condición del pavimento a través de inspecciones visuales, identificando clase, severidad y cantidad de fallas encontradas.
- A partir de los hallazgos encontrados, se estimó el deterioro del pavimento asfáltico de la avenida Las Palmeras, distrito de Los Olivos - Lima 2021, el cual fue realizado mediante la metodología del Índice de Condición del Pavimento – PCI y

con el soporte estadístico de la regresión lineal para estimar los modelos de predicción de deterioro del pavimento para las dos calzadas de la referida avenida. Estos resultados obtenidos guardan relación con lo que sostienen Coripuna y Huanacchiri (2019), Andrade (2018), Ponce (2019) y Sierra y Rivas (2016) quienes desarrollaron la metodología del PCI en sus investigaciones y lograron determinar el estado de conservación del pavimento que analizaron, a raíz de la necesidad de mejorar la situación en que se encuentran las vías en sus localidades y que es una preocupación que afecta a todos los usuarios de estas vías, pues es necesario conocer el estado real del pavimento para poder aplicar alguna categoría de acción idónea en ellas, también es necesario conocer el comportamiento del pavimento después de la aplicación de alguna categoría de acción para optimizar los gastos. Asimismo, en el estudio de Andrade (2018), titulado Mejora de la gestión del mantenimiento de pavimentos urbanos en la ciudad de Valencia a través de la predicción de su deterioro en la cual aporta una metodología en base a valores obtenidos para diferentes años y formula una ecuación de regresión para el pavimento con base en el modelo de George et al (1989) y que está en función de las variables al eje individual equivalente anual-ESAL y al número estructural modificado-SNS, de forma que mediante tres o cuatro valores del PCI en el tiempo tomados mediante Google Earth, se predice el deterioro del pavimento, con un bajo error en comparación con otros tipos de análisis.

4.2. Conclusiones

- Se estimó el deterioro del pavimento asfáltico de la avenida Las Palmeras, distrito de Los Olivos - Lima al 2021, obteniendo que la condición del pavimento asfáltico en la calzada izquierda y derecha de la vía son de condición regular y condición bueno respectivamente.
- Se determinó el estado de deterioro del pavimento asfáltico, aplicando la metodología del PCI, en la avenida Las Palmeras, distrito de Los Olivos – Lima, al 2021, obteniendo el valor PCI de 48.26 para la calzada izquierda (condición regular) y el valor PCI de 58.42 para la calzada derecha (condición bueno).
- Se determinó las categorías de acción según la aplicación del cálculo del PCI, para el pavimento asfáltico en la avenida Las Palmeras, distrito de Los Olivos - Lima al 2021, indicando que para la calzada izquierda, la categoría de acción es realizar un mantenimiento correctivo mientras que para la calzada derecha, la categoría de acción a realizar es de un mantenimiento preventivo rutinario y/o periódico.
- Se formuló un modelo estadístico de predicción del deterioro del pavimento asfáltico de la avenida Las Palmeras, distrito de Los Olivos - Lima 2021, obteniendo dos rectas de predicción del deterioro del pavimento ($PCI = PCI(t)$): $PCI = 3,664.88 - 1.78*t$ para la calzada derecha y $PCI = 4,477.85 - 2.19*t$ para la calza izquierda, los cuales sirvieron para estimar los valores PCI del pavimento asfáltico de la avenida Las Palmeras para el año 2021.

4.3. Recomendaciones

- Previo a la recolección de datos, se recomienda que el investigador sepa identificar cada tipo de falla de acuerdo a lo indicado en la metodología del PCI, pues cuando se realiza la inspección visual en ocasiones no se puede notar diferencias en algunas características de las fallas.
- Para futuras investigaciones, se recomienda que el investigador aplique la metodología PCI al pavimento asfáltico de la avenida Las Palmeras en el presente, realizando un levantamiento de fallas y tomas fotográficas con mucha luz para visualizar bien todas las fallas existentes presentes y obtener el PCI actual, el cual permitirá obtener una recta de regresión lineal más ajustada que permitirá obtener resultados con mayor precisión.
- Para futuras investigaciones se recomienda a los investigadores usar la metodología PCI con el soporte del análisis estadístico predictivo pues este es una herramienta adecuada para ser utilizada en la determinación de modelos de predicción de desempeño y/o deterioro de pavimentos flexibles, así como en la determinación de su precisión.
- Se recomienda al equipo técnico de los gobiernos locales el uso de estos métodos de manera permanente, pues la aplicación de estas técnicas de evaluación permitirá determinar el estado del deterioro del pavimento asfáltico y poder ejecutar estrategias de categorías de acción con el fin de conservar el pavimento con índices de servicio adecuados a lo largo de su vida útil y que se verá reflejado en la optimización de los costos implicados.

REFERENCIAS

- Alzate, S. (2019). *Sistema de clasificación de severidad de daños en pavimentos flexibles para determinar posibles intervenciones* [Tesis de pregrado, Universidad EIA].
https://repository.eia.edu.co/bitstream/handle/11190/2344/AlzateSair_2019_SistemaClasificaci%F3nDa%F1os.pdf;jsessionid=755E9FB3FCED87F6025D500A3857518B?sequence=1
- Andrade, A. (2018). *Mejora de la gestión del mantenimiento de pavimentos urbanos en la ciudad de Valencia a través de la predicción de su deterioro* [Trabajo de Fin de Máster, Universidad Politécnica de Valencia].
https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/115994/01_Memoria.pdf?sequence=1
- ASTM D6433-03, *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003, www.astm.org
- Bettera, M., Montero, M., Hildmann, M., Maldonado, R. & Bogino, B. (2019). *Geografía y transporte: construcción de materiales educativos multimediales y de secuencias didácticas para el nivel secundario y superior*. Universidad Nacional de Río Cuarto. Obtenido de: <http://www.unirioeditora.com.ar/wp-content/uploads/2019/06/978-987-688-713-0.pdf>
- Córdova, M. (2003). *Estadística descriptiva e inferencial, aplicaciones*. Editorial MOSHERA S.R.L.
- Coripuna, C. & Huanacchiri Y. (2019). *Evaluación del estado de conservación del pavimento, utilizando el método PCI con el software EVALPAV, en las avenidas El Trébol, Venus y Manuel Gonzales Prada (km 0+000 - 2+383) del distrito de Los*

