



**UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**T E S I S**

**DIAGNÓSTICO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LAS  
VÍAS ARTERIALES DE LA CIUDAD DE  
MOQUEGUA, 2019.**

**PRESENTADA POR**

**BACHILLER GUISELA AYLIN ZAPATA AGUILAR**

**ASESOR**

**ING. EMERSHON ESCOBEDO CABRERA**

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO CIVIL**

**MOQUEGUA - PERÚ**

**2020**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
PORTADA	
Dedicatoria.....	i
Agradecimientos .....	ii
Contenido.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xiii
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN .....	xvii

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema .....	1
1.2. Definición del problema .....	2
1.2.1. Problema general .....	3
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3. Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos .....	4
1.4. Justificación .....	4
1.5. Alcances y limitaciones .....	6
1.6. Variables .....	7
1.6.1. Operacionalización de variables .....	8

1.7. Hipótesis de la investigación .....	10
1.7.1. Hipótesis general .....	10
1.7.2. Hipótesis derivadas .....	10

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1. Antecedentes de la investigación.....	11
2.2. Bases teóricas.....	16
2.3. Definición de términos .....	71

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO**

3.1. Tipo de la investigación.....	74
3.2. Diseño de la investigación .....	74
3.3. Población y muestra.....	75
3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos .....	75

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

4.1. Presentación de resultados .....	81
4.2. Contrastación de hipótesis .....	114
4.3. Discusión de resultados .....	123

**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. Conclusiones.....	128
5.2. Recomendaciones .....	130
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	132
APÉNDICES.....	136
MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	230

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Contenido de tablas</b>	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Operacionalización de Variables .....	9
Tabla 2. Parámetros de diseños vinculados a la clasificación de vías urbanas .....	28
Tabla 3. Nivel de severidad de piel de cocodrilo .....	47
Tabla 4. Nivel de severidad de exudación .....	48
Tabla 5. Nivel de severidad de agrietamiento en bloque .....	49
Tabla 6. Nivel de severidad de abultamiento y hundimiento.....	50
Tabla 7. Nivel de severidad de corrugaciones .....	50
Tabla 8. Nivel de severidad de depresiones .....	51
Tabla 9. Nivel de severidad de grietas de borde .....	51
Tabla 10. Nivel de severidad de reflexión de junta.....	52
Tabla 11. Nivel de severidad de desnivel carril-berma.....	53
Tabla 12. Nivel de severidad de grietas longitudinales y transversales.....	54
Tabla 13. Nivel de severidad de bacheo.....	54
Tabla 14. Nivel de severidad de huecos.....	55
Tabla 15. Nivel de severidad de cruce de vía férrea .....	56
Tabla 16. Nivel de severidad de ahuellamiento .....	56
Tabla 17. Nivel de severidad de desplazamiento .....	57
Tabla 18. Nivel de severidad de grietas parabólicas .....	58
Tabla 19. Nivel de severidad de hinchamiento .....	58
Tabla 20. Nivel de severidad de despredimiento de agregados .....	59
Tabla 21. Relación entre el ancho del carril y el borde del pavimento.....	61
Tabla 22. Factor de corrección por estacionalidad.....	66

Tabla 23. Cuadro resumen del conteo vehicular del tramo I .....	82
Tabla 24. Cuadro resumen del conteo vehicular del tramo II.....	82
Tabla 25. Volumen según tipo de vehículos del tramo I.....	83
Tabla 26. Volumen según tipo de vehículos del tramo II .....	83
Tabla 27. Tránsito promedio diario semanal del tramo I y II .....	85
Tabla 28. Tránsito promedio diario anual del tramo I y II.....	86
Tabla 29. Cálculo para la obtención de los coeficientes parciales.....	87
Tabla 30. Resumen de la determinación del ESAL .....	89
Tabla 31. Evaluación del pavimento mediante el PCI – tramo I .....	90
Tabla 32. Resumen de los resultados PCI del tramo I .....	91
Tabla 33. Evaluación del pavimento mediante el PCI – tramo II .....	97
Tabla 34. Resumen de los resultados PCI del tramo II.....	98
Tabla 35. Lectura de deflexiones de viga Benkelman .....	105
Tabla 36. Datos de la evaluación deflectométrica .....	106
Tabla 37. Prueba de Kolmogoroy-Smirnov para deflexiones tramo I y II .....	115
Tabla 38. Prueba de Kolmogoroy-Smirnov para PCI tramo I y II .....	118
Tabla 39. Prueba de Kolmogoroy-Smirnov para fallas superficiales .....	121
Tabla 40. Prueba de normalidad Kolmogoroy-Smirnov, Shapiro Wilk.....	122
Tabla 41. Estudio estadístico del método PCI .....	123
Tabla 42. Matriz de consistencia .....	230

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Contenido de figuras</b>	<b>Pág.</b>
Figura 1. Ubicación de la Av. Manuel C. de la Torre.....	6
Figura 2. Sección típica de estructuras de pavimento flexible o rígido .....	17
Figura 3. Sección típica de pavimento flexible.....	19
Figura 4. Sección típica de pavimento rígido.....	21
Figura 5. Tipos de fallas en pavimentos flexibles.....	26
Figura 6. Tránsito vehicular actual.....	29
Figura 7. Tipos de ejes .....	30
Figura 8. Formato para evaluar el volumen de tránsito .....	31
Figura 9. Parque automotor a nivel nacional .....	34
Figura 10. Factores de distribución direccional y de carril.....	35
Figura 11. Relación de cargas por eje para determinar eje equivalente (EE) .....	36
Figura 12. Rangos de calificación del PCI.....	37
Figura 13. Hoja de registro de evaluación .....	38
Figura 14. Longitudes de unidades de muestras asfálticas .....	39
Figura 15. Diagrama de flujo del método PCI.....	42
Figura 16. Curva de corrección para pavimentos asfálticos .....	44
Figura 17. Catálogo de fallas para el método del PCI .....	46
Figura 18. Configuraciones geométricas del sistema de carga .....	61
Figura 19. Procesamiento de medición de deflexiones.....	63
Figura 20. Deformada del pavimento y parámetros de comparación .....	67
Figura 21. Valor de “t” y probabilidad de ocurrencia de $D > D_c$ .....	69
Figura 22. Análisis combinado de los resultados de evaluación.....	71

Figura 23. Hojas de registro de la evaluación superficial y estructural .....	76
Figura 24. Ejecución de trabajo con el odómetro y el nivel.....	76
Figura 25. Empleo de la viga Benkelman .....	77
Figura 26. Vehículo de carga para ensayo de viga Benkelman .....	77
Figura 27. Termómetro utilizado para el pavimento.....	78
Figura 28. Instrumentos utilizados para el desarrollo de la investigación .....	78
Figura 29. Flexómetro y cinta métrica utilizados para la medición.....	79
Figura 30. Instrumentos de seeguridad .....	80
Figura 31. Variación media diaria de vehículos livianos y pesados – tramo I.....	84
Figura 32. Variación media diaria de vehículos livianos y pesados – tramo II....	84
Figura 33. Distribución de fallas: Parche – tramo I .....	91
Figura 34. Distribución de fallas: Huecos – tramo I .....	92
Figura 35. Distribución de fallas:Grietas transversales y longitudinales–tramo I	92
Figura 36. Distribución de fallas: Bloque – tramo I.....	93
Figura 37. Distribución de fallas: Fisura de borde – tramo I .....	93
Figura 38. Distribución de fallas: Desprendimiento de agregados – tramo I.....	94
Figura 39. Distribución de fallas: Grieta parabólica – tramo I .....	94
Figura 40. Distribución de fallas: Abultamientoy hundimiento – tramo I.....	95
Figura 41. Distribución de fallas: Desplazamiento – tramo I .....	95
Figura 42. Distribución de fallas: Piel de cocodrilo – tramo I.....	96
Figura 43. Distribución de fallas: Parche – tramo II.....	98
Figura 44. Distribución de fallas: Huecos – tramo II.....	99
Figura 45. Distribución de fallas:Grietas transversales y longitudinales–tramo II	99
Figura 46. Distribución de fallas: Bloque – tramo II .....	100

Figura 47. Distribución de fallas: Fisura de borde – tramo II.....	100
Figura 48. Distribución de fallas: Desprendimiento de agregados – tramo II ....	101
Figura 49. Distribución de fallas: Grieta parabólica – tramo II.....	101
Figura 50. Distribución de fallas: Ahuellamiento – tramo II.....	102
Figura 51. Distribución de fallas: Hinchamiento – tramo II.....	102
Figura 52. Distribución de fallas: Piel de cocodrilo – tramo II.....	103
Figura 53. Distribución de fallas: Desnivel carril/berma – tramo II.....	103
Figura 54. Evaluación deflectométrica del tramo I .....	108
Figura 55. Evaluación deflectométrica del tramo II .....	109
Figura 56. Deflectograma: av. Manuel Camilo de la Torre – tramo I .....	110
Figura 57. Deflectograma: av. Manuel Camilo de la Torre – tramo II.....	111
Figura 58. Análisis de los resultados de la deflectometría del tramo I .....	112
Figura 59. Análisis de los resultados de la deflectometría del tramo II .....	113
Figura 60. Curva de región o intervalo de rechazo y aceptación del tramo I .....	116
Figura 61. Curva de región o intervalo de rechazo y aceptación del tramo II ....	117
Figura 62. Curva de región de rechazo y aceptación del tramo I (PCI).....	119
Figura 63. Curva de región de rechazo y aceptación del tramo II (PCI) .....	120
Figura 64. Gráfico de la distribución normal del PCI.....	121

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Contenido de ecuaciones</b>	<b>Pág.</b>
Ecuación 1. Tránsito medio diario semanal .....	31
Ecuación 2. Tránsito medio diario anual .....	32
Ecuación 3. Tránsito medio diario anual .....	32
Ecuación 4. Estimación de la desviación estándar poblacional .....	32
Ecuación 5. Estimación de la desviación estándar muestral .....	32
Ecuación 6. Variable independiente (tiempo).....	33
Ecuación 7. Intercepto.....	33
Ecuación 8. Coeficiente parcial de regresión.....	33
Ecuación 9. Factor de crecimiento .....	35
Ecuación 10. Determinación del número de ejes equivalentes .....	36
Ecuación 11. Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar .....	40
Ecuación 12. Intervalo de muestreo .....	40
Ecuación 13. Número máximo admisible de valores deducidos.....	43
Ecuación 14. Índice de condición de pavimento (PCI).....	45
Ecuación 15. PCI de la sección de pavimento .....	45
Ecuación 16. Deflexión a la distancia R (viga un solo brazo) .....	64
Ecuación 17. Deflexión a la distancia R (viga de dos brazos).....	64
Ecuación 18. Deflexión corregida por temperatura .....	65
Ecuación 19. Radio de curvatura .....	66
Ecuación 20. Deflexión media .....	68
Ecuación 21. Desviación estándar para $n \leq 30$ .....	68
Ecuación 22. Desviación estándar para $n \geq 30$ .....	68

Ecuación 23. Coeficiente de variación.....	68
Ecuación 24. Deflexión característica.....	69
Ecuación 25. Deflexión admisible .....	69

## ÍNDICE DE APÉNDICES

<b>Contenido de apéndice</b>	<b>Pág.</b>
Apéndice A. Hojas de registro del tráfico vehicular .....	136
Apéndice B. Hojas de registro de la evaluación PCI .....	143
Apéndice C. Panel fotográfico .....	207
Apéndice D. Autorización de uso de vía .....	211
Apéndice E. Certificados de calidad .....	212
Apéndice F. Planos .....	226

## RESUMEN

La investigación realizada está basada en una serie de ensayos y estudios al pavimento flexible, esto para lograr nuestro objetivo, el diagnóstico del estado de la vía arterial con mayor circulación de la ciudad de Moquegua, en este caso, la avenida Manuel Camilo de la Torre, la cual se dividió en dos tramos, cada uno con una longitud de 1125 metros. En este trabajo de investigación se desarrolló la evaluación estructural mediante la medición de la deflexión elástica utilizando la viga Benkelman, la evaluación superficial con la aplicación del método índice de condición del pavimento (PCI), categorizando las fallas halladas, y por medio de estos ensayos demostrar que tipo es más frecuente. Además, esta investigación también incluye el estudio de tráfico vial, para completar la evaluación, y de esta manera obtener el ESAL, del estado actual de la vía.

Finalmente, como resultado de la evaluación estructural se determinó que el diagnóstico del pavimento respecto a los tramos I y II tiene una condición buena. Así también para la evaluación superficial el diagnóstico es similar, pues posee una clasificación buena del tramo I y II, siendo la falla más frecuente, el agrietamiento longitudinal y transversal, el desprendimiento de agregados, teniendo en cuenta con estos estudios, el mantenimiento rutinario de la vía es necesario para una mejor transitabilidad.

*Palabras clave: PCI, viga Benkelman, ESAL.*

## ABSTRACT

The research carried out is based on a series of tests and studies on the flexible pavement, this to achieve our objective, the diagnosis of the state of the arterial route with greater circulation of the city of Moquegua, in this case, Manuel Camilo de la Torre Avenue, which was divided into two sections, each with a length of 1125 meters. Therefore, in this research work the structural evaluation was developed by measuring the elastic deflection using the Benkelman beam, the superficial evaluation with the application of the pavement condition index (PCI), categorizing the failures found, and by means of these tests to demonstrate which type is more frequent. In addition, this investigation also includes the study of road traffic, to complete the evaluation, and thus obtain the ESAL, of the current state of the road.

Finally, as a result of the structural evaluation, it was determined that the diagnosis of the pavement with respect to sections I and II is in good condition. On the other hand, for the superficial evaluation the diagnosis is similar, since it has a good classification of section I and II, the most frequent failure being longitudinal and transverse cracking, the detachment of aggregates, taking into account with these studies, the routine road maintenance is necessary for better transitability.

*Keywords: PCI, beam Benkelman, ESAL.*

## INTRODUCCIÓN

El pavimento tiene como propósito facilitar la movilización de personas y bienes mediante el uso de tránsito vehicular, esta estructura vial deberá de tener un diseño y construcción efectuada con un buen nivel de servicio, es decir que considere las siguientes características como: resistencia estructural, deformabilidad, durabilidad, requerimiento de conservación, costo y comodidad. Sin embargo, con el pasar del tiempo, estos pavimentos, en este caso de tipo flexibles, sufren deterioros, presentando fallas como fisuras, baches, entre otros, debido a diferentes factores como por ejemplo el aumento de tráfico (en peso y número de vehículos), el soporte de la sub-rasante, las propiedades de los materiales en la estructura del pavimento, el medio ambiente, etc., afectando el periodo de vida útil, y empeorando el estado de la vía.

Es por ello que la solución necesaria, sería la aplicación y ejecución de técnicas de mantenimiento y rehabilitación adecuada, analizando con anticipación los daños presentados en los pavimentos, y poder reducir el impacto de las fallas para que las reparaciones sean de menor intensidad sin necesidad de la reconstrucción, y así tener un costo y tiempo de ejecución menor. No obstante, estas técnicas de mantenimiento son realizadas tardíamente, sin efectuar algún diagnóstico del estado actual, ocasionando mayores y graves daños en la estructura del pavimento.

Así pues, las fichas de mantenimiento solo son llevadas a cabo cuando el pavimento tiene un daño mayor, siendo esta una manera equivocada de recuperar la resistencia ocasionando molestias, accidentes, y por este motivo, se plantea dos

tipos de evaluaciones para diagnosticar el pavimento y tomarlo como ejemplo para otras vías sin que lleguen a un estado grave y a la vez calificarlo como óptimo o defectuoso.

Existen diferentes tipos de métodos para realizar un análisis superficial y estructural de pavimentos, que ayudarán a determinar las intervenciones más adecuadas; la metodología del PCI (*Pavement Condition Index*) es uno de ellos, que se basa en una exploración visual para establecer el estado actual del pavimento, tomando en consideración la clase, severidad, y cantidad de daño presentado, para posteriormente calificarlo según el índice calculado, el cual varía desde (0) para una condición fallada e intransitable hasta (100) para un excelente y perfecto condición del pavimento.

También se empleará la viga Benkelman, ensayo utilizado para calcular la deflexión producida en la estructura de la vía provocada por acción de las cargas vehiculares, complementando la evaluación de la vía que será estudiada.

En tal sentido, esta investigación, se propone realizar el diagnóstico por medio de evaluaciones al estado del pavimento flexible aplicando el método PCI y el uso de la viga Benkelman en la vía arterial: avenida Manuel Camilo de la Torre, de la ciudad de Moquegua, con los objetivos de determinar las deflexiones elásticas para comprender el comportamiento estructural del pavimento que será estudiado, categorizar los distintos tipos de fallas que se encontrarán mediante la evaluación del PCI, y demostrar cuales son las fallas más frecuentes en dicha vía; para determinar sí, el pavimento flexible de la vía arterial se encuentra en un nivel óptimo o proponer una mejor alternativa de solución.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Descripción de la realidad del problema**

El Perú es uno de los países sudamericanos en estado de desarrollo, cuyo medio de comunicación terrestre son las carreteras o vías, las cuales pueden ser Nacionales, Departamentales y Vecinales, en su mayoría la constituyen los pavimentos flexibles, sin embargo algunas de ellas presentan un mal estado e irregularidades superficiales, teniendo como consecuencia el impacto en la seguridad de las personas, deterioro de vehículos, afectación de la velocidad de circulación, variación de esfuerzos ante las distintas cargas de tránsito y el surgimiento de la deformación plástica en el pavimento, generando un alto costo en el mantenimiento y rehabilitación.

En el sur del Perú, específicamente en la ciudad de Moquegua presenta un problema constante siendo este, el deterioro de los pavimentos debido a diferentes factores como, la antigüedad de estos, sobrepasando el periodo útil para la que fueron diseñados, además la provincia de Moquegua presenta una demografía que ha ido en constante crecimiento, lo que conlleva a un incremento de flujo vehicular; asimismo los cambios climáticos como variaciones térmicas, humedad, lluvia, causan modificaciones en los materiales, sufriendo una pérdida de calidad, siendo

este último también el resultado de los trabajos ejecutados de la renovación de redes de agua y desagüe, efectuados en la ciudad de Moquegua, además debido a las actividades desarrolladas por la industria minera derivó un aumento de flujo vehicular, pudiendo afectar a la capacidad de soporte que posee el pavimento, esto ocasionado por las cargas de tránsito.

Durante el tiempo de servicio de la estructura vial, presentando los problemas antes mencionados se originan deterioros en el pavimento, las cuales si no son tratados a tiempo pueden causar una disminución de la condición de servicio, por el daño ocasionado en el prisma estructural ocasionando un mayor costo de inversión en cuanto a mantenimiento, rehabilitación y hasta en algunos casos la reconstrucción, es por ello que es importante mantener en condiciones aceptables las propiedades del pavimento durante su periodo de servicio.

## **1.2. Definición del problema**

Generalmente se ha observado el diagnóstico y evaluación realizada a tipos de carreteras que conectan departamentos, siendo esto muy útil para la conservación de dichas vías, sin embargo en vías urbanas ubicadas dentro del mismo departamento no sucede lo mismo, ocasionando un problema que aqueja diario a todos los ciudadanos en el distrito de Moquegua, el mal estado que presentan las vías, llegando incluso a ser intransitables, esto debido al aumento de población y por ende al aumento de vehículos de carga ligera y pesada, por los cambios climatológicos ocurridos durante los últimos años, por las alteraciones que ha sufrido debido a la ejecución de proyectos que dañan al pavimento y por el tiempo de vida útil que han sido sobrepasados, estos factores han afectado

considerablemente el estado de los pavimentos en la ciudad de Moquegua, presentando fallas graves y ocasionando costos altos para su rehabilitación.

Sin embargo, a pesar de presentar estas causas mencionadas que genera la degradación del pavimento, no se ha realizado un diagnóstico que permita evaluar la condición actual de las vías existentes, y más aún de aquellas vías arteriales, como la avenida Manuel Camilo de la Torre, cuya capacidad vehicular es mayor por ser una conexión entre vías colectoras y locales, además de poseer un flujo vehicular alta en toda la ciudad, siendo este un factor muy importante para recibir un mantenimiento adecuado teniendo conocimiento acerca de su estado actual a nivel superficial y estructural. De esta manera se podrá tener soluciones adecuadas y brindar una mejor calidad en seguridad y comodidad para los usuarios.