- Olivos* [Tesis de pregrado, Universidad Privada San Martín de Porres].
<https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/5959>
- Esteban, W. (2016). *Comparación de las metodologías VIZIR y PCI con fines de intervención en la carretera PE-18A tramo km 15+000 – km 25+306* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizan].
<http://repositorio.unheval.edu.pe/handle/UNHEVAL/1283>
- Deterioro (s.f.). En *DeConceptos.com*. Recuperado de:
<https://deconceptos.com/general/deterioro>
- Deterioro (s.f.). En *Word Reference*. Recuperado de:
<https://www.wordreference.com/definicion/deterioro>
- Gamboa, K. (2009). *Cálculo del índice de condición aplicado en del pavimento flexible en la Av. Las Palmeras de Piura* [Tesis de pregrado, Universidad de Piura].
<https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1351>
- Garcés, D. (2017). *Evaluación vial y plan de rehabilitación y mantenimiento de la vía Azogues- Cojitambo- Déleg- La Raya* [Tesis de postgrado, Universidad de Cuenca].
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28556>
- Hidalgo, F. (2007). *Definición moderna de los parámetros para el diseño de pavimentos* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica del Ejército].
<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/1578>
- Humpiri, K. (2015). *Análisis superficial de pavimentos flexibles para el mantenimiento de vías en la región de Puno* [Tesis de postgrado, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez]. <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/426>

https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_9%20MCV-2014_2016.pdf

Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (2013). *Volumen N°2 Libro A Norma para estudios y diseños viales - Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12-MTOP.*

Obtenido de: https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_2A.pdf

Montes de Oca, I. & Palacios, J. (2013). *La importancia de cumplir los niveles de servicio de la infraestructura carretera en México* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México].

<http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/3228>

Navarro, W. (2016). *Modelo de gestión de conservación vial para la red vial rural del Cantón Santo Domingo* [Tesis de postgrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador].

<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/12450/MODELO%20DE%20GESTION%20DE%20CONSERVACION%20VIAL%2C%20PARA%20LA%20RED%20VIAL%20RURAL%20DEL%20CANTON%20SANTO%20DOMINGO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pastor, C. y Pérez, P. (2009). *El Reto de la Infraestructura al 2018 “La Brecha de Inversión en Infraestructura en el Perú 2008”* [Asociación para el fomento de la infraestructura nacional, Instituto Peruano de Economía]. Obtenido de:

<https://www.ipe.org.pe/portal/wp-content/uploads/2018/01/IPE-2009-La-brecha-en-infraestructura-2008.pdf>

- Ponce, C. (2019). *Determinación de fallas en el pavimento flexible de la Av. John F. Kennedy ubicada en la ciudad de Jipijapa* [Tesis de pregrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1695>
- Real Academia Española (2020). Deterioro. Diccionario de la lengua española (23.3a ed.). Recuperado de: <https://dle.rae.es/deterioro>
- Real Academia Española (2020). Deteriorar. Diccionario de la lengua española (23.3a ed.). Recuperado de: <https://dle.rae.es/deteriorar>
- Rodríguez, M. C. & Rodríguez, M. J. (2004). *Evaluación y rehabilitación de pavimentos flexibles por el método del reciclaje* [Tesis de pregrado, Universidad de El Salvador]. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2234/>
- Salazar, C. (2019). *Evaluación superficial del pavimento flexible utilizando el método PCI contrastado con la guía PMBOK en la avenida Independencia, Cajamarca 2017* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23992>
- Sierra, C. & Rivas, A. (2016). *Aplicación y comparación de las diferentes metodologías de diagnóstico para la conservación y mantenimiento del tramo PR 00+000 – PR 01+020 de la vía al Llano (Dg. 78 Bis Sur – calle 84 Sur) en la UPZ Yomasa* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/13987>
- Tineo, I. (2019). *Evaluación del estado del pavimento asfáltico aplicando los métodos PCI y VIZIR para proponer alternativas de mantenimiento – Av. Canto Grande* [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2584>

Vásquez, L. (2002). *Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.* Obtenido de:

<https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-pci1.pdf>

Vergara, A. (2015). *Evaluación del estado funcional y estructural del pavimento flexible mediante la metodología PCI tramo Quichuay – Ingenio del km 0+000 al km 1 + 000, 2014* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú].

https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/421/TCIV_29.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Anexo N°2. Tipos de fallas en pavimentos flexibles

Los tipos de fallas en pavimentos flexibles, Vásquez (2002) refiere que la metodología PCI ha establecido 19 clases de fallas, clasificándolos según su nivel de severidad (pp. 10-45). A continuación, se puede observar la clasificación de los pavimentos flexibles en cuatro categorías:

Tabla 27.

Tipos de fallas según su nivel de severidad establecidos por el PCI

Categorías	Tipos de fallas	Unidad	Factor
Fisuras y grietas	Piel de cocodrilo	m ²	Carga
	En bloque	m ²	Clima
	De borde	m	Carga
	Reflexión de junta	m	Clima
	Longitudinales y transversales	m	Clima
	Parabólicas o por deslizamiento	m ²	Otros
Deformaciones Superficiales	Abultamientos y hundimientos	m	Otros
	Corrugación	m ²	Otros
	Depresión	m ²	Otros
	Ahuellamiento	m ²	Carga
	Desplazamiento	m ²	Carga
	Hinchamiento	m ²	Otros
	Cruce vía férrea	m ²	Otros
Desprendimientos	Baches (huecos)	Und	Carga
	Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados	m ²	Clima
Otras fallas	Exudación	m ²	Otros
	Agregado pulido	m ²	Otros
	Desnivel carril - berma	m	Otros
	Parches (baches y zanjas separadas)	m ²	Otros

Fuente: Elaboración propia, adaptación de Vásquez et al. (2002).

Anexo N°3. Descripción y posibles causas de los tipos de fallas establecidos por el PCI

Tabla 28.

Descripción y posibles causas de los tipos de fallas establecidos por el PCI

Tipos de fallas	Descripción	Posibles Causas
Piel de cocodrilo	<p>Serie de fisuras interconectadas formando pequeños polígonos irregulares de ángulos agudos, generalmente con un diámetro promedio menor a 30 cm. El fisuramiento empieza en la parte inferior de las capas asfálticas, donde las tensiones y deformaciones por tracción alcanzan su valor máximo, cuando el pavimento es solicitado por una carga. Las fisuras se propagan a la superficie, inicialmente, como una serie de fisuras longitudinales paralelas; luego por efecto de la repetición de, evolucionan interconectándose y formando una malla cerrada, que asemeja el cuero de un cocodrilo. Ocurren necesariamente en áreas sometidas al tránsito, como las huellas de canalización del tránsito. Si la base y la sub-base son débiles, el fisuramiento será acompañado por ahuellamientos. Cuando el drenaje es inadecuado, el fisuramiento se presentará en primera estancia, en las huellas de canalización exteriores. En su etapa final, el agrietamiento se transforma en bache. La misma sección del pavimento presentará fisuras y grietas de cocodrilo, ahuellamientos y baches.</p>	<p>Son causadas por la fatiga que sufren las capas asfálticas al ser sometidas a las cargas repetidas del tránsito. Por lo general, el fisuramiento indica que el pavimento ya no tiene capacidad estructural de sostener las cargas de tránsito y ha llegado al fin de su vida útil. El ligante por lo general ha envejecido y por ende ha perdido la flexibilidad de sostener cargas repetidas al tránsito sin agrietarse.</p>
En bloque	<p>Serie de fisuras interconectadas formando piezas aproximadamente rectangulares, de diámetro promedio mayor de 30 cm, con un área variable de 0.10 a 9.0 m². La fisura en bloque se presenta normalmente en una gran área del pavimento y algunas veces ocurren solamente en las áreas no afectadas por el tráfico.</p>	<p>Son causadas principalmente por la contracción de las mezclas asfálticas debido a las variaciones diarias de temperatura. También suelen ocurrir en pavimentos bituminosos colocados sobre bases granulares estabilizadas o mejoradas con cemento pórtland, que se producen a raíz de la contracción eventual de la capa estabilizada, que se reflejan en la superficie del pavimento. A menudo es difícil constatar si las</p>

		<p>fisuras y grietas son debido a contracciones producidas en la capa de rodadura o en la base y sub-base. La ausencia de tráfico tiende a acelerar la formación de estas grietas de contracción. También se debe a cambios de volumen del agregado fino de las mezclas asfálticas con un ligante de penetración baja. Por lo general, el origen de estas fisuras no está asociado a las cargas de tráfico; sin embargo, dichas cargas incrementan la severidad de las fisuras. La presencia de fisuras en bloques generalmente es indicativa de que el asfalto se ha endurecido significativamente.</p>
De borde	<p>Las Grietas de Borde son fisuras paralelas al borde exterior del pavimento y ubicadas entre 300mm y 500mm del mismo. El área entre la Grieta de Borde y el margen del pavimento se clasifica como astillada si está despedazada, en ocasiones al punto de que se pueden retirar los fragmentos</p>	<p>Este daño se incrementa con el tránsito y puede originarse por el debilitamiento de la base o de la subrasante en las zonas próximas al borde del pavimento debido al clima.</p>
Reflexión de junta	<p>Se presentan sólo en pavimentos mixtos constituidos por una superficie asfáltica sobre un pavimento de concreto con juntas. Consiste en la propagación ascendente hacia la superficie asfáltica, de las juntas del pavimento de concreto. Como consecuencia, por efecto de la reflexión, se observan en la superficie fisuras longitudinales y/o transversales que tienden a reproducir las juntas longitudinales y transversales de las losas inferiores.</p>	<p>Son causadas principalmente por el movimiento de las losas de concreto, como resultado de cambios de temperaturas o cambios en los contenidos de humedad. Las grietas por reflexión se propagan dentro de la capa asfáltica, como consecuencia directa de una concentración de tensiones; así mismo, si por la aplicación de las cargas de tránsito las losas experimentan deflexiones verticales importantes en las juntas, la reflexión se produce con mayor rapidez. El tránsito puede producir la rotura de la capa asfáltica en la proximidad de las fisuras reflejadas, resultando en peladuras y eventualmente baches.</p>
Longitudinales y transversales	<p>Longitudinales son paralelas al eje del pavimento o a la dirección de construcción del mismo. Las Grietas Transversales se extienden a través del pavimento en ángulos aproximadamente rectos al eje del mismo o a la dirección de construcción. Este tipo de grietas no</p>	<p>este tipo de daño suele ser causado por:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Una junta de construcción entre carriles muy mal elaborada. • La contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al endurecimiento del asfalto o al ciclo diario de temperatura del sitio o una combinación de lo