### **1.2.1. Problema general**

¿Cómo realizar el diagnóstico del pavimento flexible en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua, 2019?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo realizar la evaluación estructural de los pavimentos flexibles en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua en el año 2019?
- ¿Cómo realizar la evaluación superficial de los pavimentos flexibles en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua, 2019?
- ¿Qué tipo de fallas son más frecuentes del pavimento flexible en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua, 2019?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo general**

El objetivo general de la presente investigación es la evaluación estructural y superficial de los pavimentos flexibles en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua, 2019.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar la evaluación estructural (deflexiones) mediante el ensayo de la viga Benkelman originadas en los pavimentos flexibles de las vías arteriales de la ciudad de Moquegua en el año 2019.
- Determinar la evaluación superficial mediante la categorización de los tipos de fallas localizadas en los pavimentos flexibles de las vías arteriales de la ciudad de Moquegua utilizando el método del índice de condición de pavimento (PCI).
- Demostrar las fallas más frecuentes en el pavimento flexible de las vías arteriales de la ciudad de Moquegua, 2019.

### **1.4. Justificación**

Con esta investigación se pretende diagnosticar el pavimento flexible en su estado actual mediante la evaluación superficial y estructural por medio del método del PCI y el ensayo de deflexión utilizando la viga Benkelman, tomando como muestra de las vías arteriales, la Av. Manuel Camilo de la Torre, de la ciudad de Moquegua, debido a que el lugar mencionado anteriormente cuenta con un alto flujo vehicular, además que no posee con información histórica, por lo que los estudios realizados servirán para verificar las condiciones actuales de la vía y de esta manera proponer soluciones para garantizar su conservación y que esta pueda otorgar un buen servicio.

El estudio de tráfico será de gran importancia, pues nos ayudará con la obtención de datos que utilizaremos para realizar una evaluación del estado presente de la vía y mediante este estudio se precisará la composición real del tráfico existente, asimismo con ello se podrá obtener una tasa de crecimiento que nos brindará una cifra de un futuro proyectado.

Además mediante la determinación de las deflexiones del pavimento y el cálculo del PCI para establecer el rango de calificación del pavimento, posee una mayor importancia al considerar en estudio la situación actual de la ciudad de Moquegua, sabiendo que antes no se realizó ningún tipo de evaluación a este tipo de vías y por ello algunas avenidas presentan deterioros mayores, sin embargo al aplicar estos sistemas se podrá contar con un pavimento de calidad superior, por otra parte disminuirá los gastos de operación vehicular, el confort de los usuarios será mayor, y el pavimento no sufrirá alteraciones o daños por realizar estos tipos de métodos, ya que son no destructivos.

Es por ello la necesidad de diagnosticar el pavimento flexible mediante evaluaciones, en este caso la avenida Manuel Camilo de la Torre, ubicado entre la avenida Balta y la vía Interoceánica Sur, puesto que es una de las vías con mayor circulación de vehículos de carga ligera y pesada, considerando 4 carriles divididos por un separador, 2 sentido que van desde el este hacia el oeste, designado como tramo I y las dos restantes que van desde el oeste hacia el este correspondiente al tramo II para el estudio (figura 1). Además que esta vía es la conexión entre el centro poblado San Francisco, centro poblado San Antonio y el cercado de Moquegua e incluye al terminal terrestre de la ciudad de Moquegua, teniendo en cuenta que este pavimento presenta un periodo de utilidad mayor a la de 20 años, y

según los usuarios presentan fallas, siendo este la justificación en la necesidad de identificar estas fallas como parte de la investigación, teniendo en cuenta la designación ASTM D-6433, el cual contiene el procedimiento para describir dichas fallas características, indicándose también como establecer los distintos niveles de severidad en relación a ellos, además de evaluar la condición estructural y tener información acerca del sistema pavimento-sub rasante debido a la acción de una carga estática obtenidos por la viga Benkelman, teniendo en cuenta el manual de carreteras: ensayo de la deflexión de un pavimento flexible empleando la viga Benkelman (MTC E 1002).



Figura 1. Ubicación de la Av. Manuel C. de la Torre

Fuente: Elaboración propia

## 1.5. Alcances y limitaciones

### 1.5.1. Alcances

Esta investigación, propone aplicar las evaluaciones mencionadas en la muestra seleccionada de pavimento, desarrollando un estudio de tráfico, estudio superficial aplicando el método PCI, tomando como referencia a lo establecido en la norma

ASTM D 6433 “*Standart Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*”, y ejecutando el ensayo de la viga Benkelman para una evaluación estructural, según lo establecido en el manual de carreteras: ensayo de materiales del ministerio de transportes y comunicaciones (MTC E 1002), el cual está basado en la norma ASTM D 4695 “*Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements*”, permitiendo conseguir un índice íntegro de la condición del pavimento, evaluando el debilitamiento que la estructura sufre durante el paso vehicular y de su estado operativo de la superficie, siendo métodos útiles para evaluaciones posteriores de las principales avenidas arteriales de la ciudad de Moquegua.

### **1.5.2. Limitaciones**

Una de las restricciones existentes son la carencia de datos acerca de expedientes técnicos sobre el diseño, construcción, mantenimiento o rehabilitación de la avenida que se estudiará, puesto que, en la Municipalidad Provincial Mariscal Nieto, oficina de archivos, solo se tienen expedientes desde el año 2003 hacia adelante, no encontrándose dichos expedientes.

Otra limitación sería la falta de evaluación de las vías arteriales principales en su totalidad de la ciudad de Moquegua, para obtener la información del estado actual de estas.

### **1.6. Variables**

En esta investigación se establece las variables independiente y dependiente; detallándose a continuación:

## **1.6.1. Operacionalización de variables**

### **1.6.1.1.Variable Independiente (x)**

Vías arteriales (Véase en Tabla 1).

### **1.6.1.2.Variable Dependiente (y)**

Diagnóstico de pavimentos flexibles (Véase en Tabla 1).

**Tabla 1***Operacionalización de Variables*

<b>Variables</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Escala de Medición</b>
Vías arteriales	Vías cuyo tránsito del paso de vehículos se presenta en una fluidez alta o media. (ICG, 2005).	-Características de la vía y el flujo vehicular. -Tipos de vehículos.	- Tráfico (Cantidad de veh/día).	Intervalo
Diagnóstico de pavimentos flexibles	Recoger y analizar los datos obtenidos por procedimientos necesarios para evaluar las características que muestra el pavimento flexible.	Diagnóstico Superficial del pavimento: Método PCI.	- Condición del pavimento: tipo, cantidad, severidad. - Cálculo de valores deducidos. - Cálculo del número máximo admisible de valores deducidos. - Cálculo del Máximo valor deducido. - Cálculo del PCI.	Ordinal-Intervalo
		Diagnóstico Estructural del pavimento: Viga Benkelman.	- Deflexión característica - Deflexión admisible - Condición del pavimento	Intervalo

Fuente: Elaboración propia.

## **1.6.2. Hipótesis de la investigación**

### **1.6.2.1.Hipótesis general**

H\_1: La evaluación estructural y superficial permite diagnosticar el pavimento flexible en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua, 2019.

### **1.6.2.2.Hipótesis derivadas**

H\_1: Las deflexiones obtenidas con la viga Benkelman evalúa estructuralmente los pavimentos flexibles en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua en el año 2019.

H\_2: El índice de condición de pavimento (PCI) evalúa superficialmente los pavimentos flexibles en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua, 2019.

H\_3: Las fallas superficiales son las más frecuentes en el pavimento flexible en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua, 2019.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

##### **2.1.1. Antecedentes nacionales**

Conza (2016) presenta la tesis “Evaluación de las fallas de la carpeta asfáltica mediante el método PCI en la Av. Circunvalación Oeste de Juliaca”. Puno, Perú. El propósito de esta investigación es determinar las fallas encontradas en la superficie de rodadura del pavimento, estableciendo la severidad y la recurrencia de un tipo de falla específico, mediante el método PCI, y conocer el estado de dicho pavimento para luego decidir si se requiere acciones de mantenimiento. Además, realizó estudios adicionales como el ensayo de lavado de asfalto, ensayo Marshall y deflectometría. Para el desarrollo del método PCI, seccionó su muestra en tres tramos según el flujo vehicular, teniendo como resultado una condición del pavimento “regular” con tendencia a malo, siendo los baches el tipo de falla más recurrente con un nivel de severidad alto. Para el estudio del lavado asfáltico, se da como conclusión que el pavimento en estudio tiene una pérdida de agregados finos; y en cuanto al ensayo Marshall cumplió con los rangos establecidos, a excepción

del porcentaje de vacíos y el volumen de mezcla asfáltica, sin embargo, por ser un pavimento con una antigüedad de 6 años, debido al debilitamiento que sufre, esos datos no son valores representativos. Por último, para la evaluación estructural realizó la medición de deflexiones del pavimento, utilizando la viga Benkelman, siendo la deflexión obtenida mayor a la admisible, requiriendo un refuerzo estructural.

Chávarry (2018), realizó la investigación “Determinación del espesor de la sobre capa en función de las deflexiones determinadas con la viga Benkelman en el pavimento flexible de la carretera a Jesús en la ciudad de Cajamarca”. Cajamarca, Perú. En el cual, mediante una evaluación estructural estudia el tramo que comprende 4550 m de longitud, muestra seleccionada por presentar fisuras, lo que puede ser perjudicial posteriormente para la red vial nacional al que pertenece. Es por ello que el objetivo que planteó fue proponer una rehabilitación en función a la sobre capa, cuyo espesor será calculado por medio de las deflexiones características de la viga Benkelman, aplicando la metodología del uso de ábacos según el Instituto de Asfalto, para ello siendo necesario el cálculo del tránsito, el cual fue de IMDS igual a 3804 veh/día y un EALS de 20,955,681. Además, con la obtención de deflexiones, obtuvo el valor característico, el cual fue  $92.5 \times 10^{-2}$ , siendo este valor mayor al admisible  $0.48 \times 10^{-2}$ , seguidamente con la utilización del ábaco, logró hallar el espesor de la sobre capa, el cual fue 12.5 mm equivalente a 5cm.

Hiliquín (2016) sustentó la tesis: “Evaluación del estado de conservación del pavimento, utilizando el método PCI, en la Av. Jorge Chávez del distrito Pocollay en el año 2016”. Tacna, Perú. La finalidad de esta tesis es la evaluación de la evaluación de la situación del pavimento de la avenida Jorge Chávez, por

medio del uso de la metodología del índice de condición de pavimentos (PCI) además que comparó los resultados de este con la evaluación de las deflexiones con la ayuda del ensayo de la viga Benkelman.

Dicho tramo cuenta con dos carriles, y para la aplicación del método dividió la avenida en dos secciones según la antigüedad, la sección 1 cuenta con 16 años de servicio y la sección 2 con 36 años de servicio, la primera sección tomó 06 unidades como muestra y 27 unidades de la sección consiguiente, de las cuales hizo una selección de muestras para ser inspeccionadas y 11 muestras fueron escogidas, obteniendo como resultado 34.69 representando a una calificación de “malo”.

Finalmente realizó la medición de deflexiones de la superficie del pavimento utilizando la viga Benkelman, dando como resultado una deflexión in situ mayor a la deflexión admisible, demostrando por ambos el estado dañado en el que se encuentra el pavimento, y por consiguiente es necesario la rehabilitación para mejorar la calidad de servicio, seguridad y comodidad.

Leguía y Pacheco (2016) sustentaron la tesis: “Evaluación superficial del pavimento flexible por el método pavement condition index (PCI) en las vías arteriales: Cincuentenario, Colón y Miguel Grau (Huacho-Huaura-Lima)”. Lima, Perú. El propósito de esta investigación fue conocer la condición actual en la que se encuentran dichas vías urbanas evaluándolas por el método del PCI. En este caso tomó como zona de estudio la Av. Cincuentenario, la cual comprende un tramo de 3800 metros lineales, la cual seccionó cada 50 m, teniendo un total de 76 unidades de muestras, las otras zonas de estudio fueron la avenida Colón y su prolongación, la avenida Miguel Grau, entre ambas su longitud es de 1650 metros lineales, la

primer vía mencionada, se seccionó cada 50 m, teniendo 6 unidades de muestra, mientras que la segunda avenida mencionada, se seccionó en dos tramos, el primero cuenta con un solo carril y solo tomó una unidades de muestra, mientras que en el segundo tramo, cada carril cuenta con 800 m, la cual seccionó cada 50 m, obteniendo 32 unidades de muestra. Entre ambas avenidas, las muestras que se inspeccionó fueron 39 unidades. Como conclusión de dicha evaluación en la Av. Cincuentenario obtuvo un índice de 51.84, clasificando al pavimento como “regular”, en tanto la avenida Colón y avenida Miguel Grau tuvo el resultado de 59.29, presentando un estado del pavimento “bueno”.

### **2.1.2. Antecedentes internacionales**

Guerrero (2017) sustentó la tesis: “Evaluación de la condición superficial del pavimento flexible mediante un análisis comparativo entre la metodología planteada por la normativa ecuatoriana NEVI 2012 y la metodología planteada por la normativa AASHTO”. Loja, Ecuador. Cuyo fin de esta investigación fue analizar la condición actual del pavimento en la vía Loja – Vilcabamba mediante el PCI y VIZIR, ambos métodos basados en la inspección visual. Esta vía consta de 3300 metros lineales, con 1031 unidades de muestras totales, las cuales solo serán evaluadas 16 unidades de muestra. Según la información que obtuvo, el daño más frecuente presentado fue “la piel de cocodrilo”, asimismo el resultado según el método PCI fue de 37.18, calificándolo de pavimento “pobre”. Para la metodología VIZIR, realizó la toma de muestras, las cuales fueron 16, estableciendo un índice de deterioro superficial de 4.41, calificando al pavimento como “regular”. En la comparación de resultados concluyó que el PCI es una metodología más adecuada en la evaluación, pues obtiene información de daños funcionales y estructurales,

mientas que por el método VIZIR solo cuantifica los daños estructurales, sin embargo, recomienda el VIZIR para tramos largos, pues su aplicación tiene mayor facilidad.

Nuñez (2019), en su trabajo de investigación experimental presentado “Implementación del proceso de conservación de la estructura de la capa de rodadura de la vía Manzana de Oro – Montalvo en el tramo km 0+000 al km 2+400 de la provincia de Tungurahua”. Ambato, Ecuador. El objetivo de esta investigación fue la de proponer una gestión que asegure la conservación de la vía, basándose en las características que presenta dicha estructura, por métodos destructivos y no destructivos como los ensayos de laboratorio a muestras de calicatas, evaluación de los elementos físicos según el PCI y el ensayo de deflectometría con la viga Benkelman, esto para proponer un reforzamiento estructural. Para el uso de la metodología PCI se seccionó la vía en 80 muestras las cuales 13 fueron evaluadas, dando una calificación de “malo”; en cuanto a la evaluación deflectometría se realizó a una distancia de 0.90 m del borde del pavimento, dichas lecturas iniciales fueron corregidas por temperatura y por estacionalidad, dando como resultado un estado bueno del pavimento, pues la deflexión crítica fue menor a la deflexión admisible, sin embargo, debido a que el resultado fue menor que 100, presenta una deficiencia en el comportamiento estructural, por lo tanto al realizar la comparación entre ambas metodologías, recomendó un reforzamiento estructural.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Pavimentos**

#### **2.2.1.1. Concepto de pavimento**

Para Montejo (2001, p. 1) señala como concepto de pavimento a un conjunto de capas puestas en forma horizontal, que anteriormente fueron diseñadas como parte de la estructura, para posteriormente ser construidas con materiales seleccionados adecuados; sin embargo, estos tienen que estar debidamente compactados. Estas capas tendrán como soporte a la sub rasante, que es el cimiento de dicho conjunto, y que se obtendrá por el movimiento de tierra; para que pueda esta resistir los esfuerzos producidos por las cargas del paso vehicular durante el periodo de operatividad para el cual fue diseñado.

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones (2014, p. 88) el pavimento es una estructura formada por distintas capas, que se encuentran apoyadas sobre el suelo de fundación y son capaces de soportar distintas cargas ocasionadas durante un tiempo, para ello fueron diseñadas proveyendo condiciones adecuadas a los usuarios, establecidas dentro de un rango de serviciabilidad, es decir, una evaluación que varía desde una carretera imposible hasta una carretera perfecta.

El manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos (2013) conceptualiza el pavimento al igual que la definición anterior, como una estructura adecuada que presenta distintas capas: base, sub base y capa de rodadura, que son construidas sobre la superficie de la sub rasante, con la finalidad de tener la capacidad de soportar y distribuir las cargas al terreno ocasionados por la

transitabilidad del transporte, teniendo en cuenta la mejora de seguridad y comodidad del usuario.

En el caso de la Norma AASHTO (1993) cuando se refiere a un pavimento, da dos puntos de vista: el primero es el pavimento en relación al comportamiento funcional, es decir, la calidad o confort que brinda para una buena y segura transitabilidad, siempre basado en el índice de serviciabilidad; el segundo punto de vista se basa en el comportamiento estructural, esto es la condición física del pavimento. Según la guía AASHTO da el concepto de pavimento dividido en su clasificación: el pavimento flexible consiste en un suelo de fundación llamado sub rasante, esta se encuentra por debajo de las capas de sub base, base y superficie de rodadura, mientras que el pavimento rígido consiste en la capa sub rasante por debajo de la sub base y la losa.



Figura 2. Sección típica de estructuras de pavimento flexible o rígido

Fuente: AASHTO, 1993.

### **2.2.1.2. Características de un pavimento**

Para que un pavimento pueda cumplir con éxito sus funciones, deberá presentar las siguientes características (Montejo, 2002):

- Resistir las cargas transmitidas a las capas generadas por el tránsito vehicular y peatonal.
- Debe soportar la exposición de la intemperie como es el agua, aire, variación de temperatura, entre otros.
- La superficie o capa de rodadura del pavimento debe ser apta para el tránsito vehicular, capaz de adaptarse a cualquier velocidad prevista y ser resistente a los desgastes y desintegraciones producidas por el paso de los vehículos.
- Presentar una regularidad superficial, es decir, un espacio de igual similitud y continuidad tanto en su longitud como en su ancho, con la finalidad de mejorar la comodidad de los usuarios de tránsito.
- El pavimento es diseñado para un período determinado y durante este tiempo debe ser capaz de brindar un buen servicio.
- En el caso de lluvias o alguna imperfección presentada a las tuberías de agua y desagüe, el pavimento debe contar con estructuras de drenaje para evitar daños internos que malogren el mismo.
- El ruido producido entre el roce de las llantas de un vehículo y el pavimento debe ser moderado para evitar que no afecte al usuario ni se malogre la capa de rodadura.
- En lo posible debe ser económico, pero teniendo en cuenta una selección y tratamiento adecuado de los materiales que lo componen.

- El color del pavimento no tiene que emitir reflejos, sino que debe asegurar un buen tránsito vehicular.

### 2.2.1.3. Clasificación de un pavimento

Montejo (2002) clasifica los pavimentos en: pavimentos flexibles, pavimentos semi-rígidos, pavimento rígido y pavimento articulado, como se describe a continuación:

**Pavimentos flexibles.** Estructura formada por la capa de rodadura (8) mostrado en la figura 3, seguido de base asfáltica (7), que están apoyadas sobre la base (6), la sub base (5), la sub rasante mejorada (4) y el terraplén (3), el cual fue construido con material adecuado sobre el terreno natural (1); sin embargo, no es necesario que este tipo de pavimentos contengan dichas capas mencionadas, puesto que algunas pueden ser obviadas dependiendo de la necesidad de la obra.

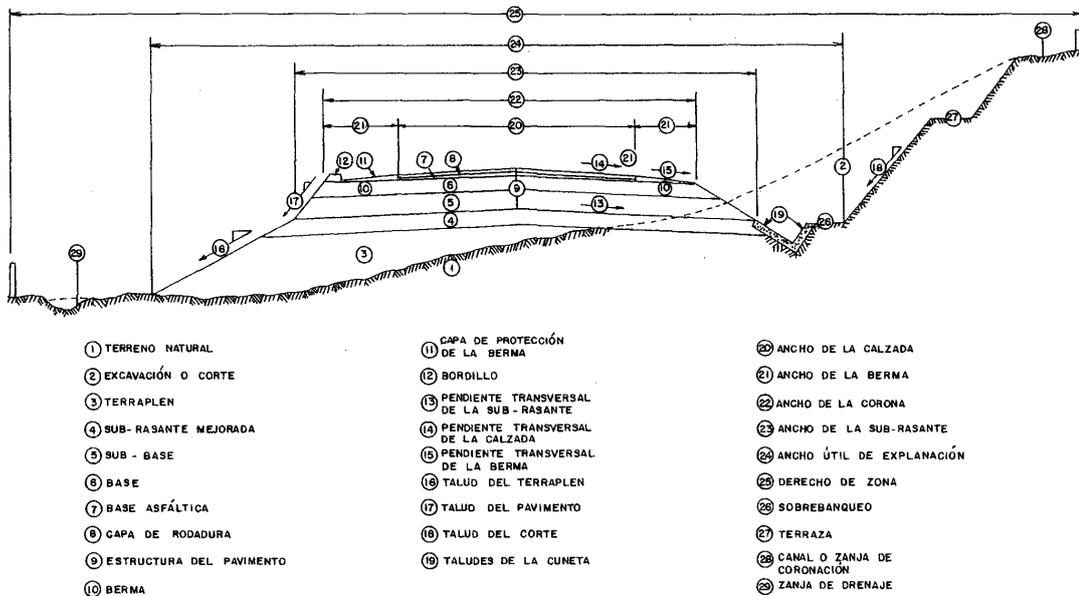


Figura 3. Sección típica de pavimento flexible

Fuente: Montejo, 2002.