	suelen estar asociado con cargas.	anterior. • Una grieta de reflexión causada por el agrietamiento de la capa de base subyacente. Esto incluye las grietas de losas de concreto, pero no las juntas de las mismas.
Parabólica s o por deslizamie nto	Las Grietas Parabólicas o por Deslizamiento son fisuras en forma de media luna, perpendicular es a la dirección del tránsito y se producen cuando las ruedas que frenan o giran inducen el deslizamiento o la deformación de la superficie del pavimento.	Este daño suele ocurrir por un riego de liga inadecuado entre la superficie y la capa subyacente de la estructura de pavimento. No tiene relación alguna con procesos de inestabilidad geotécnica de la calzada.
Abultamie ntos y hundimien tos	Los Abultamientos son desplazamientos hacia arriba, pequeños y puntuales, de la superficie del pavimento. Se diferencian de los Desplazamientos pues aquellos se presentan en pavimentos con mezclas asfálticas inestables. Los Hundimientos son desplazamientos hacia abajo, pequeños y abruptos, de la superficie del pavimento. Si se presentan en un patrón perpendicular al tránsito y con espaciamiento menor de tres metros, el daño se registra como Corrugación.	Los hundimientos son causados por asentamientos de la fundación, deficiencias durante la construcción o falta de un continuo mantenimiento a los drenes. La heterogeneidad constructiva puede provocar, desde simples descensos de nivel, hasta insuficiencia de espesor o estabilidad de los materiales. Los abultamientos son causados por expansión por congelamiento, Infiltración y elevación del material en una grieta en combinación con las cargas del tránsito
Corrugaci ón	La Corrugación, también conocida como “Ondulación”, es una serie de crestas y valles muy próximos que ocurren en intervalos bastante regulares, usualmente de menos de 3.0m, a lo largo del pavimento. Las crestas son perpendiculares a la dirección del tránsito.	este tipo de daño suele ser causado por la acción del tránsito combinada con una rodadura o una base asfáltica inestable.
Depresión	Las Depresiones son áreas puntuales de la superficie del pavimento con niveles ligeramente más bajos que los del pavimento a su alrededor. En muchas ocasiones, las Depresiones suaves sólo son visibles después de la lluvia, cuando el agua almacenada forma una “fuente para aves”. En pavimentos secos, las Depresiones pueden identificarse gracias a las manchas causadas por el agua almacenada.	Las Depresiones se forman por el asentamiento de la subrasante o por una construcción incorrecta del pavimento. Las Depresiones causan algo de rugosidad y, si son lo suficientemente profundas o están llenas de agua, pueden causar hidropelano.

Ahuellamiento	Depresión longitudinal continua a lo largo del rodamiento del tránsito, de longitud mínima de 6 m.	<p>Las repeticiones de las cargas de tránsito conducen a deformaciones permanentes en cualquiera de las capas del pavimento o en la subrasante. Cuando el radio de influencia de la zona ahuellada es pequeño, las deformaciones ocurren en las capas superiores del pavimento; cuando el radio de influencia es amplio, las deformaciones ocurren en la subrasante. Las causas posibles incluyen:</p> <ol style="list-style-type: none"> i. Las capas estructurales pobremente compactadas. ii. Inestabilidad en bases y sub-bases granulares, creada por la presión del agua o saturación de la misma. iii. Mezcla asfáltica inestable. vi. Técnica de construcción pobre y un bajo control de calidad. vii. Utilización de materiales no apropiados o de mala calidad. viii. La acción del tránsito (sobrecargas y altos volúmenes de tránsito no previstos en el diseño original). x. Estacionamiento prolongado de vehículos pesados. xi. Exceso de ligantes de riegos.
Desplazamiento	Distorsiones de la superficie del pavimento por desplazamiento de la mezcla asfáltica, a veces acompañados por levantamientos de material formando "cordones", principalmente laterales, o bien por desplazamiento de la capa asfáltica sobre la superficie subyacente, generalmente acompañada de un levantamiento hacia el eje de la carretera.	Los desplazamientos son ocasionados por las cargas del tránsito, actuando sobre mezclas asfálticas poco estables, ya sea por exceso de asfalto, falta de vacíos, o bien, por falta de confinamiento lateral. La inadecuada ejecución del riego de liga o imprimación no permite una adecuada adherencia entre la capa asfáltica de rodadura y la subyacente, originando mayor posibilidad de corrimiento.
Hinchamiento	el Hinchamiento se caracteriza por el pandeo de la superficie del pavimento hacia arriba, en una onda larga y gradual con una longitud mayor que 3.0m.	el Hinchamiento puede estar acompañado de agrietamiento superficial. Este daño suele ser causado por el congelamiento en la subrasante o por suelos potencialmente expansivos.
Cruce vía férrea	Los defectos asociados con el Cruce de Vía Férrea son depresiones o abultamientos alrededor de los rieles o entre ellos.	cualquier Abultamiento importante causado por los rieles, debe considerarse como parte del cruce.
Baches (huecos)	Desintegración total de la superficie de rodamiento que puede extenderse a otras capas del pavimento, formando	Los baches se producen por conjunción de varias causas: fundaciones y capas inferiores inestables; espesores