***Pavimentos semi - rígidos.*** Este pavimento tiene una estructura igual al pavimento flexible; sin embargo, se diferencia en una de sus capas, que debe estar rigidizada artificialmente, es decir, a esta capa debe añadirse un aditivo, que puede ser: asfalto, emulsión, cemento, cal u otros químicos; para que mediante las propiedades de este aditivo, se logre mejorar o transformar las propiedades mecánicas que poseen los materiales del sitio y que en muchos casos no cumplen con los parámetros admisibles exigidos para la colocación de las demás capas.

***Pavimentos rígidos.*** En este caso a diferencia de un tipo flexible, esta clase de pavimento posee menos capas, pues lo conforma un elemento de gran importancia, el cual es una losa de concreto hidráulico (6), como se observa en la figura 4, que contiene elementos comunes como son: agua, cemento, agregados y en algunos casos aditivos, se utilizan estos elementos en conjunto para aportar una mayor rigidez, así como un elevado coeficiente de elasticidad que permitirá, que los esfuerzos ocasionados por los vehículos se distribuyan en una zona más amplia del pavimento, siendo capaz de tener una mejor resistencia aun en zonas que sean débiles en la sub rasante.

Esta capa rígida descansará sobre la sub rasante o sobre cualquier otra capa que, tal vez, pueda estar incluida, pero deberá estar compuesto por material seleccionado y servirá de sub base de dicho pavimento; aunque estas capas sirvan de apoyo, tienen poco efecto en la capacidad de resistencia, debido a que la estructura dependerá de la losa.

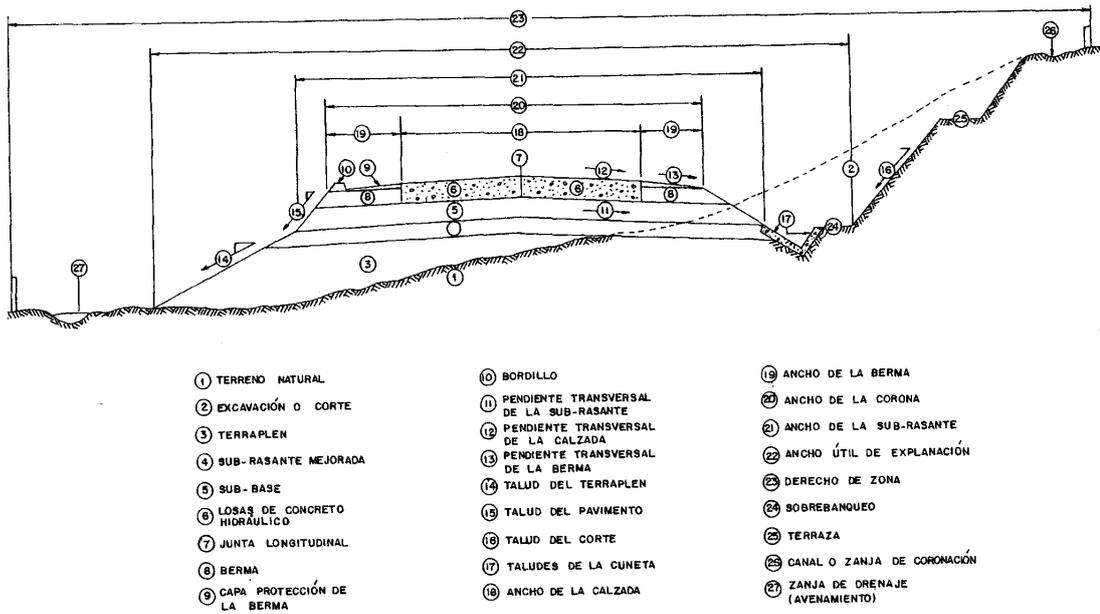


Figura 4. Sección típica de pavimento rígido

Fuente: Montejo, 2002.

**Pavimentos articulados.** Estos pavimentos como su nombre lo dicen “articulados”, es la unión de varias piezas, en este caso, son bloques de concreto a los que se les denomina “adoquines” y tendrán la función de actuar como capa de rodadura, que es la superficie del tránsito vehicular, estos bloques serán de un espesor uniforme e iguales entre sí, para garantizar una adecuada circulación.

Sin embargo, este pavimento, además de estar conformado por los adoquines, su estructura tendrá la base granular, la cual será el apoyo de los bloques o en algunos casos solo puede tener la sub rasante, según la calidad con la que sea construida y del tipo de vía pues se tendrá en cuenta la magnitud de las cargas que circularán. Cualquiera sea la capa de apoyo de los adoquines, estos tendrán entre si una capa delgada de arena.

Montejo (s.f.) en su libro “Ingeniería de pavimentos para carreteras II edición” considera cuatro tipos de pavimentos; en cambio, el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013) en el “Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos” reconoce solo tres clases de pavimentos:

***Pavimentos Flexibles.*** Está constituida por las capas granulares que forman parte de la estructura: sub base, base y capa de rodadura, esta última pueden ser de mortero asfáltico, micropavimentos, bicapas, mezclas asfálticas en frío, mezclas asfálticas en caliente, las que estarán compuestas por el material bituminoso, es decir, de aglomerantes como el asfalto, agregados y en algunos casos de aditivos.

***Pavimentos Semirrígidos.*** Se entiende este tipo de estructura, aquella que está conformada principalmente por la capa de mezcla asfáltica que, en este caso, es de un espesor grueso compuesto totalmente de material bituminoso, es decir, ser ejecutados en caliente sobre una capa de base tratada con asfalto.

Además, el pavimento rígido es aquel cuya base está tratada con cemento o cal capaz de poder aportar mayores propiedades de soporte.

A comparación de la anterior clasificación, en esta se cuenta con solo tres tipos, siendo los pavimentos adoquinados de concreto parte de los pavimentos semirrígidos.

***Pavimentos Rígidos.*** Al igual que el concepto de Montejó (2002) en el manual de carreteras, expresa que el pavimento rígido tiene que contener una losa de concreto hidráulico, que también será la capa de rodadura. Esta capa estará apoyada sobre la capa de sub base que puede ser del mismo material de la base granular o se podrá

usar cemento, cal o asfalto para estabilizarla. Como la estructura estará expuesta a la intemperie y a esfuerzos causados en la superficie, la losa tiende a sufrir cambios como dilataciones, entre otros, por ello, que el manual de carreteras tiene en cuenta estas tres categorías:

- Pavimento de concreto simple con juntas.
- Pavimento de concreto con juntas y refuerzo de acero en forma de fibras o mallas.
- Pavimento de concreto con refuerzo continuo.

#### **2.2.1.4. Funciones de un pavimento flexible (Montejo, 2002)**

Como las capas del pavimento son parte de la estructura, estas deberán estar construida con materiales adecuados y diseñados para un periodo de tiempo, también deberá cumplir convenientemente con las siguientes funciones:

- Es económica, porque para este tipo de pavimento es adecuado tener las capas de mayor calidad en la parte superior, pues es donde reciben el esfuerzo, en cambio, las capas de la parte inferior son menor calidad, pero siendo un poco mayor el espesor, resultando más económica.
- La sub base es una capa intermedia y tiene la función de evitar la penetración del material de la capa base hacia la sub rasante, e impedir la contaminación de los finos de la subrasante en la base de la estructura, eludiendo una disminución de calidad.
- Otra función y ventaja de la sub base es que, gracias a esa capa, los cambios que puede sufrir la sub rasante, son de expansión a causa de la presencia del

agua, o algún cambio de temperatura (heladas), la sub base puede soportar estas alteraciones logrando que no se presente en las capas superiores.

- La resistencia es una de las principales funciones porque mediante esto deberá soportar los esfuerzos originados por las cargas vehiculares.
- Como la sub base es una capa intermedia, su función por medio de ella es de no presentar una ascensión capilar debido a la presencia de agua, pudiendo drenarla.
- Otra función importante es la de otorgar al usuario una superficie de rodadura uniforme y resistente.
- La carpeta asfáltica, en cambio, tiene la función de obstaculizar el acceso del agua hacia las capas inferiores.

#### **2.2.1.5. Fallas en pavimentos flexibles (Manual de Carreteras, 2013)**

Diferentes factores originan irregularidades y alteraciones que son visibles en la capa de rodadura, siendo estos perjudiciales para el usuario, generando inseguridad. Para esto se deberá corregir los defectos presentados, renovando el pavimento superficial y estructuralmente por medio de refuerzos.

Estos defectos, que también llamamos fallas, se pueden originar por distintas causas, las cuales pueden ser:

- Debido a cargas mayores a las previstas, según el diseño que se realizó, ya sea una carga mayor o un mayor paso de cargas, es decir, un alto grado de transitabilidad.
- Un mal proceso constructivo ocasiona una baja calidad e inadecuado rendimiento del pavimento, así como un rápido desgaste, esto debido a que no

se respetaron los espesores indicados de las capas, además, de la inadecuada mezcla asfáltica, y una mala compactación de las capas.

- En el momento de realizar el diseño, la deficiencia del personal encargado, al no realizar un buen trabajo.
- Los factores climáticos, como los que se pueden encontrar en el campo: la “napa freática”, lluvias prolongadas, variación de temperatura como heladas y olas de calor.
- Debido al personal capacitado o falta de equipos es que se origina una deficiente o falta conservación de la vía.

Asimismo, las causas de las fallas son de mayor importancia, se deberá realiza una evaluación, donde se tendrá en cuenta: la evolución de la falla en todo el tramo, el índice de transitabilidad, el clima, así como también, una evaluación estructural, para conducir e identificar la falla analizada:

**a) Fallas superficiales**

Son aquellas que se pueden evaluar por medio de la observación de la capa de rodadura, pudiendo ser originadas por los problemas de la capa asfáltica y no muestran que la estructura del pavimento sea deficiente.

Estas pueden ser corregidas con capas asfálticas delgadas, fresados o capas nivelantes, que regulan la superficie.

**b) Fallas estructurales**

Son aquellas que se encuentran en la estructura del pavimento, lo que provoca la influencia de una o más de sus capas.

Para disminuir el daño provocado por estas fallas, es necesario aplicar refuerzos a la estructura o hacer una reconstrucción, de tal manera que se cumpla con las exigencias requeridas del tránsito.



(a) *Falla superficial*

(b) *Falla estructural*

Figura 5. Tipos de fallas en pavimentos flexibles

Fuente: Elaboración propia

### 2.2.2. Clasificación de vías urbanas

Para las carreteras departamentales existen manuales, especificaciones, entre otros, en cambio para vías que se encuentra dentro de una zona urbana no existe alguna normatividad aplicable. Por ello se desarrolló el manual de diseño geométrico de vías urbanas (2005), en el que realiza una clasificación de las vías según su funcionamiento, característica, tipo de tráfico, etc., como se detalla a continuación:

- **Vías expresas.** Esta vía es la conexión entre el sistema urbano, es decir, vías ubicadas dentro de un poblado y el sistema interurbano, la cual es la que se encuentra fuera del poblado. Dichas vías son caracterizadas por el tránsito rápido y sin interrupciones, además de ser circulado por grandes cantidades de vehículos, en especial, de carga pesada.
- **Vías arteriales.** Permiten un tránsito adecuado, con una buena distribución de los vehículos hacia vías contiguas, como vías colectoras y este a vías locales.

Esta clase de vía se conecta con las expresas, por lo que deberán ser de tránsito fluido, evitándose interrupciones, a excepción de encontrarse con semáforos, que deben permitir el paso de peatones. En estas vías, el tipo de vehículos que circulan son variados, es decir, de todo tipo, incluyendo a los de carga pesada, que son admitidos en menor cantidad.

- **Vías colectoras.** Cuya función es facilitar el desplazamiento de vehículos de manera rápida y sin interrupciones, como también de incluir el servicio hacia propiedades cercanas. En el caso de estas vías colectoras, estas pueden conectarse con vías arteriales, generando un tráfico interrumpido debido a la semaforización; y también pueden conectarse con las vías locales, presentando señalizaciones básicas.
- **Vías locales.** Por medio de estas vías se podrán acceder hacia los predios, por lo que solo transitarán vehículos de carga ligera y en algunos casos semipesados.

Para esta clasificación, la tabla 2 toma en cuenta algunos parámetros en la clasificación de las vías urbanas:

**Tabla 2**

*Parámetros de diseños vinculados a la clasificación de vías urbanas*

<b>ATRIBUTOS Y RESTRICCIONES</b>	<b>VÍAS EXPRESAS</b>	<b>VÍAS ARTERIALES</b>	<b>VÍAS COLECTORAS</b>	<b>VÍAS LOCALES</b>
<b>Velocidad de Diseño</b>	Varía entre 80 a 100 km/hora.	Puede variar entre 50 a 80 km/hora.	Varía entre 40 a 60 km/hora.	Va desde 30 km/hora hasta 40 km/hora.
<b>Características del flujo</b>	Tránsito en mayor porcentaje por vehiculos livianos. Cuyo flujo no es continuo.	Se caracteriza porque debe poseer semáforos para que las interferencias puedan ser menores.	El tránsito en esta vía puede ser por cualquier tipo de vehículo.	Solo se permite los vehículos livianos, ademas de el tránsito de personas que no esta restringido.
<b>Control de Accesos y Relación con otras vías</b>	Conectadas con vías expresas o vías arteriales. Los cruces vehiculares y peatonales se presentan mediante desniveles o un cambio diseñado.	Conectadas con vías expresas y vías colectoras. Los cruces del peatón y de los vehiculos se debera realizar mediante un desnivel o semaforización.	Cuenta con semáforos en la unión con las vías arteriales, y también presenta señalización en los cruces con vías colectoras o locales.	Se integran a las vías colectoras y las mismas vías.
<b>Número de carriles</b>	Bidireccionales: 3 o más carriles/sentido	Unidireccionales : 2 ó 3 carriles. Bidireccionales: 2 o 3 carriles/sentido	Unidireccionales: 2 ó 3 carriles. Bidireccionales: 1 o 2 carriles/sentido	Unidireccionales: 2 carriles. Bidireccionales: 1 carril/sentido
<b>Servicio de transporte público</b>	Si se permite este tipo de servicio, deberá haber un carril de preferencia solo para buses.	Al igual que en las vías expresas, se deberá contar con un carril exclusivo para buses.	El servicio de transporte público se realiza en carriles mixtos.	No permitido.
<b>Estacionamiento, carga y descarga de mercaderías</b>	Solo en caso de emergencias.	Solo en caso de emergencia o será permitido en la parte lateral de la vía.	Se realiza en áreas cercanas, especiales para tal fin.	Estará permitido.

Fuente: Instituto de la construcción y gerencia, 2005.

### 2.2.3. Estudio de Tráfico

El objetivo de realizar este estudio, es que, por medio de un conteo vehicular, se logre cuantificar, además de clasificar por tipo de vehículo y conocer el volumen de tránsito que se desplaza por la vía en estudio. Pues es de importancia determinar el tráfico actual que soporta y seguirá soportando durante su periodo de vida, conociendo las veces que un tipo de vehículo pasa, tomando en cuenta el peso por eje.



*Figura 6.* Tránsito vehicular actual

Fuente: Elaboración propia

Para ello se deberá tomar en cuenta los tipos de vehículos y de ejes:

Clasificación vehicular:

- Automóvil. Vehículo automotor utilizado para el transporte de personas hasta 6 o 9 personas de manera excepcional.
- Camioneta pick-up. Vehículo automotor de cabina simple o doble, encargado de transporte de carga liviana.
- Ómnibus. Vehículo destinado para el transporte de pasajeros y equipaje.
- Camión. Vehículo cuyo fin es el traslado de bienes, y puede portar una carrocería.

- Tráiler. Vehículo que no dispone de motor con dos o más ejes, el cual es llevado por medio de camión.

Clasificación por ejes:

- Eje simple. Consta de un solo eje, que incluye en sus extremos una o dos ruedas sencillas.
- Eje tándem. Consta de dos ejes simples, que incluye en sus extremos dos ruedas dobles.
- Eje tridem. Compuesto de tres ejes simples, que incluye en sus extremos dos ruedas dobles.

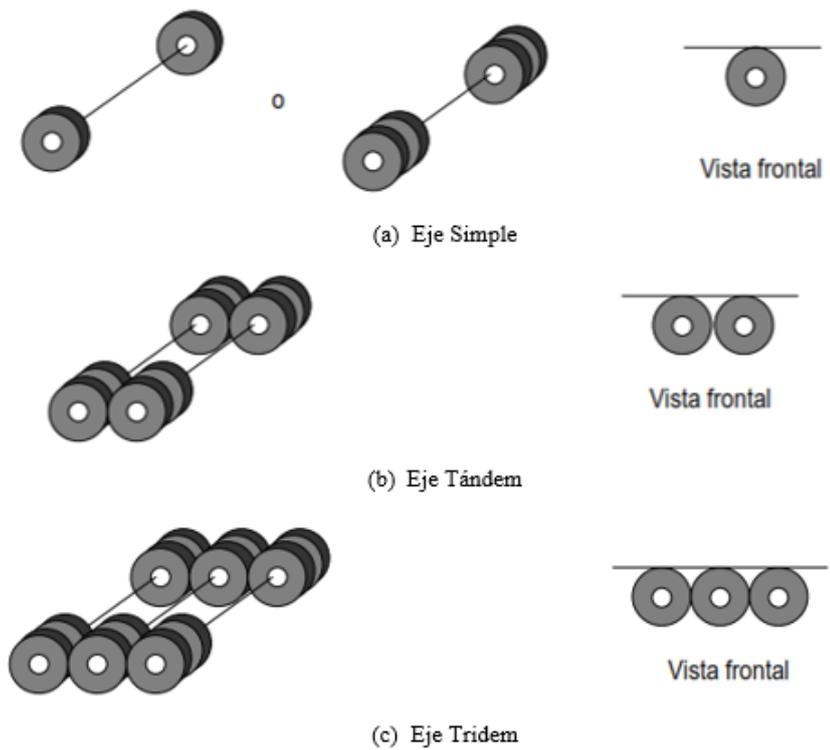


Figura 7. Tipos de ejes

Fuente: Minaya & Ordóñez (2006)

## Volumen de tránsito

Se refiere a la cantidad de vehículos que circulan por un punto específico durante un periodo de tiempo. Esto puede tener las unidades como: veh/día, veh/hora, etc.

TRAFICO VEHICULAR DÍA: DOMINGO 13 - 10 - 2019																
				Resumen de tráfico vehicular												
				Pavimento Flexible												
Hoja de Registro																
Nombre de la Vía		Avenida Manuel Camilo de la Torre				Sentido		Este - Oeste								
Progresiva Inicial (Km)		0+000				Fecha		Noviembre 2019								
Progresiva Final (Km)		1+125				Ejecutor		Zapata Aguilar, Guisela Aylin								
Hora	Transporte Ligeiro			Transporte Urbano			Transporte de Carga									Total
	Autos	Pick Up	Combis	Micros	Buses		Camiones			Semi Traylor			Traylor			
					2E	>= 3E	C2	C3	C4	2S2	2S3	3S1 / 3S2	3S3	>=3T3		
5 @ 6 a.m.	156	4	30	1	1	2	3	0	0	0	0	0	0	0	197	

Figura 8. Formato para evaluar el volumen de tránsito

Fuente: Elaboración propia

## Tránsito medio diario

Para la determinación del tránsito existente es necesario seguir los procedimientos de ingeniería de tránsito, el que consiste en la recolección de información de la cuantificación de vehículos, realizados durante una semana.

## Tránsito medio diario semanal (TMDS)

Para la obtención del volumen de tránsito, la cuantificación de los vehículos será dividido entre los 7 días de conteo y se tendrá en cuenta vehículos livianos y pesados.

$$TMDS = \frac{\Sigma \text{Tránsito durante la semana}}{\text{número de días}} \dots\dots\dots [\text{Ecuación 1}]$$

### Tránsito medio diario anual (TMDA)

Debido a lo complejo que resultaría el conteo de vehículos por un año de una vía en estudio, el TMDA está en función del tránsito medio diario semanal. Por ello tenemos las siguientes ecuaciones:

$$TMDA = TMDS \pm A \dots\dots\dots [Ecuación 2]$$

$$A = k \times \sigma \dots\dots\dots [Ecuación 3]$$

$$\sigma = \frac{s}{\sqrt{n}} \left( \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \right) \dots\dots\dots [Ecuación 4]$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TD_i - TDMS)^2}{n-1}} \dots\dots\dots [Ecuación 5]$$

Donde:

$k$  = Número de desviaciones estándar correspondientes a nivel de confiabilidad deseado.  $k= 1.64$  (90%) o  $k=1.96$  (95%)

$\sigma$  = Estimación de la desviación estándar poblacional

$S$  = Estimación de la desviación estándar muestral

$n$  = Número de días en una semana ( $n=7$ )

$N$  = Número de días al año ( $N=365$ )

## Tasa de crecimiento

Por uno de los métodos de proyección: exponencial, se podrá obtener el crecimiento según datos de años anteriores. Este tipo es apropiado para series que crecen o decrecen a lo largo del tiempo.

$$Y = ab^x \dots\dots\dots [Ecuación 6]$$

$$a = \frac{\Sigma \text{Log}Y - b(\Sigma x)}{n} \dots\dots\dots [Ecuación 7]$$

$$b = \frac{n(\Sigma x \text{Log}Y) - (\Sigma \text{Log}Y)\Sigma x}{n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2} \dots\dots\dots [Ecuación 8]$$

Donde:

$a$  = Intercepto

$b$  = Coeficiente parcial de regresión

$Y$  = Variable independiente (tiempo)

$x$  = Variable dependiente

DEPARTAMENTO	2007 <sup>R</sup>	2008 <sup>R</sup>	2009	2010	2011	2012	2013 <sup>R</sup>	2014	2015	2016	2017	2018
<b>TOTAL</b>	<b>1 534 303</b>	<b>1 640 970</b>	<b>1 732 834</b>	<b>1 849 690</b>	<b>1 979 865</b>	<b>2 137 837</b>	<b>2 287 875</b>	<b>2 423 696</b>	<b>2 544 133</b>	<b>2 661 719</b>	<b>2 786 101</b>	<b>2 894 327</b>
Amazonas	2 168	2 218	2 292	2 390	2 407	2 400	2 351	2 314	2 275	2 273	2 227	2 182
Ancash	20 354	21 001	21 309	22 086	23 322	25 418	27 542	29 573	31 213	33 542	34 923	36 190
Apurímac	3 916	3 934	3 973	3 969	3 966	4 039	4 083	4 139	4 192	4 216	4 177	4 120
Arequipa	84 829	91 674	98 270	106 521	118 985	134 533	149 892	164 302	176 315	187 929	200 560	211 735
Ayacucho	4 153	5 404	5 572	5 716	5 784	5 941	5 968	6 021	6 022	6 041	6 015	5 918
Cajamarca	11 255	12 383	13 563	15 107	17 320	19 673	21 461	22 664	23 740	24 943	26 224	27 674
Cusco	37 592	39 688	42 175	45 090	48 491	53 675	59 459	64 820	69 213	73 997	79 874	84 942
Huancavelica	1 103	1 216	1 291	1 319	1 317	1 323	1 300	1 315	1 286	1 286	1 259	1 235
Huánuco	10 892	11 255	11 382	11 864	12 576	13 476	14 261	14 911	15 648	16 382	16 915	17 367
Ica	23 170	25 498	25 691	26 135	26 419	26 551	26 398	26 439	26 715	27 092	27 423	27 558
Junín	46 091	47 769	49 404	51 094	53 118	56 237	59 019	61 933	64 576	67 049	69 760	72 316
La Libertad	153 251	155 411	156 646	158 672	162 026	167 325	172 968	178 433	183 931	190 073	196 040	202 558
Lambayeque	39 930	41 920	43 689	45 881	49 440	53 902	58 142	61 896	65 160	68 261	71 328	74 092
Lima y Callao	957 368	1 036 850	1 106 444	1 195 353	1 287 454	1 395 576	1 498 037	1 590 755	1 674 145	1 752 919	1 837 347	1 908 672
Loreto	5 154	5 132	5 089	5 089	5 211	5 313	5 443	5 533	5 501	5 501	5 489	5 477
Madre de Dios	870	913	941	986	1 027	1 062	1 123	1 136	1 161	1 223	1 308	1 383
Moquegua	11 418	12 202	12 692	13 348	14 003	14 608	14 944	14 979	14 931	14 931	14 887	14 810
Pasco	6 075	6 807	7 187	7 351	7 292	7 238	7 108	6 956	6 804	6 804	6 660	6 545
Piura	32 314	33 497	34 650	36 367	39 099	42 404	46 029	49 576	52 390	55 060	57 740	60 006
Puno	28 062	29 889	31 645	34 169	37 074	40 543	43 477	45 056	46 200	47 696	49 387	51 041
San Martín	9 969	9 917	9 977	10 151	10 418	10 926	11 271	11 648	12 047	12 358	12 669	13 052
Tacna	33 944	35 911	38 457	40 465	42 318	44 430	45 960	47 180	48 201	49 382	50 858	52 161

*Figura 9.* Parque automotor a nivel nacional

Fuente: MTC (2018)

## Carril de diseño

Para las vías que posean dos carriles y se puede diseñar en función a cualquier carril y en caso de múltiples carriles se diseña según los carriles externos. Por ello surgen las recomendaciones según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, datos basados en la guía AASHTO93.

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño
<b>1 calzada</b> (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
<b>2 calzadas con separador central</b> (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25

Figura 10. Factores de distribución direccional y de carril

Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones (2013)

### Crecimiento de tránsito

La demanda de tránsito debe evaluarse anticipadamente, pues depende de esto, que el pavimento deberá ser diseñado para servir. Este crecimiento se considera como el factor de tránsito:

$$\text{Factor de crecimiento} = \frac{(1 + r)^n - 1}{r} \dots\dots\dots [\text{Ecuación 9}]$$

Donde:

$r$  = tasa de crecimiento anual (%)

$n$  = periodo de diseño en años

## Número de repeticiones de eje equivalente

Los ejes equivalentes (EE), según AASHTO son factores de equivalencia, que representan al factor destructivo de las cargas por tipo de eje de cada tipo de vehículo pesado, sobre el pavimento.

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE <sub>8.2 tn</sub> )
Eje Simple de ruedas simples (EE <sub>S1</sub> )	EE <sub>S1</sub> = [ P / 6.6 ] <sup>4.0</sup>
Eje Simple de ruedas dobles (EE <sub>S2</sub> )	EE <sub>S2</sub> = [ P / 8.2 ] <sup>4.0</sup>
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE <sub>TA1</sub> )	EE <sub>TA1</sub> = [ P / 14.8 ] <sup>4.0</sup>
Eje Tandem ( 2 ejes de ruedas dobles) (EE <sub>TA2</sub> )	EE <sub>TA2</sub> = [ P / 15.1 ] <sup>4.0</sup>
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE <sub>TR1</sub> )	EE <sub>TR1</sub> = [ P / 20.7 ] <sup>3.9</sup>
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE <sub>TR2</sub> )	EE <sub>TR2</sub> = [ P / 21.8 ] <sup>3.9</sup>
P = peso real por eje en toneladas	

Figura 11. Relación de cargas por eje para determinar eje equivalente (EE) para pavimentos flexibles, afirmados y pavimentos semirrígidos.

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013)

## Determinación del número de ejes equivalentes

Equivalent Single Axle Load (ESAL), es un parámetro de diseño del pavimento, relacionado a un eje estándar que está compuesto por un eje simple y que al extremo posee dos ruedas. El peso es de 8.2 ton y ocasiona un efecto dañino en el pavimento.

$$ESAL = (\Sigma IMDA) \times 365 \times DD \times DL \left( \frac{(1+r)^n}{r} - 1 \right) \dots\dots\dots [Ecuación 10]$$

Donde:

DD = Factor direccional

DL = Factor carril

## 2.2.4. Evaluación Superficial

### 2.2.4.1. Índice de condición del pavimento (PCI – Pavement Condition Index)

Según el ASTM D-6433, el PCI es un indicador numérico que califica el estado o condición superficial del pavimento, el cual contiene una escala de clasificación, en donde este índice varía desde (0) para denominar a un pavimento fallado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado, como observamos en la figura (5), esto basado en las clases de daños o fallas encontradas, el grado de severidad y la cantidad de los mismos. Por medio de este método se tendrá una base objetiva para determinar la necesidad de una rehabilitación y mantenimiento con una identificación temprana con un seguimiento continuo.

Según Vásquez (2002) fundamenta que la metodología del PCI es la más completa, pues evalúa y califica de manera objetiva los pavimentos flexibles y rígidos, además que es de fácil trabajabilidad y no exige herramientas o equipos especializados.

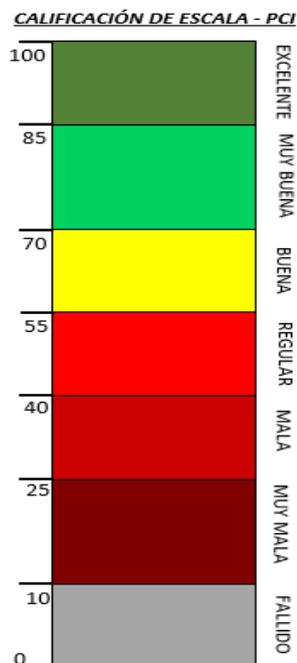


Figura 12. Rangos de Calificación del PCI

Fuente: ASTM D-6433

Este índice del PCI se fundamenta mediante una inspección visual del pavimento, en la que se considera los tres factores mencionados CLASE, SEVERIDAD y CANTIDAD de los daños presentados. Este índice se obtiene para saber la condición actual en la que se encuentra el pavimento, además de obtener las causas de los daños.

### Procedimiento de Evaluación de la Condición del Pavimento

Esta evaluación es realizada in situ, reconociendo las fallas clasificándolas según la severidad que depende del nivel donde se encuentre y la cantidad, ya sea por área o por unidad. Estos datos son introducidos a un formato como se observa en la figura 13.

 Universidad José Carlos Mariátegui MOQUEGUA - PERU				Evaluación de pavimentos mediante el PCI																														
Pavimento Flexible																																		
Hoja de Registro																																		
Nombre de la Vía				Área																														
Unidad de Muestra				Sección																														
Progresiva Inicial (Km)				Ejecutor																														
Progresiva Final (Km)				Fecha																														
Nro	Tipo de Falla	Cod.	Und.	Nro	Tipo de Falla	Cod.	Und.																											
1	Piel de Cocodrilo	PC	m2	11	Parcheo	PA	m2																											
2	Exudación	EX	m2	12	Pulimento de agregados	PU	m2																											
3	Fisuras de Bloque	BLO	m2	13	Huecos	HUE	und																											
4	Abalumbos y Hundimientos	ABH	m2	14	Cruce de vía férrea	CVF	m2																											
5	Contigüación	COR	m2	15	Abalumbamiento	ABU	m2																											
6	Depresión	DEP	m2	16	Desplazamiento	DES	m2																											
7	Fisura de Borde	FB	m	17	Greta Parabólica	GP	m2																											
8	Fisura de Reflexión de junta	FR	m	18	Hinchamiento	HN	m2																											
9	Desnivel carril/Berma	DN	m	19	Desprendimiento de agregados	DAG	m2																											
10	Fisuras Longitudinales y transversales	GLT	m2																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">SEVERIDADES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LOW</td> <td>BAJA</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>MEDIUM</td> <td>MEDIA</td> <td>M</td> </tr> <tr> <td>HIGH</td> <td>ALTA</td> <td>H</td> </tr> </tbody> </table>								SEVERIDADES			LOW	BAJA	L	MEDIUM	MEDIA	M	HIGH	ALTA	H															
SEVERIDADES																																		
LOW	BAJA	L																																
MEDIUM	MEDIA	M																																
HIGH	ALTA	H																																
PLANO DE UBICACIÓN:																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DAÑO</th> <th>SEVERIDAD</th> <th colspan="4">CANTIDAD</th> <th>TOTAL</th> <th>DENSIDAD</th> <th>Y.D.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="7"></td> <td><b>TOTAL V.D.</b></td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>								DAÑO	SEVERIDAD	CANTIDAD				TOTAL	DENSIDAD	Y.D.																	<b>TOTAL V.D.</b>	0
DAÑO	SEVERIDAD	CANTIDAD				TOTAL	DENSIDAD	Y.D.																										
							<b>TOTAL V.D.</b>	0																										
Valor Deducido mas alto (HVD): $Densidad = \frac{\text{Área Total del Daño}}{\text{Área de muestra}} \times 100$				Nro de valores deducidos >2 (q): $m_1 = 1.00 + \frac{q}{90} (100 - HVD_1)$																														
NRO	VALORES DEDUCIDOS						TOTAL	q	Y.D.C.																									
							<b>MAX V.D.C</b>																											
<table border="1"> <tr> <td>PCI= 100 - MAX V.D.C</td> </tr> <tr> <td>PCI= 100 - ..... =</td> </tr> </table>									PCI= 100 - MAX V.D.C	PCI= 100 - ..... =																								
PCI= 100 - MAX V.D.C																																		
PCI= 100 - ..... =																																		
ESTADO DEL PAVIMENTO :																																		

Figura 13. Hoja de Registro para evaluación

Fuente: Elaboración propia

## Unidades de muestreo

Para evaluar el tramo en estudio, este deberá ser dividido en secciones llamadas “unidades de muestreo”

El ASTM D-6433 indica que para un pavimento de concreto asfáltico la unidad de muestra oscila entre  $225,0 \pm 90,0 \text{ m}^2$ . Rango aceptado por Gutiérrez (2016), que nos señala que se deberá dividir la sección en unidades trabajables, siendo  $225 \text{ m}^2$ , correspondiendo a los 100 ml referenciados en el método.

Sin embargo, según Vásquez (2002) estas unidades de muestras son:

- a. En el caso de una carretera con carpeta asfáltica y que su ancho sea menor a 7,30 m, la unidad de muestreo deberá estar entre  $230,0 \pm 93,0 \text{ m}^2$ , como se presenta en la figura 14 de longitudes, donde se observa la relación que debe existir entre el ancho de la calzada y la longitud de la muestra.

<b>LONGITUDES DE UNIDADES DE MUESTREO ASFÁLTICAS</b>	
<b>Ancho de calzada (m)</b>	<b>Longitud de la unidad de muestreo (m)</b>
5.0	46.0
5.5	41.8
6.0	38.3
6.5	35.4
7.3 (máximo)	31.5

Figura 14. Longitudes de unidades de muestro asfálticas

Fuente: Vásquez, 2002.

## Determinación de las unidades de muestreo para evaluación

La evaluación por el método del PCI puede realizarse a una red vial y a un proyecto; en el caso de la red vial se tendrá en cuenta un gran número de unidades en la muestra, esto llevará un mayor tiempo, por lo que será necesario designar un proceso de recolección de muestras.

En tanto, para la evaluación de un proyecto se deberá considerar todas las unidades de muestreo; sin embargo, se puede evaluar una cantidad adecuada mediante la siguiente ecuación 11:

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2} \dots\dots\dots [\text{Ecuación 11}]$$

Donde:

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar

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

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

$\sigma$ : Desviación estándar del PCI entre las unidades. Para este valor, como es la inspección inicial, se asumirá 10 para pavimento asfáltico

Si el resultado del “n” es menor que cinco (n < 5), todas las unidades deberán evaluarse.

Dicha ecuación genera una confianza que un 95% del PCI este dentro de +/- “e” del valor real.

**Selección de las unidades de muestreo para inspección**

Para realizar esta selección, se puede calcular con lo siguiente:

- a. El intervalo de muestreo (i) se expresa mediante la ecuación 12:

$$i = \frac{N}{n} \dots\dots\dots [\text{Ecuación 12}]$$

Donde:

N: Número total de unidades de muestreo disponible

n: Número mínimo de unidades para evaluar

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

- b. La primera selección se hace entre, la primera unidad y el resultado de la ecuación “i”, así por ejemplo si  $i=3$ , entonces, nuestra muestra a inspeccionar estará entre la 1 y la 3; por lo tanto, la muestra que será inspeccionada sería la 2 y como el intervalo de muestreo (i) es igual a 3, los siguientes muestreos serían de 5, 8, 11, 14, etc.

Así, estas muestras escogidas aleatoriamente serán cuidadosamente inspeccionadas. No obstante, todas las unidades de muestreo tendrán que ser examinadas para tener un resultado, que pueda ayudar en la rehabilitación del pavimento.

### **Selección de unidades de muestreo adicionales**

Al efectuar una selección de muestras para la inspección, se corre el riesgo de evadir algunas de ellas que puedan estar altamente dañadas, o en otros casos, que presenten alguna falla por única vez. Por ello se tendrá que prevenir dichos inconvenientes, donde se incluirá una muestra inusual, la cual será la “unidad adicional”.

### **Evaluación de la condición**

Para obtener un resultado del índice de PCI seguro, se tendrá en cuenta:

- a. Equipo
- Odómetro manual: se utiliza para determinar las distancias y mediante ello fijar las áreas.
  - Regla o cinta métrica, es empleado para casos de algunas fallas de ahuellamientos o depresiones.

- Manual del PCI para identificar de manera correcta los daños y realizar una evaluación adecuada.

b. Procedimiento.

Por medio de la inspección de las unidades de muestreo delimitadas, se procederá a registrar dicha información en un formato, el cual será la “hoja de información de la condición” y se procederá a realizar los siguientes pasos, como indica la figura (15).

Es importante tomar en cuenta la seguridad apropiada para una mejor examinación de la vía.

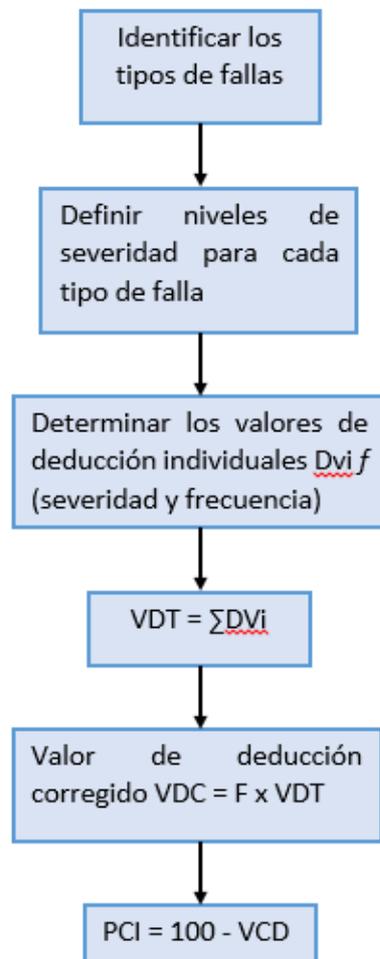


Figura 15. Diagrama de flujo del método del PCI

Fuente: Gutiérrez, 2016.

## **Cálculo del PCI de las unidades de muestreo**

Según el diagrama de flujo anterior, desarrollaremos específicamente cada paso siguiendo las indicaciones de Vásquez (2002) presentadas en su libro, el cual expresa que después de realizar el trabajo en campo, el cálculo siguiente se fundamenta en los “valores deducidos” del tipo de falla o daño que se encuentra.

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

***Etapas 1.*** Cálculo de los Valores Deducidos (VD):

Se representa en la hoja de registro como muestra la figura 6, la clase de daño, la severidad según sea baja, media o alta y la cantidad, que pueda ser medida según el área, por la unidad o en metros lineales, según la clase de daño que se identifique en el pavimento. Posteriormente, se totaliza y para obtener la densidad, se divide el total del área de cada daño (cantidad) entre el área total de la unidad de muestreo, este resultado es expresado en porcentaje. Por último, para calcular el valor deducido se empleará las tablas “curvas de valor deducido”.

***Etapas 2.*** Cálculo del *Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m)*

Sin embargo, luego de obtener los distintos valores deducidos, si ninguno o tan sólo uno de ellos es mayor que 2, se usa el “Valor Deducido Total” siendo esta la penúltima etapa, para luego solo seguir con la etapa 4.

De lo contrario, si todos los valores deducidos son menores que 2 entonces se realizará una lista de mayor a menor valor deducidos individualmente, luego se determinará el número máximo admisible de valores deducidos utilizando la siguiente ecuación 13:

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDV_i) \dots \dots \dots [Ecuación 13]$$

Donde:

$m_i$ : Número máximo admisible de “valores deducidos”, incluyendo fracción, para la unidad de muestreo  $i$ .

HDV: El *mayor valor deducido individual* para la unidad de muestreo  $i$ .