	una cavidad de bordes y profundidades irregulares.	insuficientes; defectos constructivos; retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas. La acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento y/o fundación, o sobre áreas en las que se han desarrollado fisuras tipo piel de cocodrilo, que han alcanzado un alto nivel de severidad, provoca la desintegración y posterior remoción de parte de la superficie del pavimento, originando un bache.
Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados	El daño mecánico causado por elementos como ganchos de arrastre, rines de llantas, orugas de tractores o barredoras de nieve se reporta como Desprendimiento de Agregado Grueso. Si se observa Desprendimiento de Agregado Grueso no debe reportarse Meteorización (Desgaste Superficial).	puede ser causado por bajo contenido de ligante asfáltico, mala calidad de la mezcla, compactación insuficiente, segregación o stripping.
Exudación	Consiste en el afloramiento de un material bituminoso de la mezcla asfáltica a la superficie del pavimento, formando una película continua de ligante, creando una superficie brillante, reflectante, resbaladiza y pegajosa durante el tiempo cálido.	La exudación es causada por un excesivo contenido de asfalto en las mezclas asfálticas y/o sellos bituminosos. Ocurre en mezclas con un porcentaje de vacíos deficientes, durante épocas calurosas. El ligante dilata, llena los vacíos y aflora a la superficie, dejando una película de bitumen en la superficie. Dado que el proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frío, el asfalto se acumula en la superficie.
Agregado pulido	Este daño se reporta cuando el resultado de un ensayo de resistencia al deslizamiento es bajo o se reduce significativamente comparado con una evaluación anterior. Cuando el agregado de la superficie se vuelve suave al tacto, la adhesión con los neumáticos de los vehículos se reduce de forma importante. Cuando la porción de agregado que se extiende por encima del asfalto es pequeña, la textura del pavimento no contribuye de forma significativa a reducir la velocidad de los vehículos.	Este daño es causado por las cargas de tránsito. El Pulimento de Agregado se presenta cuando un examen minucioso del pavimento revela que: <ul style="list-style-type: none"> • La porción de agregado que se extiende por encima del asfalto es muy pequeña. • No hay partículas de agregado ásperas y angulares que proporcionen resistencia al deslizamiento.
Desnivel carril - berma	es una diferencia de cota entre el borde del pavimento y la superficie de la berma.	este daño se debe a la erosión o el asentamiento de la berma o a la construcción de sobre capas en la calzada sin ajustar el nivel de la berma.

**Parches
(baches y
zanjas
separadas)**

un parche es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado, ya sea con material similar o diferente, para reparar el pavimento existente. También un parchado por reparación de servicios públicos es un parche que se ha ejecutado para permitir la instalación o mantenimiento de algún tipo de servicio público subterráneo. Los parchados disminuyen el nivel de servicio de la carretera, al tiempo que puede constituir un indicador tanto de la intensidad de mantenimiento demandado por una carretera, como de la necesidad de reforzar la estructura de la misma. En general las áreas parchadas tienen un comportamiento inferior al pavimento original y en muchos casos son el origen de una mayor rugosidad del pavimento o de nuevas fallas en el mismo o en el área adyacente, particularmente cuando su ejecución es defectuosa.

si bien los parches por reparaciones de servicios públicos se deben a causas diferentes, los niveles de severidad se definen en forma idéntica.

Fuente: Esteban et al. (2016, pp. 120-138).

Anexo N°4. Tipos de fallas según nivel de severidad

A continuación, se muestran figuras de los tipos de fallas según su nivel de severidad establecidos por la metodología PCI, de acuerdo a la Norma Técnica internacional ASTM D6433-03 (2004):



Figura 51. Piel de cocodrilo – baja severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)

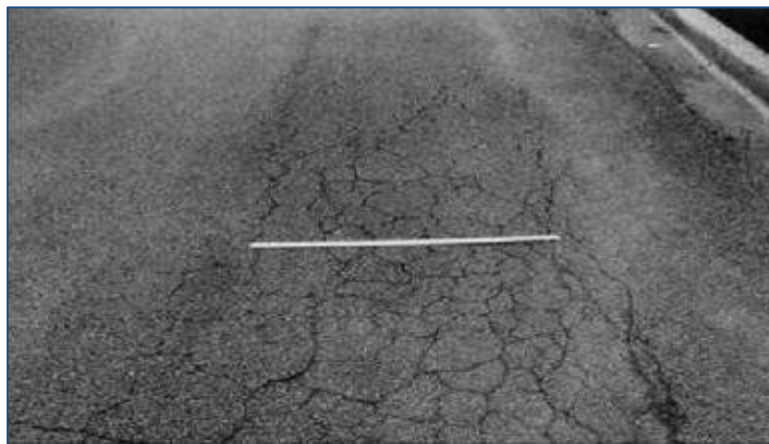


Figura 52. Piel de cocodrilo – mediana severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 53. Piel de cocodrilo – alta severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)

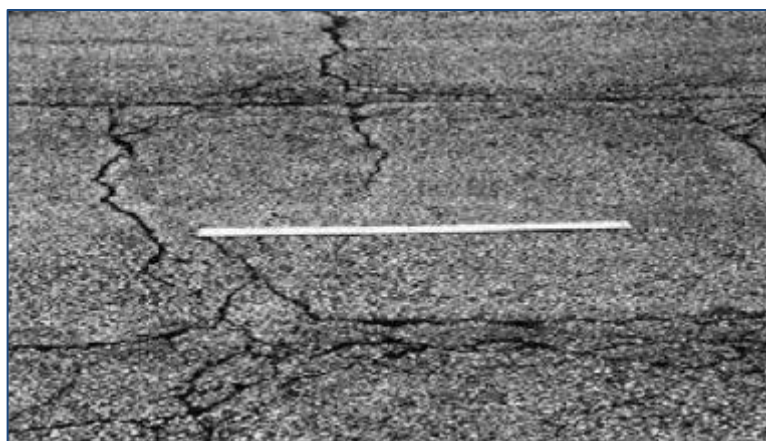


Figura 54. Agrietamiento en bloque – baja severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 55. Agrietamiento en bloque – mediana severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 56. Agrietamiento en bloque – alta severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 57. Agrietamiento de borde – baja severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 58. Agrietamiento de borde – mediana severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 59. Agrietamiento de borde – alta severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 60. Agrietamiento de reflexión de junta – baja severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 61. Agrietamiento de reflexión de junta – mediana severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)