**Etapa 3.** Cálculo del “Máximo Valor Deducido Corregido” (CDV).

Se determina mediante un procedimiento iterativo, que consiste en determinar el número de valor deducido mayor que 2,0 el cual se denominará “q”, luego se sumará todos los valores deducidos individuales para obtener el “valor deducido total” y, seguidamente, se utilizará la curva de corrección en la figura 16, donde en el eje horizontal se encuentra el “valor deducido total” y las curvas representan a “q”:

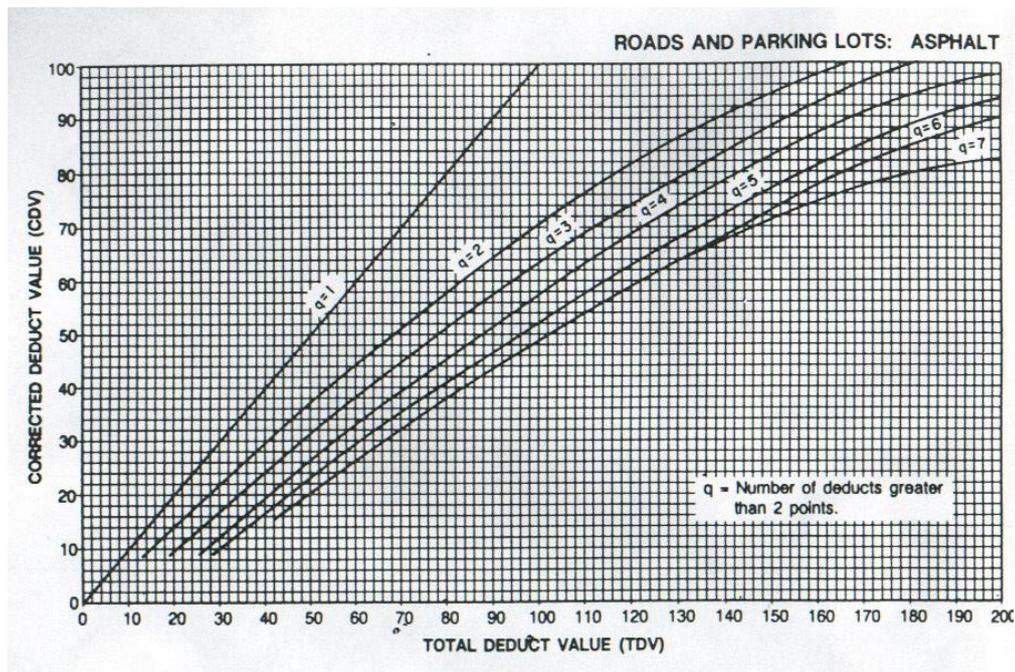


Figura 16. Curva de corrección para pavimentos asfálticos

Fuente: Vásquez, 2002.

Continuando con el cálculo, se identificará el menor de los valores deducidos que a su vez sea mayor a 2,0 y se tomará este mismo para repetir lo anterior, es decir, determinar “q”, sumar los valores deducidos obteniendo el valor deducido total y, finalmente, utilizando la curva de corrección, se debe hacer esto hasta que “q” sea igual a 1.

Entre todos los resultados obtenidos de CDV, el mayor resultado será el “máximo CDV”.

**Etapa 4. Cálculo del PCI**

En la última etapa se restará del 100 el máximo valor deducido corregido (CDV).

$$PCI = 100 - CDV \dots\dots\dots [Ecuación 14]$$

Donde:

PCI: Índice de condición del pavimento.

CDV: Máximo valor deducido corregido.

**Cálculo del PCI de una sección de pavimento**

Al evaluar el tramo pavimentado, se tomará en cuenta el PCI de dicho pavimento al promedio de los PCI calculados anteriormente, solo se dará en el caso de aquellas unidades de muestreo que hayan sido inventariadas.

Pero si se realizó una selección de unidades de muestreo para la inspección, el PCI de la sección del pavimento será el promedio de las unidades de muestras inspeccionadas.

En el caso de “unidades adicionales” se utilizará un promedio ponderado en la siguiente ecuación 15:

$$PCI_S = \frac{[(N - A) \times PCI_g] + (A \times PCI_A)}{N} \dots\dots\dots [Ecuación 15]$$

Donde:

$PCI_S$ : PCI de la sección del pavimento

$PCI_g$ : PCI promedio de las unidades de muestreo aleatorias o representativas

$PCI_A$ : PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales

N: Número total de unidades de muestreo en la sección

A: Número adicional de unidades de muestreo inspeccionadas.

#### 2.2.4.2. Fallas superficiales del pavimento flexible según PCI

FALLA N°	TIPO DE FALLA	CÓD.	UNID.
1	Piel de cocodrilo	PC	$m^2$
2	Exudación de asfalto	EX	$m^2$
3	Agrietamiento en bloque	BLO	$m^2$
4	Abultamientos y hundimientos	ABH	$m$
5	Corrugación	CO	$m^2$
6	Depresión	DE	$m^2$
7	Grieta de borde	GB	$m$
8	Grietas de reflexión de juntas	GJ	$m$
9	Desnivel carril / berma	DN	$m$
10	Grietas longitudinal y transversal	GLT	$m$
11	Parcheo	PA	$m^2$
12	Pulimiento de agregados	PU	$m^2$
13	Huecos	HUE	$N^\circ$
14	Cruce vía férrea	CVF	$m^2$
15	Ahuellamiento	AHU	$m^2$
16	Desplazamiento	DES	$m^2$
17	Grietas parabólicas	GP	$m^2$
18	Hinchamiento	HN	$m^2$
19	Meteorización / desprendimiento de agregados	DAG	$m^2$

Figura 17. Catálogo de fallas para el método del PCI

Fuente: Elaboración propia

En la figura (17) apreciamos los diferentes tipos de fallas que serán tomados en cuenta para la evaluación superficial, y Vásquez (2002) describe de manera detallada cada una de ellas:

### **a. Piel de cocodrilo**

Falla estructural que consiste en unas grietas interconectadas, debido al paso constante de carga vehicular, lo que origina fatiga en la capa de rodamiento, que empieza con una grieta inicial en la base estabilizada, extendiéndose hasta la superficie varias fisuras longitudinales, para luego conectarse y formar figuras de polígonos que presentan ángulos agudos, semejante a la piel de cocodrilo.

En esta clase de daño se presenta con otro tipo como es el ahuellamiento, debido al paso continuo de vehículos, y por este motivo, es que esta falla solo se presenta en una parte del pavimento, dado que los vehículos no se movilizan en toda el área de dicha estructura.

**Tabla 3**

*Nivel de severidad de piel de cocodrilo*

<b>Niveles de severidad</b>	<b>Descripción</b>
<i>Bajo (L)</i>	En este nivel solo se presenta grietas delgadas de forma paralela, sin ninguna unión ni desgaste de material.
<i>Medio (M)</i>	En la severidad media, dichas grietas anteriores, ahora presentan un desgaste y se empiezan a unir.
<i>Alto (H)</i>	Presenta un desarrollo en las grietas, se podrán observar las piezas de polígonos marcados y desgastados en los bordes. Este tipo de falla también puede presentar ahuellamiento.

Fuente: Vásquez, 2002.

### **b. Mancha en pavimentos (Exudación)**

Falla cuyo origen puede estar en la mezcla asfáltica, al agregarle un exceso de sello asfáltico, lo que ocasionaría que los vacíos de aire se llenen por causas temperamentales, emergiendo este material a la superficie y formando unas manchas brillantes y reflectivas, inclusive hasta siendo pegajoso.

**Tabla 4***Nivel de severidad de exudación*

<b>Niveles de severidad</b>	<b>Descripción</b>
<i>Bajo (L)</i>	En este nivel se observa una ligera mancha en solo unos días, sin embargo, este no presenta pegajosidad en las ruedas de los vehículos.
<i>Medio (M)</i>	En este caso esta falla sigue presentándose solo durante unos días, pero esta parte del pavimento se pega a los zapatos y vehículos.
<i>Alto (H)</i>	Ahora la mancha está más dispersa y presentándose el mismo signo de pegarse en los zapatos y neumáticos de vehículos, ocurriendo estos hechos durante varias semanas.

Fuente: Vásquez, 2002.

**c. Agrietamiento en bloque**

Debido a diferentes cambios de temperatura presentada durante el año, puede ocurrir una contracción del concreto asfáltico, lo que originaría otra clase de falla llamada “grietas de contracción” o “fisuras de bloque”, siendo estas casi similar al daño que se ve como piel de cocodrilo, la diferencia es que los bloques sufren un cambio de tamaño de 0,30 m x 0,30 m hasta 3,0 m x 3,0 m, incluso no solo son ocasionados por el paso continuo de vehículos de carga ligera y pesada, sino que en esta falla puede ocurrir en pavimentos con bajo volumen de tránsito.

**Tabla 5**

*Nivel de severidad de fisuras de bloque*

<b>Niveles de severidad</b>	<b>Descripción</b>
<i>Bajo (L)</i>	Para este nivel se presenta grietas sin relleno cuyo ancho es menor que 10,00 mm o grietas rellenas de cualquier ancho.
<i>Medio (M)</i>	En el nivel medio, las grietas sin relleno son más grandes abarcando 10 mm hasta 76 mm y pueden estar rodeadas de grietas pequeñas a su alrededor, o grietas relleno pueden presentar cualquier ancho, además de estar rodeada de pequeñas grietas.
<i>Alto (H)</i>	En este nivel las grietas ya miden más de 76 mm de ancho y las grietas pequeñas que estaban a su alrededor ahora son más extensas, presentando fracturación.

Fuente: Vásquez, 2002.

#### **d. Abultamientos y hundimientos**

En el caso de los abultamientos, estos son bultos o hinchazones vistos en la superficie del pavimento, los cuales puede deberse al levantamiento ocasionado por la losa de concreto, también se debe a la baja temperatura (expansión), o por la elevación de un material de la estructura del pavimento debido a la apertura de una grieta. En cambio, los hundimientos es un desplome, un desplazamiento hacia abajo de la superficie del pavimento. En algunas áreas de gran extensión que se generen este tipo de fallas, causan extensos desniveles llamado “ondulaciones”.

**Tabla 6**

*Nivel de severidad de abultamiento y hundimiento*

<b>Niveles de severidad</b>	<b>Descripción</b>
<i>Bajo (L)</i>	No perjudica la superficie de rodadura.
<i>Medio (M)</i>	Se presenta un efecto medio.
<i>Alto (H)</i>	Produce consecuencias que afecta la superficie de pavimento ocasionando una baja serviciabilidad.

Fuente: Vásquez, 2002.

### **e. Corrugación**

Este tipo de falla es casi similar al anterior, con la diferencia que ocurren usualmente a menos de 3,0 m y son causados por la acción del tránsito asimismo por la calidad baja que presenta la capa base.

**Tabla 7**

*Nivel de severidad de corrugaciones*

<b>Niveles de severidad</b>	<b>Descripción</b>
<i>Bajo (L)</i>	No perjudica a la capa de rodadura.
<i>Medio (M)</i>	Se presenta un efecto medio.
<i>Alto (H)</i>	Produce consecuencias que afecta la superficie de pavimento ocasionando una baja serviciabilidad.

Fuente: Vásquez, 2002

### **f. Depresión**

Estas presentan desniveles en algunas áreas del pavimento, algunas depresiones son causadas por la sub rasante que sufre un asentamiento, o debido a una mala ejecución de la estructura. Las consecuencias que atraen son rugosidades y en el caso que el agua esté presente por la velocidad del vehículo, este sufre una pérdida

de tracción, es decir, no esté en contacto con el pavimento, ocasionando que el vehículo se movilizara independientemente.

**Tabla 8**

*Nivel de severidad de depresiones*

<b>Niveles de severidad</b>	<b>Descripción</b>
<i>Bajo (L)</i>	Profundidad de 13,0 mm a 25,0 mm
<i>Medio (M)</i>	Profundidad máxima de 25,0 mm a 51,0 mm
<i>Alto (H)</i>	Profundidad mayor a 51,0 mm

Fuente: Vásquez, 2002.

#### **g. Grietas de borde**

Este tipo de fisuras se producen en los bordes de los pavimentos, estos suelen ser ocasionados por la falta de soporte lateral o por terraplenes cuyos materiales son expansivos, o también por los cambios climáticos, que originan un debilitamiento en la base o sub rasante. Estas fisuras son paralelas y están separadas a una distancia de 0,30 m hasta 0,60 m medidas desde el borde exterior del pavimento, lo que conlleva a su reducción y, por lo tanto, a la pérdida de material.

**Tabla 9**

*Nivel de severidad de grietas de borde*

<b>Niveles de severidad</b>	<b>Descripción</b>
<i>Bajo (L)</i>	Fisuras menores.
<i>Medio (M)</i>	Grietas que se van produciendo la pérdida de material, presentando fisuras en los bordes.
<i>Alto (H)</i>	Presenta una importante desunión en pequeños fragmentos y desintegración de los bordes.

Fuente: Vásquez, 2002.

## **h. Grietas de reflexión de juntas**

Este tipo de falla sucede solo en pavimentos que contiene una losa de concreto con superficie asfáltica (pavimento mixto). Estas grietas se deben al movimiento de la losa de concreto por el cambio de temperatura o humedad. Aunque no es generado por la transitabilidad de vehículos, esta falla puede generar rotura del concreto debido a los esfuerzos generados por el tránsito.

**Tabla 10**

*Nivel de severidad de grietas de reflexión*

<b>Niveles de severidad</b>	<b>Descripción</b>
<i>Bajo (L)</i>	Se considera en este nivel: <ul style="list-style-type: none"><li>- Fisura que no contiene relleno y el ancho es menor a 10 mm</li><li>- Contiene relleno y el ancho varía.</li></ul>
<i>Medio (M)</i>	Se considera: <ul style="list-style-type: none"><li>- No contiene relleno y su ancho oscila de 10 mm a 76 mm</li><li>- No contiene relleno y puede llegar a un ancho de 76mm, y presentar grietas externas alrededor.</li><li>- Presenta un relleno, su ancho puede variar y presentar grietas alrededor de la falla.</li></ul>
<i>Alto (H)</i>	Consideramos: <ul style="list-style-type: none"><li>- En este nivel la grieta rellena o no presentan las mismas grietas alrededor, pero en severidad alta o media.</li><li>- Grieta sin relleno cuyo ancho abarca más de 76 mm</li><li>- Grieta que presenta cualquier ancho.</li><li>- Se puede mostrar con distinto ancho y cuyo lado externo presenta fractura.</li></ul>

Fuente: Vásquez, 2002.

### **i. Desnivel carril / berma**

Se refiere a la variación de elevaciones entre el borde del pavimento (carril) y la berma, esto debido a la erosión de la berma, asentamiento de la berma o a la colocación de capas nuevas sin la elevación o nivelación de la berma.

**Tabla 11**

*Nivel de severidad de desnivel carril-berma*

<b>Niveles de severidad</b>	<b>Descripción</b>
<i>Bajo (L)</i>	La variación entre las elevaciones de la berma y el pavimento se encuentra entre 25,0 mm hasta 51,0 mm
<i>Medio (M)</i>	Las elevaciones de la berma y el pavimento presentan una diferencia entre 51,0 mm hasta 102,0 mm
<i>Alto (H)</i>	En este nivel las elevaciones varían a una distancia mayor a 102,0 mm

Fuente: Vásquez, 2002.

### **j. Grietas longitudinales y transversales**

Estas fisuras o grietas longitudinales son paralelas al eje central, sus causas pueden ser:

1. Debido a una baja calidad en la ejecución de una junta del carril.
2. Por presentar temperaturas bajas puede ocasionar la contracción de la superficie del concreto asfáltico.
3. Debido a la presencia de un agrietamiento en la capa de base o en la losa de concreto.

En cuanto a las grietas transversales, estas se dispersan en el pavimento formando ángulos rectos al eje central.

**Tabla 12***Nivel de severidad de grietas longitudinales y transversales*

<b>Niveles de severidad</b>	<b>Descripción</b>
<i>Bajo (L)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No presenta relleno y el ancho es menor a 10 mm</li> <li>- El ancho de la fisura puede variar y la base posee buenas condiciones.</li> </ul>
<i>Medio (M)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No presenta relleno y el ancho varía de 10 mm a 76 mm</li> <li>- No contiene relleno y el ancho máximo es de 76 mm, alrededor presenta fisuras.</li> <li>- Fisuras de ancho variado y alrededor se observa fisuras cortas.</li> </ul>
<i>Alto (H)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cualquier fisura en cuyo alrededor se observan fisuras pequeñas de severidad media o alta.</li> <li>- Grietas que no contiene relleno y el ancho es mayor a 76 mm</li> <li>- El pavimento presenta fracturas.</li> </ul>

Fuente: Vásquez, 2002.

**k. Parcheo y acometidas de servicio público**

Consiste en un área que ha sido remplazada con material nuevo para su reparación.

**Tabla 13***Nivel de severidad de bacheo*

<b>Niveles de severidad</b>	<b>Descripción</b>
<i>Bajo (L)</i>	El parchado está en condición aceptable y el efecto que ocasiona una severidad baja.
<i>Medio (M)</i>	Se observa un deterioro en el bache, lo que ocasiona una severidad media en el tránsito.
<i>Alto (H)</i>	La reparación ya se presenta deteriorada calificándolo como alta severidad, la cual requiere una sustitución.

Fuente: Vásquez, 2002.

## **l. Pulimiento de agregados**

Esta falla se presenta cuando observamos en la superficie de rodadura, unas pequeñas cantidades de agregado extendidas sobre el asfalto, la ausencia de la propiedad de aspereza o ausencia de agregado angular que ayuden a la resistencia contra el deslizamiento (se vuelve suave al tacto). Esto ocasiona a que no haya una adherencia de las llantas de los vehículos con el pavimento. Se tomará en cuenta este tipo de falla con evaluaciones previas.

## **m. Huecos**

Este tipo de daño presenta una porción del pavimento inferior o más hundida que el resto de la superficie, el diámetro de esta depresión es menor a 0,90 m y se observa el surgimiento de bordes cuyos ángulos son agudos.

Se producen debido al paso de los vehículos y se incrementa el diámetro de esta falla por la acumulación de las aguas provenientes de lluvias dentro de estos. Estos daños son fallas debido a la condición de la estructura. Estos se presentan primero como piel de cocodrilo y después toma una alta severidad se registrarán como huecos.

**Tabla 14**

*Nivel de severidad de huecos*

<b>Profundidad máxima del hueco</b>	<b>Diámetro medio (mm)</b>		
	102 a 203 mm mm	203 a 457 mm	457 a 762
<i>12.7 a 25.4 mm</i>	L	L	M
<i>&gt;25.4 a 50.8 mm</i>	L	M	H
<i>&gt;50.8 mm</i>	M	M	H

Fuente: Vásquez, 2002.

#### **n. Cruce de vía férrea**

Presencia de hundimientos o hinchamientos que rodean o se encuentran entre los rieles.

**Tabla 15**

*Nivel de severidad de cruce de vía férrea*

<b>Niveles de severidad</b>	<b>Descripción</b>
<i>Bajo (L)</i>	La condición del tránsito es de una afectación baja.
<i>Medio (M)</i>	Se presenta una afectación mediana.
<i>Alto (H)</i>	Se presenta una afectación alta.

Fuente: Vásquez, 2002.

#### **o. Ahuellamiento**

Falla superficial que presenta una depresión en la superficie de rodadura, puede presentar el levantamiento del pavimento a lo largo de esta falla, aunque solo se detecta cuando hay presencia de lluvias.

Generalmente es causado por el movimiento lateral de los materiales debido a las cargas de tránsito.

Este tipo de falla puede agravarse a ser una falla estructural considerable.

**Tabla 16**

*Nivel de severidad de ahuellamiento*

<b>Niveles de severidad</b>	<b>Descripción</b>
<i>Bajo (L)</i>	Profundidad media 6.0 a 13.0 mm
<i>Medio (M)</i>	Profundidad media >13.0 mm a 25.0 mm
<i>Alto (H)</i>	Profundidad media > 25.0 mm

Fuente: Vásquez, 2002.

#### **p. Desplazamiento**

Es un deslizamiento o corrimiento permanente de un área de la superficie del pavimento que es producido por el paso de las cargas de tránsito, ocasionando la aparición de una onda de tamaño pequeño y fragoso en la superficie.

Estos desplazamientos también ocurren cuando los pavimentos asfálticos colindan con los pavimentos rígidos. Normalmente, este daño solo ocurre en pavimentos con mezclas de asfalto líquido inestables (cutback o emulsión).