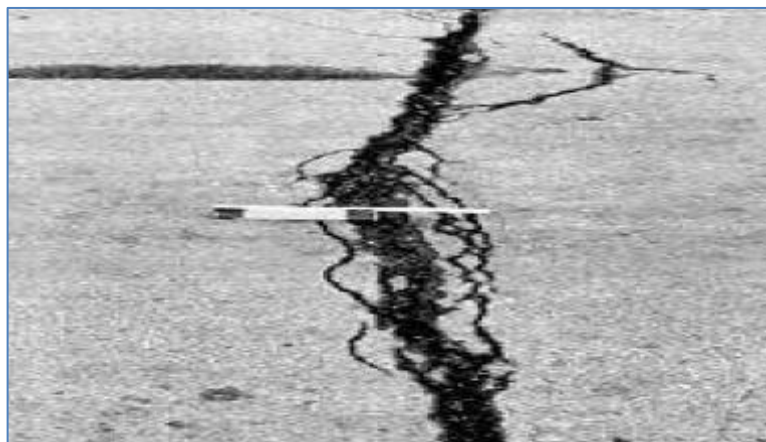


Figura 62. Agrietamiento de reflexión de junta – alta severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)

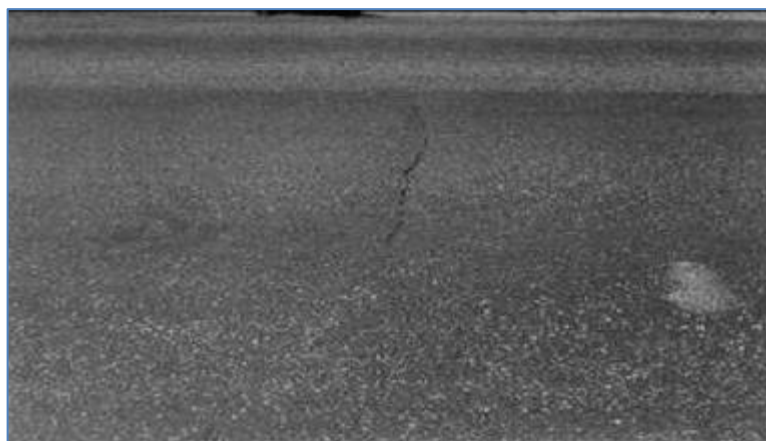


Figura 63. Longitudinales y transversales – baja severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 64. Longitudinales y transversales – mediana severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 65. Longitudinales y transversales – alta severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 66. Fisura parabólica o por deslizamiento – baja severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 67. Fisura parabólica o por deslizamiento – mediana severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 68. Fisura parabólica o por deslizamiento – alta severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 69. Abultamientos y hundimientos – baja severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 70. Abultamientos y hundimientos – mediana severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)

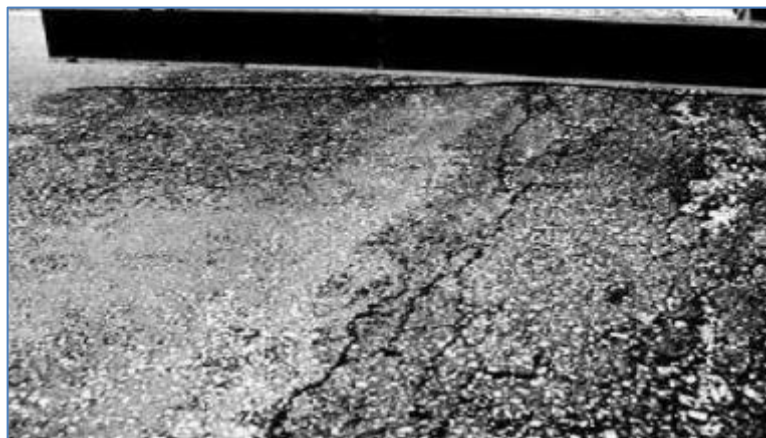


Figura 71. Abultamientos y hundimientos – alta severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 72. Corrugación – baja severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 73. Corrugación – mediana severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)

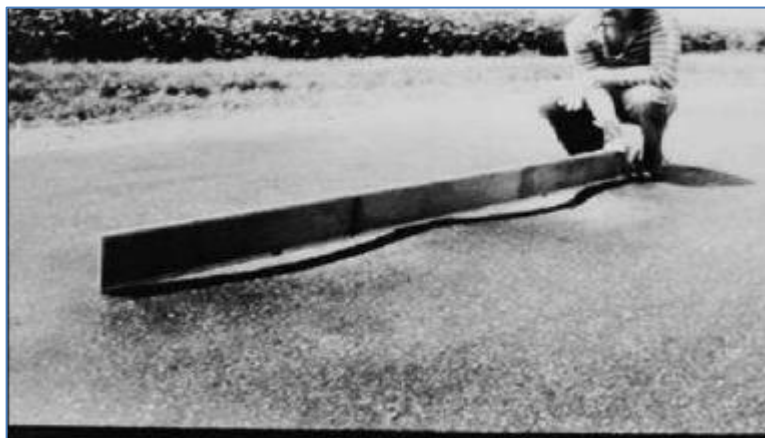


Figura 74. Corrugación – alta severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 75. Depresión – baja severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)

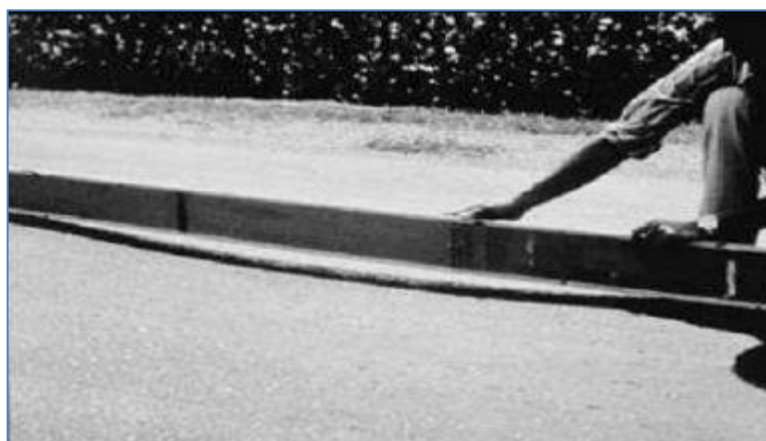


Figura 76. Depresión – mediana severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 77. Depresión – alta severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)

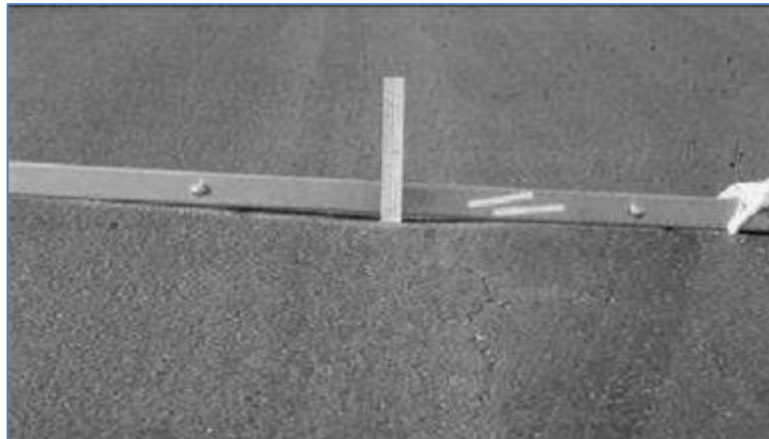


Figura 78. Ahuellamiento – baja severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 79. Ahuellamiento – mediana severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 80. Ahuellamiento – alta severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 81. Desplazamiento – baja severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 82. Desplazamiento – mediana severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 83. Desplazamiento – alta severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



**Figura 84. Hinchamiento – El nivel de severidad depende
del criterio de la calidad de tránsito**
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 85. Cruce vía férrea – baja severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 86. Cruce vía férrea – mediana severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 87. Cruce vía férrea – alta severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 88. Baches (huecos) – baja severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)

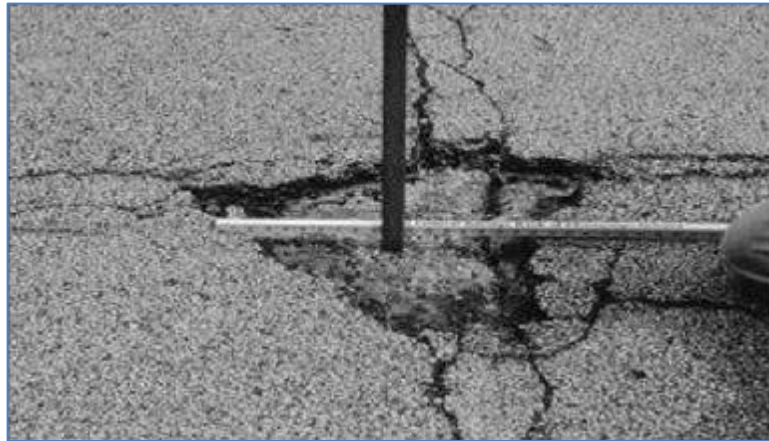
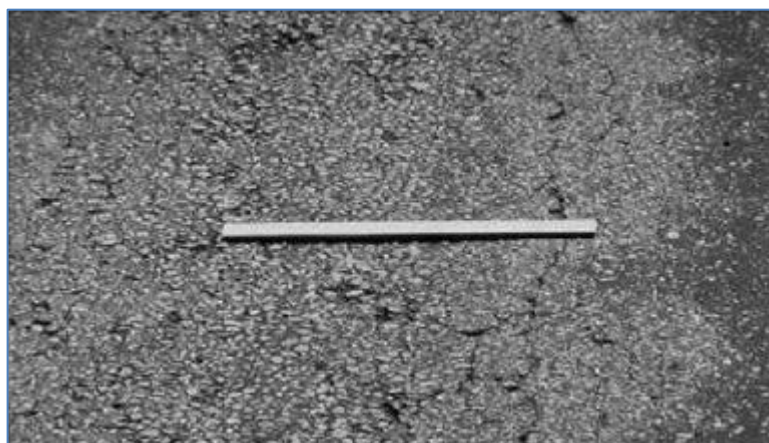


Figura 89. Baches (huecos) – mediana severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 90. Baches (huecos) – alta severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



**Figura 91. Peladura por intemperismo y desprendimiento de
agregados – baja severidad**
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)

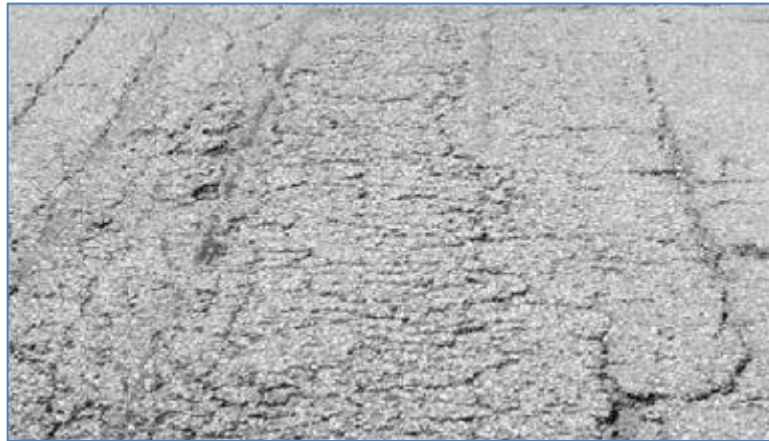


Figura 92. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados – mediana severidad

Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 93. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados – alta severidad

Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 94. Exudación – baja severidad