**Tabla 17**

*Nivel de severidad de desplazamiento*

<b>Niveles de severidad</b>	<b>Descripción</b>
<i>Bajo (L)</i>	No presenta consecuencias importantes en la capa de rodaje.
<i>Medio (M)</i>	Presenta consecuencias de efecto medio en la capa de rodaje.
<i>Alto (H)</i>	Presenta un efecto muy negativo en la calidad de la capa de rodaje.

Fuente: Vásquez, 2002.

#### **q. Grietas parabólicas**

Son grietas en forma de media luna transversal, con sus puntas hacia el sentido del tránsito, las cuales son producidas por el frenado de las ruedas o cambio de dirección.

Ocurre, generalmente, cuando al construir capas de la estructura, se halla un acoplamiento pobre o mezcla de baja resistencia entre la capa superior y la capa inferior.

**Tabla 18***Nivel de severidad de grietas parabólicas*

<b>Niveles de severidad</b>	<b>Descripción</b>
<i>Bajo (L)</i>	Ancho menor que 10,0 mm
<i>Medio (M)</i>	- Ancho de 10,0 mm - Al extremo de la grieta, el pavimento se encuentra fracturado.
<i>Alto (H)</i>	- Ancho promedio mayor de 38,0 mm - El área alrededor de la grieta está fracturada en pedazos fácilmente removibles.

Fuente: Vásquez, 2002.

**r. Hinchamiento**

Para esta clase de daño, se presenta una curvatura presenciada en la parte superior de la superficie del pavimento, cuya longitud es de la onda es mayor a 3,0 m. Además de contemplar una grieta superficial. Esta falla, generalmente, se puede observar en pavimentos cuyos suelos de fundación sea de tipo expansivo.

**Tabla 19***Nivel de severidad de hinchamientos*

<b>Niveles de severidad</b>	<b>Descripción</b>
<i>Bajo (L)</i>	Se detecta en el tránsito a una velocidad mayor, por lo que ocasionará un desplazamiento variado por la presencia del hinchamiento, lo que conlleva a una calidad baja.
<i>Medio (M)</i>	Surge una afectación media en el tránsito.
<i>Alto (H)</i>	Surge una afectación alta en el tránsito.

Fuente: Vásquez, 2002.

#### s. Meteorización / desprendimiento de agregados

Se observa el deterioro en la superficie de rodadura del pavimento, esto a consecuencia de una disminución del ligante asfáltico en las partículas de agregados de la capa superficial. Esto puede ser debido a un endurecimiento de dicho material o la mezcla asfáltica esté en una condición baja. Así también, este daño puede ser por el paso de vehículos orugas. El ablandamiento de la superficie y la pérdida de los agregados, debido al derramamiento de aceites, también se consideran como desprendimiento.

**Tabla 20**

*Nivel de severidad de desprendimiento de agregados*

<b>Niveles de severidad</b>	<b>Descripción</b>
<i>Bajo (L)</i>	En este nivel se observa una cantidad baja de agregados y ligante, lo que puede ocasionar una depresión. Ocasionalmente que la superficie sea dura e impenetrable.
<i>Medio (M)</i>	Observa baja cantidad de agregados o ligante, cuya superficie es rugosa en nivel intermedio y presenta huecos.
<i>Alto (H)</i>	Ausencia muy importante de agregado o ligante. La superficie presenta una rugosidad muy severa y el ahuecamiento es mayor, pues algunas áreas tienen diámetros menores a 10 mm y profundidades menores a 13 mm

Fuente: Vásquez, 2002.

### **2.2.5. Evaluación Estructural**

#### **2.2.5.1. Métodos de ensayos no destructivos**

Para Hoffman y Del Águila (1985) determinar la capacidad portante entre pavimento-subrasante, en cualquier año de su vida de servicio de la vía es la evaluación estructural, que es importante para cualquier necesidad de

rehabilitación. Tradicionalmente, para obtener los resultados de esta evaluación, será necesario la perforación de calicatas, sin embargo, este método resulta costoso, y de un avance lento, además, altera al pavimento al ser un método destructivo, es por ello, que se presentan metodologías “no destructivas”, basado en deflexiones de la superficie frente a cargas dadas.

Para estas deflexiones se tomará en cuenta las medidas, las cuales son tomadas en las deformaciones elásticas del pavimento.

#### **2.2.5.2. Deflexiones mediante la viga Benkelman**

Según Gutiérrez (2016), para aplicar este equipo está basado en métodos empíricos que surgen a partir de lecturas de deflexión originados por el pavimento tomadas a una distancia adecuada (0.25m), estas deformaciones serán la causa de la carga proveniente de un vehículo cargado, generando una parábola de la deformada, la cual está asociada a un círculo inscrito que se evaluará por medio del radio de curvatura ( $R_c$ ).

Este método empírico de deflectometría tiene el fin de determinar la deflexión elástica del pavimento, realizados con el deflectógrafo tipo Viga Benkelman.

***Procedimiento para la medida de deflexión.*** Para realizar la medida de deflexiones empleando la viga Benkelman, nos basaremos en el Manual de carreteras: Ensayo de materiales MTC E-1002 (2016), el cual nos indica:

- a) Al realizar el ensayo se deberá marcar con una línea transversal al carril, desde el borde del pavimento hasta el punto que se ejecutará, tomando en cuenta la tabla 21.

**Tabla 21**

*Relación entre ancho del carril y el borde del pavimento*

Ancho del carril	Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento
2,70 m	0,45 m
3,00 m	0,60 m
3,30 m	0,75 m
3,60 m o más	0,90 m

Fuente: Manual de carreteras: ensayos de materiales, 2016.

Teniendo nuestro punto en este caso llamado “punto D”, se colocará la llanta doble sobre el punto marcado, coincidiendo este con el eje vertical del centro de gravedad del neumático, como se muestra en la figura 18.a.

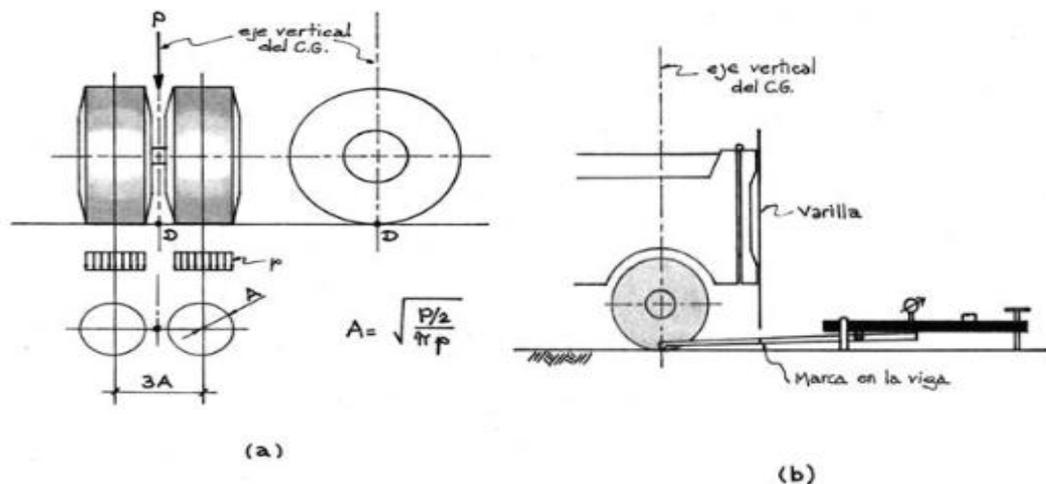


Figura 18. Configuración geométrica del sistema de carga

Fuente: Hoffman y Del Águila, 1985.

- b) Para este caso utilizaremos la viga de un solo brazo, al realizar lo anterior, se procederá a insertar el brazo móvil de la viga por debajo y entre la llanta trasera

del camión, colocándolo sobre el punto D evitando el roce del brazo con el neumático. Para facilitar esta última acción debido a la dificultad visual y manual, se utilizará una plomada, la cual estará ubicada en el eje vertical del centro de gravedad de la llanta, luego se colocará el brazo móvil de la viga en la parte externa de la llanta doble, como si estuviera entre ambas, para ello el camión deberá tener adosado en su parte trasera una varilla, la cual será la guía para marcar la viga, como se muestra en la figura 18.b y, de esta manera, al insertar el brazo, solo sea necesario coincidir la marca de la viga con la varilla, para poder efectuar las lecturas de deflexiones en las diferentes distancias.

- c) Los puntos posteriores estarán ubicados a diferentes distancias, las cuales son las deflexiones adicionales, la primera lectura tomada de la distancia 0 cm, será nuestra deflexión máxima. Figura 19.

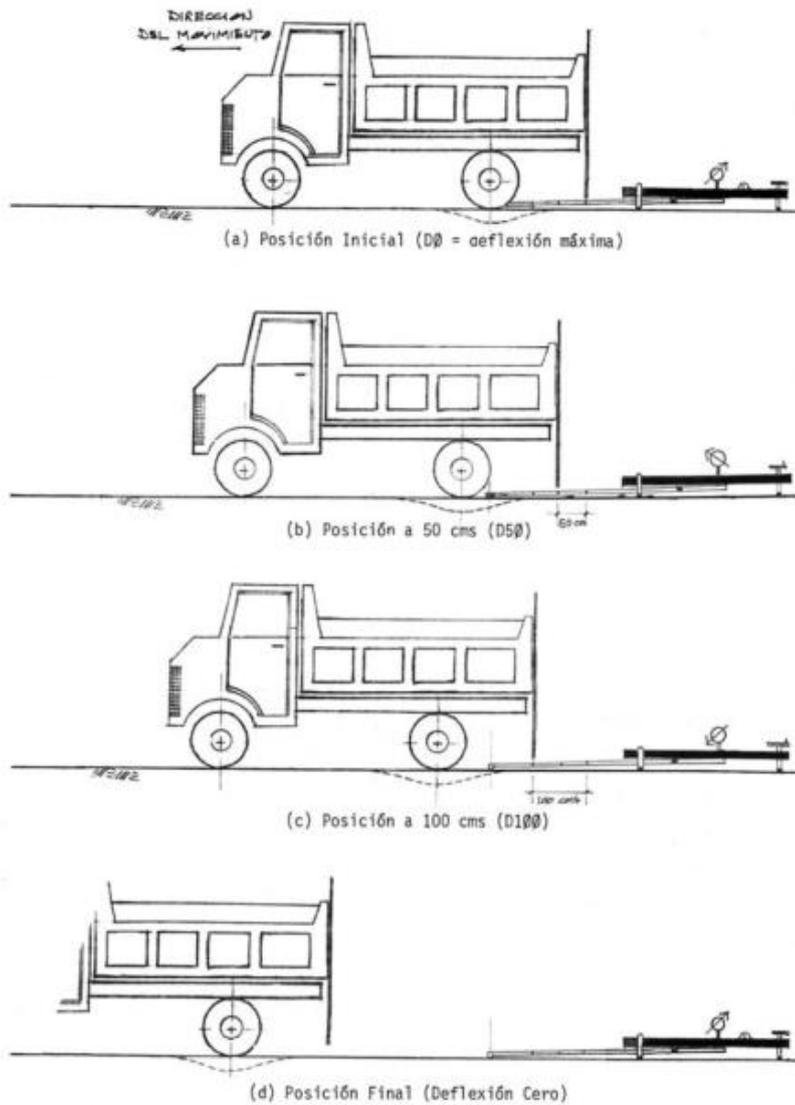


Figura 19. Procedimiento de medición de deflexión  
Fuente: Hoffman y Del Águila, 1985.

- d) Para el caso de la utilización de una viga doble, se tomará en cuenta la temperatura del pavimento, debiendo estar entre el límite inferior ( $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y el límite superior ( $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), para ello se deberán realizar unos orificios en la vía, colocando aceite e insertando el termómetro para verificar una temperatura adecuada, se realizará el mismo procedimiento anterior de la viga simple, teniendo en cuenta la base de la viga, para que los brazos de medición estén en contacto con los diales.

### 2.2.5.3. Método CONREVIAL

Método desarrollado desde 1982, el cual fue desempeñado por el Consorcio de rehabilitación vial, desarrollado con el fin de la evaluación del estado actual de las carreteras en el Perú. Basado en la deflexión máxima y la curvatura que toma la superficie al realizar el ensayo. El cual deberá tener en cuenta: la relación entre la deflexión admisible y característica, además del análisis de la estructura del pavimento y sus fallas existentes.

#### Cálculo de las deflexiones

Según el manual de carreteras: ensayos de materiales (2016) afirma que el cálculo que se debería realizar al emplear la viga simple, será la diferencia de la lectura final y la lectura inicial, multiplicado por la relación de brazos (2 en 1 o 4 en 1).

$$D = (LF - LR) \times RB \dots\dots\dots [Ecuación 16]$$

Donde:

D= Deflexión a la distancia R, expresada en 0,01 mm

LR= Lectura a la distancia R

LF= Lectura máxima

RB= Relación de brazos de la viga Benkelman (normalmente es 1:2 o 1:4)

Sin embargo, el cálculo para la viga doble es distinta, pues solo se tomará en consideración la lectura del dial y la relación entre brazos.

$$D = LD \times RB \dots\dots\dots [Ecuación 17]$$

Donde:

D= Deflexión a la distancia R, expresada en 0,01 mm

LD= Lectura del dial

RB= Relación de brazos de la viga Benkelman (normalmente es 1:2 o 1:4)

### Corrección por temperatura

Al realizar la toma de lecturas de las deflexiones de un punto escogido, esta se ve afectado por la temperatura del pavimento, la cual influye de manera directa en la elasticidad de la carpeta asfáltica, originando una incorrecta lectura. Por ello la dirección de vía de Argentina plantea la ecuación (18), en donde se corrige de acuerdo a la temperatura estándar de 20 °C:

$$D_{20} = \frac{D_t}{k(t - 20^\circ)e} + 1 \dots \dots \dots [\text{Ecuación 18}]$$

Donde:

$D_{20}$  = Deflexión corregida a la temperatura estándar de 20° C (1/100mm)

$D_t$  = Deflexión medida a la temperatura t (1/100mm)

k =  $1 \times 10^{-3}$ ; constante para capas granulares (1/cm °C)

t = Temperatura de la carpeta asfáltica del pavimento (°C)

e = Espesor de la carpeta asfáltica (cm)

### Corrección por estacionalidad

A lo largo del año, la variación del clima afecta la deflexión de un pavimento, más aún cuando existe presencia de lluvia, el cual es el periodo más dañino y por lo tanto la situación más crítica para la estructura del pavimento, y por ello se recomienda que la evaluación se realice en esta estación del año.

Para las lecturas medidas fuera de los periodos críticos se deberán corregir según los factores de estacionalidad como se indica en la siguiente tabla:

**Tabla 22**

*Factor de corrección por estacionalidad*

Tipo de suelo de sub rasante	Factor de corrección estacional (Fe)	
	Estación seca	Estación lluviosa
Arenosos - Permeable	1.10 – 1.30	1.00
Arcillosa – Sensible al agua	1.20 – 1.40	1.00

Fuente: Madruga (2007).

### **Radio de curvatura**

Conforme a Madruga (2007) la línea elástica de deformación del punto inicial, presenta la curvatura máxima de deflexión del pavimento, generando una parábola con dos lecturas adicionales, distantes a 0.25 m para ambos lados del eje de carga. Esta curvatura generada en el punto de inicio se asocia al radio de un círculo, como se aprecia en la figura (20).

Para determinar el radio de curvatura, se utiliza la siguiente ecuación:

$$R_c = \frac{10 \times (25)^2}{2(D_0 - D_{25})} \dots\dots\dots [\text{Ecuación 19}]$$

Donde:

$R$  = Radio de curvatura (m)

$D_0$  = Deflexión recuperable en el eje vertical de carga (1/100mm)

$D_{25}$  = Deflexión recuperable a 25cm del eje vertical de carga (1/100mm)

10 = coeficiente de intercambio unitario

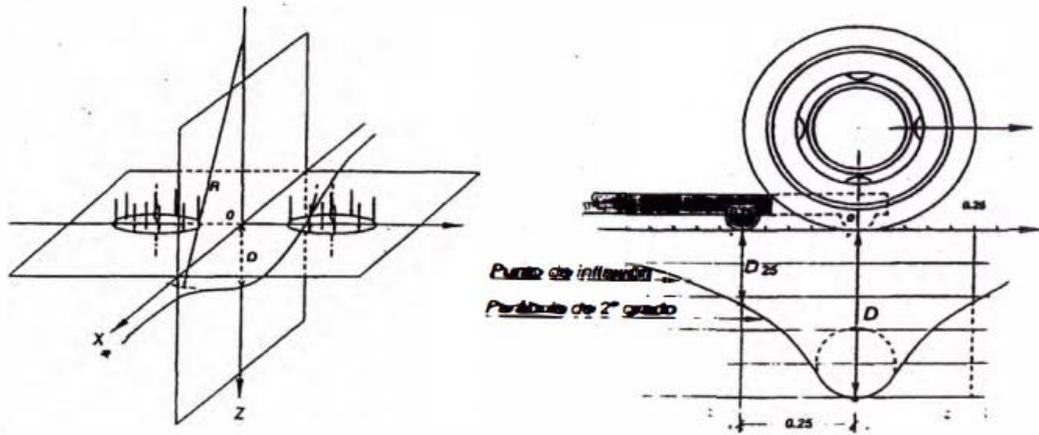


Figura 20. Deformada del pavimento y parámetros de comparación

Fuente: Guitérrez (2016)

Generalmente al producirse deflexiones mayores, puede deberse a la baja calidad de las capas inferiores del pavimento, en especial del suelo de fundación (subrasante), sin embargo, esto no se da en algunos casos, por ello al considerar el radio de curvatura y las deflexiones, la evaluación es más comprensible teniendo los siguientes casos:

- a. Bajas deflexiones y grandes radios de curvatura. Referido a un pavimento en buen estado, pues tanto capas superiores como inferiores cumplirán con la calidad exigida, no sobrepasando a la deflexión admisible.
- b. Bajas deflexiones y pequeños radios de curvatura. Debido a que la capa superior posea una baja calidad, ya sea en compactación, CBR, etc.
- c. Altas deflexiones y grandes radios de curvatura. Debido a una mayor deflexión, esto puede deberse a la baja calidad de la subrasante, ya sea por: deficiente calidad del material, humedad existente.

- d. Altas deflexiones y pequeños radios de curvatura. Pavimento deficiente tanto en capas superiores como inferiores, producto de una mala compactación, materiales inadecuados o drenaje insuficiente.

### Método empírico

Los resultados del ensayo deflectométrico seguidamente son procesados por el método estadístico, de acuerdo a la distribución de Gauss. Determinando:

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} \dots\dots\dots [\text{Ecuación 20}]$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{(n - 1)}} \text{ para "n"} \leq 30 \dots\dots\dots [\text{Ecuación 21}]$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n}} \text{ para "n"} \geq 30 \dots\dots\dots [\text{Ecuación 22}]$$

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{D}} \times 100 \dots\dots\dots [\text{Ecuación 23}]$$

Donde:

$\bar{D}$  = deflexión media

$\sigma$  = desviación estándar

$C_v$  = coeficiente de variación

$n$  = Número total de mediciones de deflexión

### Deflexión característica

Para la obtención de un refuerzo, es necesario trabajar con una sección determinada del pavimento, por ello es que obtenemos la deflexión característica, que será el valor representativo:

$$D_c = \bar{D} + t \cdot \sigma \dots\dots\dots [\text{Ecuación 24}]$$

Donde:

$\bar{D}$  = Deflexión media.

$\sigma$  = Desviación estándar

t = Porcentaje del área total

Para el método CONREVIAl, recomienda usar el 95% de probabilidad de ocurrencia, teniendo un valor “t” igual a “1.645”, como se ve en la figura (21).

Valor diseño (%)	$D_c + \bar{D} + t\sigma$	$D > D_c$ %
50	$\bar{D}$	50
75	$\bar{D} + 0.674 \sigma$	25
85	$\bar{D} + \sigma$	15
90	$\bar{D} + 1.3 \sigma$	10
95	$\bar{D} + 1.645 \sigma$	5
98	$\bar{D} + 2 \sigma$	2
99	$\bar{D} + 2.33 \sigma$	1
99.9	$\bar{D} + 3 \sigma$	0.1

Figura 21. Valor de “t” y probabilidad de ocurrencia de  $D > D_c$

Fuente: Gutiérrez (2016)

### Deflexión admisible

Correspondiente a la deflexión máxima que el pavimento puede soportar frente a una carga de tráfico actual o proyectado, antes de generar el estado de fatiga en el pavimento.

$$N = \frac{1.15}{D^4} \text{ o también } D_{adm} = \sqrt[4]{\frac{1.15}{N}} \dots\dots\dots [\text{Ecuación 25}]$$

Donde:

$N$  = Número de ejes estándares equivalentes de 8,2 toneladas acumuladas en el período de diseño.

$D_{adm}$  = Deflexión característica admisible (inicial) en mm.

Por último, analizando todos los resultados obtenidos, la figura (22) presenta según la deflectometría y su estado visual, las recomendaciones de cada caso.

Deflectometría	Estado visual	Estado estructura	Recomendación
La deflexión característica es superior a la admisible. Los radios de curvatura son elevados o aceptables (en relación a la estructura). $D_c > D_{adm} + R_c$	No hay fallas de origen estructural	Estructura infradiseñada, pero la capacidad portante de las capas decrece en profundidad (No existe capa débil inmediatamente debajo de la capa asfáltica).	Examinar fecha y tipo de las últimas obras ejecutadas, para justificar estado del pavimento. 1° CASO
	Hay fallas de origen estructural generalizadas.		Hay acuerdo entre todas las variables: a) Las deflexiones son empleadas para el cálculo de refuerzo. b) Para deflexiones muy fuertes, analizar económicamente reconstrucción. Verificar con métodos de diseño. 2° CASO
La deflexión característica es superior a la admisible. Los radios de curvatura son elevados o aceptables (en relación a la estructura). $D_c > D_{adm} - R_c$	Hay fallas de origen estructural por fatiga (Fisura tipo piel de cocodrilo).	Existe una capa débil inmediatamente debajo de la capa asfáltica (Relación entre módulos de elasticidad $< 1$ ).	Se trata de neutralizar el efecto de la capa que falla, ya sea por reconstrucción parcial, o refuerzo. No es conveniente emplear la deflexión, ya que puede no ser representativa. 3° CASO
La deflexión característica es inferior a la admisible. Los radios de curvatura sea reducidos. $D_c < D_a - R_c$		Existe una capa débil inmediatamente debajo de la capa asfáltica.	Analizar fecha de mediciones y tipo de estructura. Neutralizar el efecto de la capa débil (reconstrucción o refuerzo). De ninguna manera se pueden considerar las deflexiones para el proyecto; emplear métodos de diseño. 3° CASO
La deflexión característica es inferior a la admisible. $D_c < D_a$	Hay fallas de origen estructural: deformaciones permanentes de la fundación.	Estructura degradada no adecuada para la fundación.	Evaluar aporte estructural de la calzada existente (reconstrucción o refuerzo). La deflexión no es representativa. 4° CASO
	No hay fallas de origen estructural	Estructura bien diseñada.	Corregir fallas de origen superficial, las soluciones dependerán de los defectos observados y sus causas. Mejora superficial 5° CASO

Figura 22. Análisis combinado de los resultados de evaluación

Fuente: Gutiérrez (2016)

### 2.3. Definición de términos

- Deflexión: Deformación elástica del pavimento producida por la aplicación de una carga que representa la medida de recuperación de la superficie, con el fin de evaluar la capacidad y estado estructural, y así decidir sobre el adecuado tipo de conservación.

- Deformación: Modificación de forma de la estructura de un material por la aplicación de un esfuerzo mecánico.
- Deformación admisible: Es el límite de deformación que puede sufrir un material.
- Deformación elástica: Deformación recuperable en su totalidad al cesar el esfuerzo que lo produjo.
- Deformación plástica: Causada por la acumulación de deformaciones permanentes, las cuales se conservan a pesar que el esfuerzo que lo originó ha sido removido, son producidas por las cargas de tráfico repetidas.
- Degradación: Proceso de desgaste, en el cual la capacidad estructural y funcional sufren una disminución a causa de tránsito y agentes ambientales.
- Índice de condición de pavimento (PCI): Valor numérico en el cual se clasifican los distintos tipos de daños o fallas observadas en la superficie del pavimento, según su gravedad y extensión.
- Viga Benkelman: Deflectómetro mecánico simple, el cual cuenta con dos palancas suspendidas de un mismo bastidor que transmite la deflexión vertical del punto de medida a un medidor de deformación.
- Serviciabilidad: Capacidad de servir del pavimento ocasionado por el tránsito que hace uso de el en un momento determinado.
- Fallas o daños del pavimento: Deterioros del pavimento, mostrado de manera externa, esto debido a diferentes causas, como deficiencias en la ejecución de trabajos, factores atmosféricos, etc.

- Periodo útil: o vida útil. Se refiere a los años en el que el pavimento se encuentra en buen estado, capaz de permitir la circulación de vehículos en buenas condiciones de operación.
- Flujo vehicular o tráfico vehicular, es la circulación de vehículos en una vía, calle, etc.
- Capacidad de soporte: Capacidad que posee la subrasante para soportar los esfuerzos verticales producidos por las cargas de tránsito.
- Mantenimiento rutinario: Actividades ejecutadas de manera permanente, ejecutada para la reparación de defectos pequeños en el pavimento, para la preservación de este, los cuales incluyen limpieza, reparaciones de defectos de la plataforma, entre otras.

-

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO**

#### **3.1. Tipo de la investigación**

El tipo de investigación será aplicada y descriptiva.

Será aplicada porque permitirá buscar nuevos conocimientos, en este caso el método PCI y el ensayo de la viga Benkelman, que permitirán controlar fenómenos ocurridos, como son los diferentes tipos de deterioro de los pavimentos, además de evaluar las deflexiones existentes, dando una mejor alternativa para su mejoramiento, además que es un problema de interés social.

Será descriptiva porque permitirá especificar fenómenos importantes como las clases de daños o fallas presentados en la muestra de pavimento que se estudiará, además de que se evaluarán si están en condiciones aceptables.

#### **3.2. Diseño de la investigación**

La investigación es de carácter no experimental pues se realizará la evaluación visual, sin intervención, registrando los efectos causados por diferentes factores, siendo esta investigación de tipo transeccional pues estos datos que se recolectarán serán obtenidos en un tiempo único.

### 3.3. Población y muestra

La población que se tomará en cuenta para la investigación será los pavimentos flexibles de las principales vías arteriales de la ciudad de Moquegua, como se muestra en el apéndice F.

La muestra en estudio será la vía arterial: Av. Manuel Camilo de la Torre del distrito de Moquegua.

El número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la Ecuación 1, la cual produce un estimado del PCI  $\pm 5$  del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

longitud del proyecto		1125 m
Longitud de la unidad de muestreo		35 m
Numero total de unidades de muestreo en la seccion del pavimento	N	32.1

#### ii) Número mínimo de unidades de muestreo

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

Número total de unidades de muestreo	N	32
Desviación estandar de 10 asumido (Metodologia PCI)	$\sigma$	10
error admisible en el estimativo de PCI	e	5
Número mínimo de unidades de muestreo calculado	n	10.9
Número mínimo de unidades de muestreo asumido	n	11

#### iii) Intervalo de muestreo

Número total de unidades de muestreo	N	32
Número mínimo de unidades de muestreo asumido	n	11
Intervalo de muestreo	i	2.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

### 3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos

a) Hojas de Registro: Formato que sirve para la recolección de datos que permitirá registrar durante la auscultación: fecha, ubicación, tramo, sección, tamaño de la



d) Viga Benkelman: Deflectómetro mecánico simple, que consta de una palanca, suspendida en un bastidor, se transmitirá la deflexión vertical del punto de medida a un comparador o dial medidor.



*Figura 25. Empleo de la viga Benkelman*

Fuente: Elaboración propia

e) Vehículo de carga: Este equipo será usado para la ejecución del ensayo de deflexión, dicho vehículo estará cargado con un peso total de 80 KN (18000/lbf), y cuyas llantas estarán infladas a 480 a 550 kpa. El cual en su parte trasera deberá llevar la viga Benkelman, el que irá midiendo la deflexión del pavimento.



*Figura 26. Vehículo de carga para ensayo de viga Benkelman*

Fuente: Elaboración propia

f) Termómetro: Instrumento que varía de 0° a 100°C con divisiones cada grado.

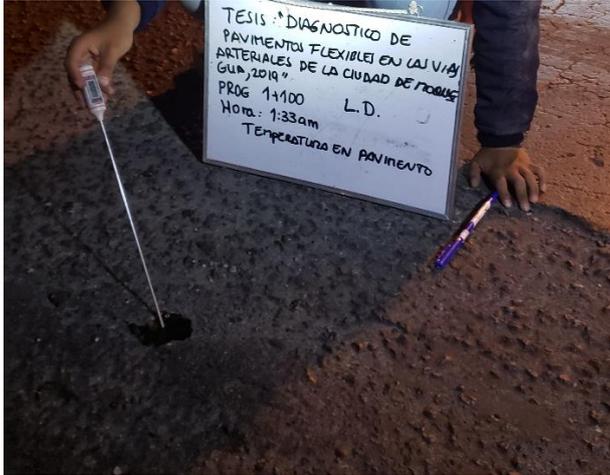


Figura 27. Termómetro utilizado para el pavimento

Fuente: Elaboración propia

g) Barreno: Útil para realizar orificios en el pavimento de 40 mm de profundidad y 10 mm de diámetro.



Figura 28. Instrumentos utilizados para el desarrollo de la investigación

Fuente: Elaboración propia

h) Cronómetro: Se utilizará para medir el tiempo.

i) Cinta métrica: Necesario para la toma de medidas.

- j) Regla de medición: Equipo necesario, cuya forma de plancha delgada y rectangular, rígida, podrá ser útil para medir profundidades y longitudes, en algunas fallas presentes.



*Figura 29.* Flexómetro y cinta métrica utilizados para la medición.

Fuente: Elaboración propia

- k) Plano de distribución: Plano que ayudará a una mejor ubicación, y repartición de las unidades que se estudiarán y se tomarán en cuenta de la avenida Ejército.
- l) Chalecos de Seguridad: Equipo de protección personal utilizado en este caso para lugares donde circulan vehículos que ayudarán a mejorar la seguridad, y contrarrestar accidentes.
- m) Conos de Seguridad Vial: Conos de plásticos de colores brillantes que se usarán para delimitar las zonas de estudio y avisar a los conductores de estas zonas y evitar accidentes y congestión vehicular.



*Figura 30.* Instrumentos de seguridad

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1. Presentación de resultados**

##### **4.1.1. Resultado del estudio de tráfico**

Para evaluar la vía arterial de muestra, se realizó un conteo vehicular las 24 horas durante 7 días, necesario para conocer el estado de tráfico vehicular, es decir cuantificar, clasificar y comprender el volumen de los vehículos que transitan actualmente por la vía. Obteniendo los siguientes cuadros resumen del resultado de los tramos que conforman la vía:

**Tabla 23**

Cuadro resumen de conteo vehicular del tramo I

<b>TIPO DE VEHÍCULO</b>	<b>LUNES</b>	<b>MARTES</b>	<b>MIÉRCOLES</b>	<b>JUEVES</b>	<b>VIERNES</b>	<b>SÁBADO</b>	<b>DOMINGO</b>	<b>TOTAL</b>
<i>AUTOS</i>	7 922	6 090	6 288	6 938	7 726	6 435	6 237	47 636
<i>PICK UP</i>	1 232	689	799	942	1 893	716	717	6 988
<i>COMBIS</i>	2 211	1 470	1 709	1 706	2 091	1 793	1 310	12 290
<i>MICROS</i>	48	33	42	35	29	35	30	252
<i>BUSES 2E</i>	55	50	37	42	30	22	38	274
<i>BUSES 3E</i>	106	82	81	82	68	71	80	570
<i>CAMIÓN 2E</i>	239	178	180	236	155	186	124	12 98
<i>CAMIÓN 3E</i>	25	13	22	16	8	18	12	114
<i>CAMIÓN 4E</i>	1	0	1	3	3	3	7	18
<i>SEMI TRAYLER 2S2</i>	2	4	5	3	4	2	1	21
<i>SEMI TRAYLER 2S3</i>	3	3	1	5	8	5	2	27
<i>SEMI TRAYLER 3S1/3S2</i>	3	2	0	0	1	1	0	7
<i>SEMI TRAYLER 3S3</i>	4	1	6	1	5	6	4	27
<i>TRAYLER 3T3</i>	0	0	0	2	0	1	2	5
<b>TOTAL</b>	<b>11 851</b>	<b>8 615</b>	<b>9 171</b>	<b>10 011</b>	<b>12 021</b>	<b>9 294</b>	<b>8 564</b>	<b>69 527</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 24**

Cuadro resumen de conteo vehicular del tramo II

<b>TIPO DE VEHÍCULO</b>	<b>LUNES</b>	<b>MARTES</b>	<b>MIÉRCOLES</b>	<b>JUEVES</b>	<b>VIERNES</b>	<b>SÁBADO</b>	<b>DOMINGO</b>	<b>TOTAL</b>
<i>AUTOS</i>	8 481	7 135	7 785	8 256	8 494	8 025	7 567	55 743
<i>PICK UP</i>	1 204	909	1 185	1 336	2 150	997	682	8 463
<i>COMBIS</i>	2 421	1 622	2 121	2 147	2 370	2 096	1 407	14 184
<i>MICROS</i>	54	27	32	27	36	40	32	248
<i>BUSES 2E</i>	55	47	52	30	27	27	33	271
<i>BUSES 3E</i>	108	85	90	80	28	60	66	517
<i>CAMIÓN 2E</i>	251	187	208	233	180	174	122	1 355
<i>CAMIÓN 3E</i>	18	18	26	25	21	19	7	134
<i>CAMIÓN 4E</i>	4	1	2	3	4	3	2	19
<i>SEMI TRAYLER 2S2</i>	4	4	2	4	5	1	1	21
<i>SEMI TRAYLER 2S3</i>	6	2	1	4	8	5	2	28
<i>SEMI TRAYLER 3S1/3S2</i>	3	1	0	2	2	1	1	10
<i>SEMI TRAYLER 3S3</i>	6	5	7	6	7	3	3	37
<i>TRAYLER 3T3</i>	2	0	0	1	0	2	1	6
<b>TOTAL</b>	<b>12 617</b>	<b>10 043</b>	<b>11 511</b>	<b>12 154</b>	<b>13 332</b>	<b>11 453</b>	<b>9 926</b>	<b>81 036</b>

Fuente: Elaboración propia

Además, como se observa en las siguientes tablas y gráficos, también se tuvo en cuenta la clasificación de vehículos livianos y pesados, pues estos últimos son los que originan daño al pavimento.

**Tabla 25**

Volumen según tipos de vehículos del tramo I

<i>TIPO DE VEHÍCULO</i>	<i>LUNES</i>	<i>MARTES</i>	<i>MIÉRCOLES</i>	<i>JUEVES</i>	<i>VIERNES</i>	<i>SÁBADO</i>	<i>DOMINGO</i>	<i>TOTAL</i>
<b>VEHÍCULOS LIVIANOS</b>	11 413	8 282	8 838	9 621	11 739	8 979	8 294	67 166
<b>VEHÍCULOS PESADOS</b>	438	333	333	390	282	315	270	2 361
<b>TOTAL</b>	<b>11 851</b>	<b>8 615</b>	<b>9 171</b>	<b>10 011</b>	<b>12 021</b>	<b>9 294</b>	<b>8 564</b>	<b>69 527</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 26**

Volumen según tipos de vehículos del tramo II

<i>TIPO DE VEHÍCULO</i>	<i>LUNES</i>	<i>MARTES</i>	<i>MIÉRCOLES</i>	<i>JUEVES</i>	<i>VIERNES</i>	<i>SÁBADO</i>	<i>DOMINGO</i>	<i>TOTAL</i>
<b>VEHÍCULOS LIVIANOS</b>	12 160	9 693	11 123	11 766	13 050	11 158	9 688	78 638
<b>VEHÍCULOS PESADOS</b>	457	350	388	388	282	295	238	2 398
<b>TOTAL</b>	<b>12 617</b>	<b>10 043</b>	<b>11 511</b>	<b>12 154</b>	<b>13 332</b>	<b>11 453</b>	<b>9 926</b>	<b>81 036</b>

Fuente: Elaboración propia

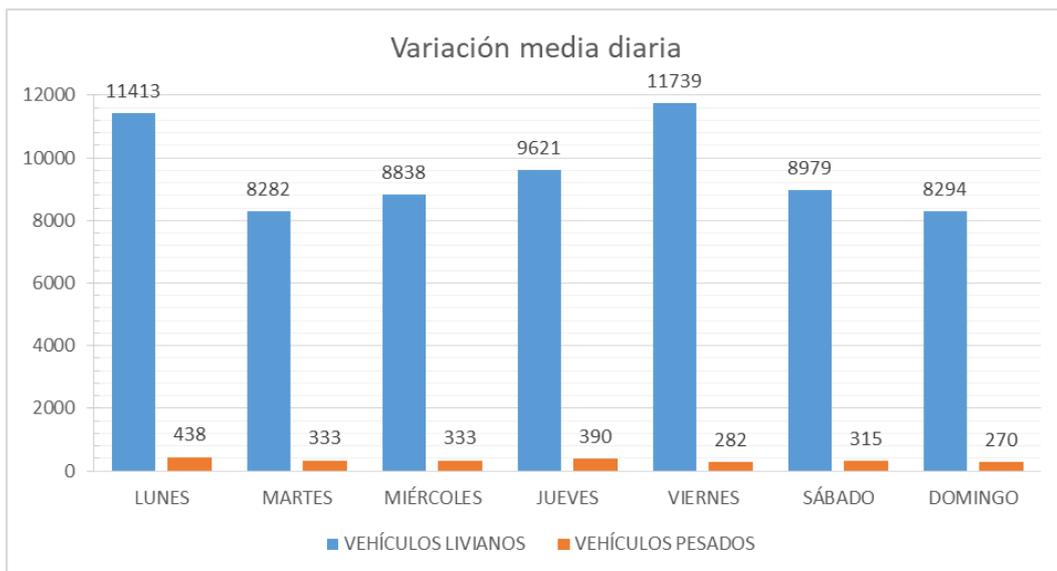


Figura 31. Variación media diaria de vehículos livianos y pesados – tramo I

Fuente: Elaboración propia.

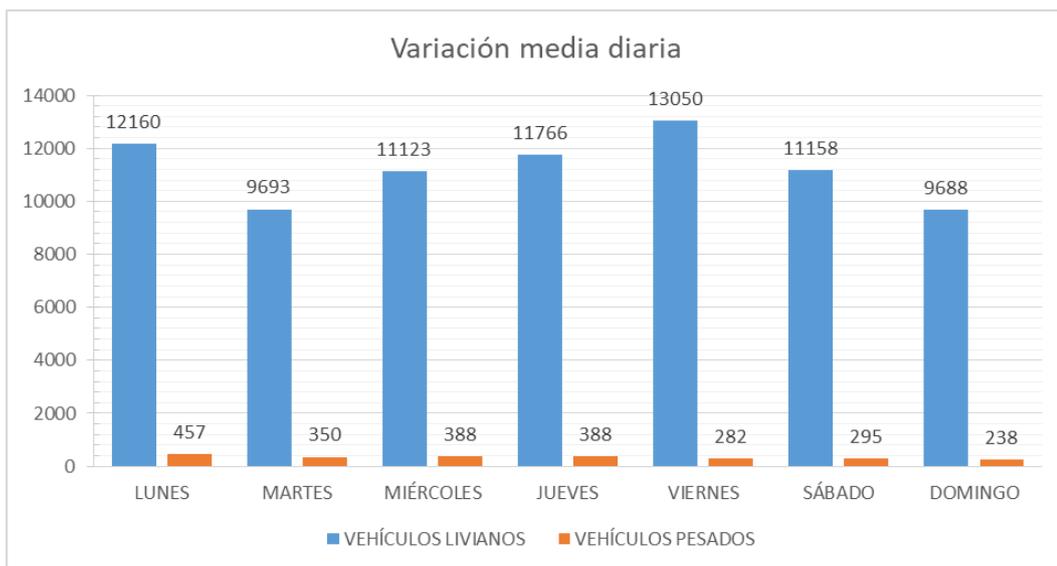


Figura 32. Variación media diaria de vehículos livianos y pesados – tramo II

Fuente: Elaboración propia.

- Tránsito promedio diario semanal. O índice medio diario semanal, es el registro total del tránsito, dividido entre los siete días del conteo vehicular realizado:

**Tabla 27**

Tránsito promedio diario semanal del tramo I y tramo II

Este - Oeste (Salida)			Oeste - Este (Entrada)		
Nro	Días	Tráfico	Nro	Días	Tráfico
1	Lunes	11 851	1	Lunes	12 617
2	Martes	8 615	2	Martes	10 043
3	Miércoles	9 171	3	Miércoles	11 511
4	Jueves	10 011	4	Jueves	12 154
5	Viernes	12 021	5	Viernes	13 332
6	Sábado	9 294	6	Sábado	11 453
7	Domingo	8 564	7	Domingo	9 926
<b>TOTAL</b>		<b>69 527</b>	<b>TOTAL</b>		<b>81 036</b>
<b>TMDS</b>		<b>9 932</b>	<b>TMDS</b>		<b>11 577</b>

Fuente: Elaboración propia

- Tránsito promedio diario anual o índice medio diario anual, el cual se estimará en base a la media muestral del tránsito promedio diario semanal, según la ecuación (2), (3), (4) y (5).