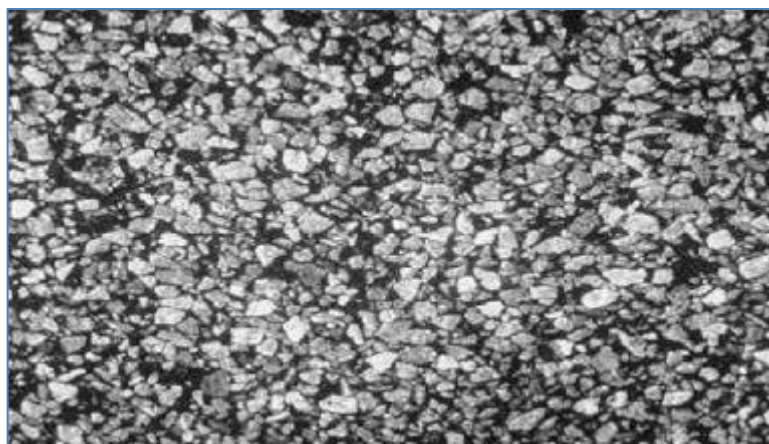
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 95. Exudación – mediana severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 96. Exudación – alta severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



**Figura 97. Agregado pulido – No hay niveles de severidad
definidos**

Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 98. Desnivel carril – berma – baja severidad

Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 99. Desnivel carril – berma – mediana severidad

Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 100. Desnivel carril – berma – alta severidad

Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 101. Parches – baja severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 102. Parches – mediana severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)



Figura 103. Parches – alta severidad
Fuente: Norma Técnica ASTM D6433-03 (2004)

Anexo N°5. Nivel de severidad

La Norma Técnica internacional ASTM D6433-03 (2004), refiere los siguientes niveles de severidad para cada tipo de falla:

Tabla 29.

Esquema del diseño transversal

N°	Tipo de Falla	Unidad	Severidad		
			L	M	H
			Baja (Low)	Media (Medium)	Alta (High)
1	Piel de cocodrilo	m2	s < 10 mm	10 mm < s < 30 mm	s > 30 mm
			Baja	Definida	Bien Definida
			No presenta	Ligero	Bien definido
			No presenta	Ligero	Bien definido
2	Agrietamiento en bloque	m2	s < 10 mm	10 mm < s < 76 mm	s > 76 mm
3	Agrietamiento de borde	m	No presenta	Poco definido	Bien definido
			s < 10 mm	10 mm < s < 76 mm	s > 76 mm
			bajo	medio	severo
4	Agrietamiento de reflexión de junta	m	s < 10 mm	10 mm < s < 76 mm	s > 76 mm
5	Longitudinales y transversales	m	s < 10 mm	10 mm < s < 76 mm, ya sea que este rodeado o no por grietas aleatorias	s > 76 mm, ya sea que este rodeado por grietas aleatorias de severidad media o alta
6	Fisura parabólica o por deslizamiento	m2	Ancho < 10 mm	10 mm < ancho < 40 mm; o el área que rodea la fisura esta descascarada en forma moderada, o rodeada por fisuras del tipo secundario	ancho > 40 mm, o el área que rodea la fisura está fracturada en pequeñas piezas fáciles de remover
7	Abultamientos y hundimientos	m	baja	Media	Alta
8	Corrugación	m2	baja	Media	Alta
9	Depresión	m2	13 mm < h < 25 mm	25 mm < h < 51 mm	h > 51 mm
10	Ahuellamiento	m2	6 mm < h < 13 mm	13 mm < h < 25 mm	h > 25 mm
11	Desplazamiento	m2	El desplazamiento produce calidad de tránsito de baja severidad.	El desplazamiento produce calidad de tránsito de media severidad.	El desplazamiento produce calidad de tránsito de alta severidad.

12	Hinchamiento	m2	Calidad de tránsito de baja severidad, pueden detectarse manejando a una velocidad límite sobre la sección del pavimento.	Calidad de tránsito de severidad media	Calidad de tránsito de severidad alta
13	Cruce vía férrea	m2	El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de baja severidad	El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de media severidad	El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de alta severidad
14	Baches (huecos)	Und	$100 \text{ mm} < d < 200 \text{ mm}$ $13 \text{ mm} < h < 50 \text{ mm}$	$100 \text{ mm} < d < 200 \text{ mm}$ $h > 50 \text{ mm}$	$450 \text{ mm} < d < 750 \text{ mm}$ $h > 25 \text{ mm}$
			$200 \text{ mm} < d < 450 \text{ mm}$ $13 \text{ mm} < h < 25 \text{ mm}$	$200 \text{ mm} < d < 450 \text{ mm}$ $h > 25 \text{ mm}$	$450 \text{ mm} < d < 750 \text{ mm}$ $h > 25 \text{ mm}$
				$450 \text{ mm} < d < 750 \text{ mm}$ $13 \text{ mm} < h < 25 \text{ mm}$	
15	Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados	m2	Inicia con la separación de agregados o merma del ligante y en algunas zonas aparecen depresiones. las manchas de aceite son visibles, pero la superficie está dura y no puede ser penetrada fácilmente.	Cuando se ha separado el ligante o los agregados. La textura en la superficie es rugosa suavemente y presenta pequeños hoyos	Cuando la separación del ligante y el agregado es considerable. La textura de la superficie es muy rugosa y está severamente ahuecada. Las áreas con hueco: diámetro < 10mm Profundidad < 13mm
16	Exudación	m2	Suave	Medio	Intenso
			Pocos días del año	Pocas semanas del año	Varias semanas al año
17	Agregado pulido	m2	No definido	No definido	No definido
18	Desnivel carril -berma	m	$25 \text{ mm} < h < 51 \text{ mm}$	$51 \text{ mm} < h < 102 \text{ mm}$	$h > 102 \text{ mm}$
19	Parches	m2	Buen estado	Moderamiento deteriorado	Muy deteriorado
			Baja	Media	Alta

Fuente: Elaboración propia, adaptado de la Norma Técnica internacional ASTM D6433-03 (2004).

Anexo N°7. Matriz de sistematización de datos

Año	Unidad de muestreo	Calzada	Área (m2)	Abscisa inicial	Abscisa final	PCI	Condición del pavimento	Categoría de acción

Anexo N°8. Panel Fotográfico