Cálculo de la desviación estándar (S) del tramo I y II:

$$S_I = \sqrt{\frac{12\,644\,799,7}{7-1}} = 1\,452 \frac{veh}{día} \quad S_{II} = \sqrt{\frac{9\,593\,241,71}{7-1}} = 1\,264 \frac{veh}{día}$$

Cálculo de la desviación estándar poblacional estimada  $\sigma$ :

$$\sigma_I = \frac{1\,452}{\sqrt{7}} \left( \sqrt{\frac{365-7}{365-1}} \right) = 544,15 \quad \sigma_{II} = \frac{1\,264}{\sqrt{7}} \left( \sqrt{\frac{365-7}{365-1}} \right) = 473,97$$

Cálculo del tránsito promedio diario anual (TPDA):

$$TPDA_I = 9\,932 \pm 1.96 \times 544.15 \quad TPDA_{II} = 11\,577 \pm 1.96 \times 473.97$$

$$TPDA(+)= 10\,999 \frac{veh}{día}$$

$$TPDA(+)= 12\,506 \frac{veh}{día}$$

$$TPDA(-)= 8\,866 \frac{veh}{día}$$

$$TPDA(-)= 10\,648 \frac{veh}{día}$$

**Tabla 28**

Tránsito promedio diario anual del tramo I y tramo II

<b>Este - Oeste (Salida)</b>			<b>Oeste - Este (Entrada)</b>		
<b>Nro</b>	<b>Días</b>	<b>Tráfico</b>	<b>Nro</b>	<b>Días</b>	<b>Tráfico</b>
1	Lunes	11 851	1	Lunes	12 617
2	Martes	8 615	2	Martes	10 043
3	Miércoles	9 171	3	Miércoles	11 511
4	Jueves	10 011	4	Jueves	12 154
5	Viernes	12 021	5	Viernes	13 332
6	Sábado	9 294	6	Sábado	11 453
7	Domingo	8 564	7	Domingo	9 926
<b>TOTAL</b>		<b>69 527</b>	<b>TOTAL</b>		<b>81 036</b>
<b>TMDS</b>		<b>9 932</b>	<b>TMDS</b>		<b>11 577</b>
<b>n</b>		<b>7</b>	<b>n</b>		<b>7</b>
<b>N</b>		<b>365</b>	<b>N</b>		<b>365</b>
<b>S</b>		<b>1 452</b>	<b>S</b>		<b>1 264</b>
<b>δ</b>		<b>544,15</b>	<b>δ</b>		<b>473,97</b>
<b>K</b>		<b>1,96</b>	<b>K</b>		<b>1,96</b>
<b>TMDA</b>		<b>10 999</b>	<b>TMDA</b>		<b>12 506</b>
		<b>8 866</b>			<b>10 648</b>

Fuente: Elaboración propia

- Tasa de crecimiento. El volumen del tránsito futuro puede ser evaluado según su evolución histórica, como se observa en la figura (9), esto para estimar la tasa anual de crecimiento de tránsito, necesaria para los estudios, en este caso en la etapa de funcionamiento de la vía.

**Tabla 29**

Cálculos para la obtención de los coeficientes parciales

<b>AÑO</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>X<sup>2</sup></b>	<b>LOG(Y)</b>	<b>X LOG(Y)</b>	<b>(LOG(Y))<sup>2</sup></b>
2010	0	13 348	0	4,125	0,000	17,019
2011	1	14 003	1	4,146	4,146	17,191
2012	2	14 608	4	4,165	8,329	17,344
2013	3	14 944	9	4,174	12,523	17,426
2014	4	14 979	16	4,175	16,702	17,435
2015	5	14 931	25	4,174	20,870	17,423
2016	6	14 931	36	4,174	25,045	17,423
2017	7	14 887	49	4,173	29,210	17,412
2018	8	14 810	64	4,171	33,364	17,394
<b>Σ</b>	<b>36</b>	<b>131 441</b>	<b>204</b>	<b>37,48</b>	<b>150,190</b>	<b>156,067</b>

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados anteriores, se procede a analizar los datos según el modelo de proyección exponencial, pues este tiene una mayor correlación con los valores de tránsito.

Coeficientes parciales:

$$\text{Log } b = \frac{10 \times 150,190 - (37,48 \times 36)}{(10 \times 204,00) - (36)^2}$$

$$b = \text{antilog } (0,0046)$$

$$b = 1,0106$$

$$\text{Log } a = \frac{37,48 - (1,0106 \times 36)}{10}$$

$$a = \text{antilog } (3,7310)$$

$$a = 1\,020,7042$$

Entonces la ecuación exponencial será:

$$Y = ab^x = (1020,7042) (1,0106)^x$$

Por último, para obtener la tasa de crecimiento, con la ecuación de ajuste calculamos:

$$Y = ab^x = (1\,020,7042) (1,0106)^x$$

Por lo tanto:

$$(1 + r) = 1,0106$$

$$r = 1,0106 - 1 = 0,0106$$

$$r = 1,06 \%$$

- Factor de crecimiento. El cual se halló basado en la tasa de crecimiento:

$$Fca = \frac{(1 + 0,0106)^{10} - 1}{0,0106} = 10,49$$

- Determinación del ESAL. Al conocer el volumen de vehículos y tener el promedio anual aproximado, además de contar con el factor direccional y de carril según la figura (10), y los ejes equivalentes para cada tipo de vehículo (ef) asimismo con el factor de crecimiento, se podrá calcular el ESAL para el tramo correspondiente, en este caso solo consideramos solo el tramo II por ser de mayor volumen y obtener un número ESAL superior.

**Tabla 30**

Resumen de la determinación del ESAL

<b>ESAL</b>							
<b>Tipo de Vehículo</b>	<b>Ef</b>	<b>TPDA</b>	<b>365</b>	<b>fd</b>	<b>fc</b>	<b>fea</b>	<b>ESAL</b>
AUTO	0,00021	8 594	365	1	0,80	10,49	5591,411
CAMIONETA	0,00301	1 305	365	1	0,80	10,49	12031,772
COMBI	0,00405	2 187	365	1	0,80	10,49	27123,310
MICROBUS	0,22444	38	365	1	0,80	10,49	26286,754
BUS (2E)	4,50365	42	365	1	0,80	10,49	576383,920
BUS (3E)	2,63131	80	365	1	0,80	10,49	642451,502
C2	4,50365	209	365	1	0,80	10,49	2881919,598
C3	3,28458	21	365	1	0,80	10,49	207855,846
C4	2,77355	3	365	1	0,80	10,49	24886,695
SEMI TRAYLER 2S2	6,52287	3	365	1	0,80	10,49	64689,740
SEMI TRAYLER 2S3	6,20968	4	365	1	0,80	10,49	82111,659
SEMI TRAYLER 3S1/3S2	6,52287	2	365	1	0,80	10,49	30804,638
SEMI TRAYLER 3S3	4,99061	6	365	1	0,80	10,49	87203,240
Trayler 3T3	8,54208	1	365	1	0,80	10,49	24204,298
							4693544,383
							$\Sigma_{ESAL}$
							4,694E+06

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2. Resultados de la aplicación del método del PCI

Para la evaluación según el método PCI se tomó en cuenta los resultados de ambos tramos de la vía, mostrando las secciones, el valor de PCI y la clasificación de cada tramo como se presenta a continuación:

- Resultados del método PCI para tramo I. De acuerdo a nuestro ancho de calzada, la longitud de muestra por analizar es de 35 m, por lo que el tramo I posee un total de 32 unidades de muestra, y según los criterios del método PCI, la vía

puede dividirse en distintas secciones, en este caso, según el criterio del estado del pavimento, el tramo I se dividió en 3 secciones.

**Tabla 31**

Evaluación del pavimento mediante el PCI – Tramo I

<b>Evaluación de pavimentos mediante el PCI - Tramo I</b>						
<b>Nro</b>	<b>Sección</b>	<b>Prog. Inicial</b>	<b>Prog. Final</b>	<b>Área</b>	<b>PCI</b>	<b>Clasificación</b>
UM 1	Sección 1	0+000	0+035	227,500	37,500	<b>MALO</b>
UM 2	Sección 1	0+035	0+070	227,500	73,700	<b>BUENO</b>
UM 3	Sección 1	0+070	0+105	227,500	35,400	<b>MALO</b>
UM 4	Sección 1	0+105	0+140	227,500	61,900	<b>BUENO</b>
UM 5	Sección 1	0+140	0+175	227,500	68,000	<b>BUENO</b>
UM 6	Sección 1	0+175	0+210	227,500	78,500	<b>MUY BUENO</b>
UM 7	Sección 1	0+210	0+245	227,500	64,050	<b>BUENO</b>
UM 8	Sección 1	0+245	0+280	227,500	27,000	<b>MALO</b>
UM 9	Sección 1	0+280	0+315	227,500	72,500	<b>MUY BUENO</b>
UM 10	Sección 1	0+315	0+350	227,500	43,900	<b>REGULAR</b>
UM 11	Sección 1	0+350	0+385	227,500	53,000	<b>REGULAR</b>
UM 12	Sección 1	0+385	0+420	227,500	90,500	<b>EXCELENTE</b>
UM 13	Sección 2	0+420	0+455	227,500	91,000	<b>EXCELENTE</b>
UM 14	Sección 2	0+455	0+490	227,500	91,000	<b>EXCELENTE</b>
UM 15	Sección 2	0+490	0+525	227,500	91,000	<b>EXCELENTE</b>
UM 16	Sección 2	0+525	0+560	227,500	70,500	<b>MUY BUENO</b>
UM 17	Sección 2	0+560	0+595	227,500	85,000	<b>MUY BUENO</b>
UM 18	Sección 2	0+595	0+630	227,500	87,500	<b>EXCELENTE</b>
UM 19	Sección 2	0+630	0+665	227,500	88,500	<b>EXCELENTE</b>
UM 20	Sección 2	0+665	0+700	227,500	87,000	<b>EXCELENTE</b>
UM 21	Sección 2	0+700	0+735	227,500	68,500	<b>BUENO</b>
UM 22	Sección 2	0+735	0+770	227,500	80,200	<b>MUY BUENO</b>
UM 23	Sección 2	0+770	0+805	227,500	70,500	<b>MUY BUENO</b>
UM 24	Sección 3	0+805	0+840	227,500	82,500	<b>MUY BUENO</b>
UM 25	Sección 3	0+840	0+875	227,500	34,000	<b>MALO</b>
UM 26	Sección 3	0+875	0+910	227,500	64,000	<b>BUENO</b>
UM 27	Sección 3	0+910	0+945	227,500	70,850	<b>MUY BUENO</b>
UM 28	Sección 3	0+945	0+980	227,500	73,000	<b>MUY BUENO</b>
UM 29	Sección 3	0+980	1+015	227,500	72,900	<b>MUY BUENO</b>
UM 30	Sección 3	1+015	1+050	227,500	57,000	<b>REGULAR</b>
UM 31	Sección 3	1+050	1+085	227,500	71,700	<b>MUY BUENO</b>

UM 32	Sección 3	1+085	1+125	227,500	66,000	<b>BUENO</b>
-------	-----------	-------	-------	---------	--------	--------------

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 32**

Resumen de los resultados PCI del tramo I

<b>Resultados de la metodología PCI - Tramo I</b>				
<b>Muestra</b>	<b>Prog. Inicial</b>	<b>Prog. Final</b>	<b>PCI</b>	<b>Clasificación</b>
Sección 1	0+000	0+420	58,829	<b>BUENO</b>
Sección 2	0+420	0+805	82,791	<b>MUY BUENO</b>
Sección 3	0+805	1+125	65,772	<b>BUENO</b>
<b>Promedio PCI - Tramo I</b>			<b>69,321</b>	<b>BUENO</b>

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se presentan los gráficos de la distribución de los tipos de fallas comprendidos en el tramo I, los cuales estarán bajo los indicadores del PCI, como son su grado de severidad y la cantidad de muestra según la unidad especificada para cada tipo:

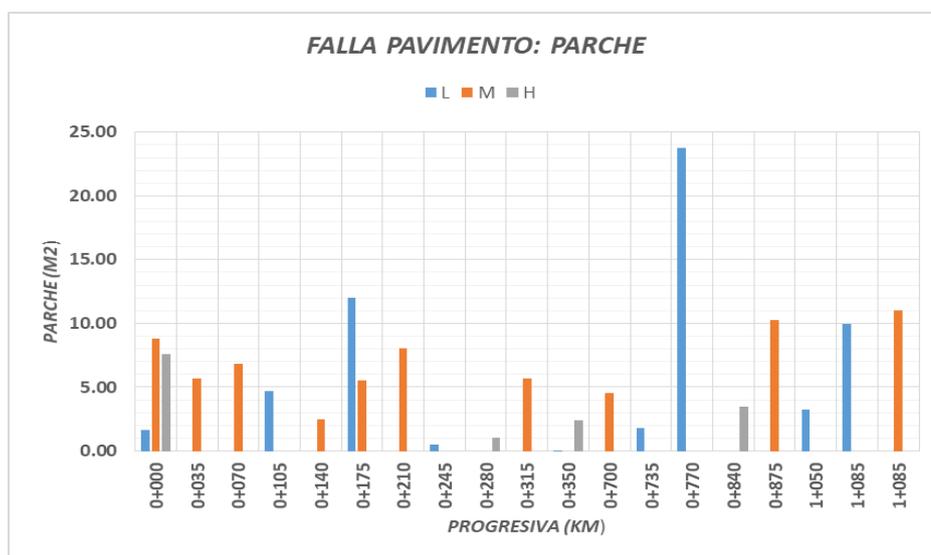


Figura 33. Distribución de fallas: Parche – tramo I

Fuente: Elaboración propia.

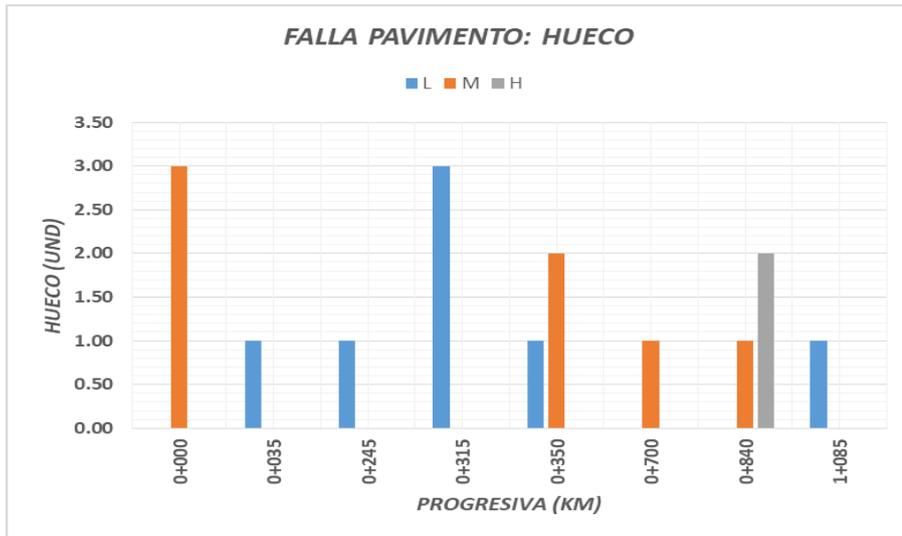


Figura 34. Distribución de fallas: Huevo – tramo I

Fuente: Elaboración propia.

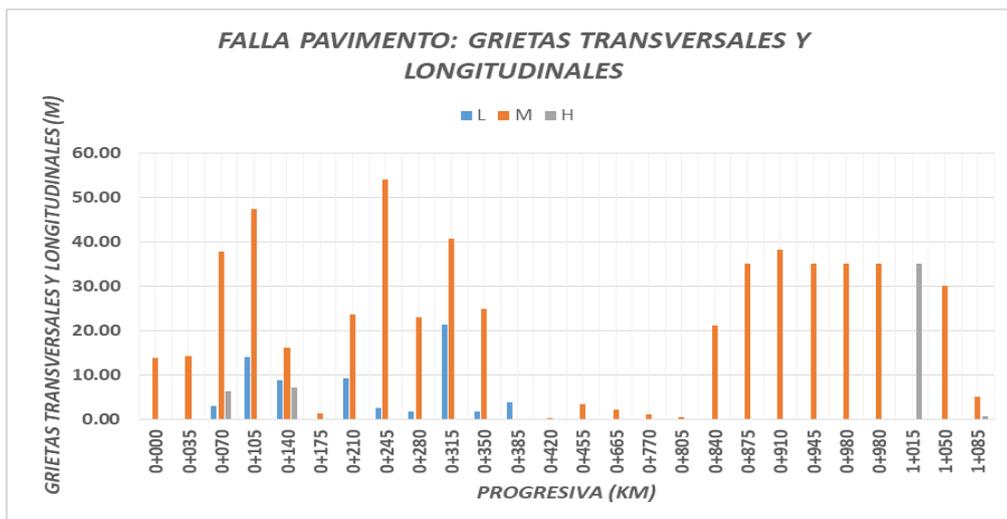


Figura 35. Distribución de fallas: Grietas Transversales y Longitudinales – tramo I

Fuente: Elaboración propia.

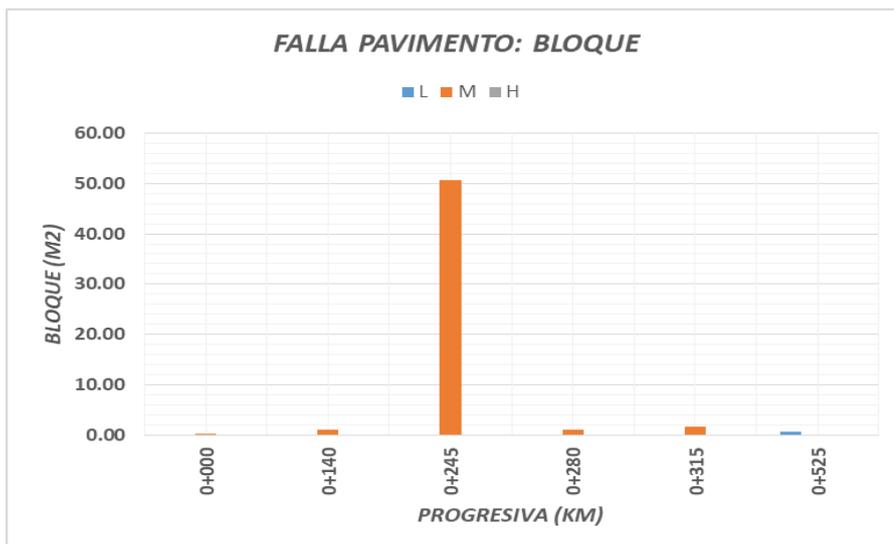


Figura 36. Distribución de fallas: Bloque – tramo I

Fuente: Elaboración propia.

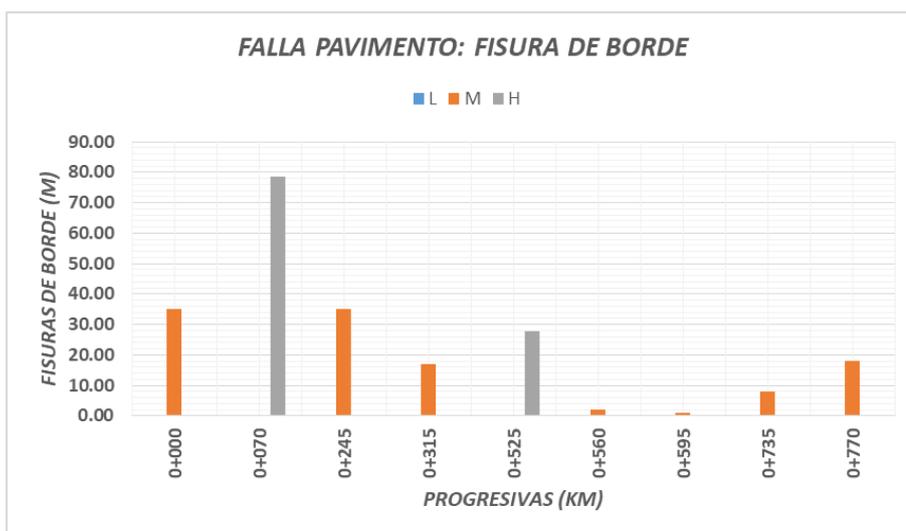


Figura 37. Distribución de fallas: Fisura de borde – tramo I

Fuente: Elaboración propia.

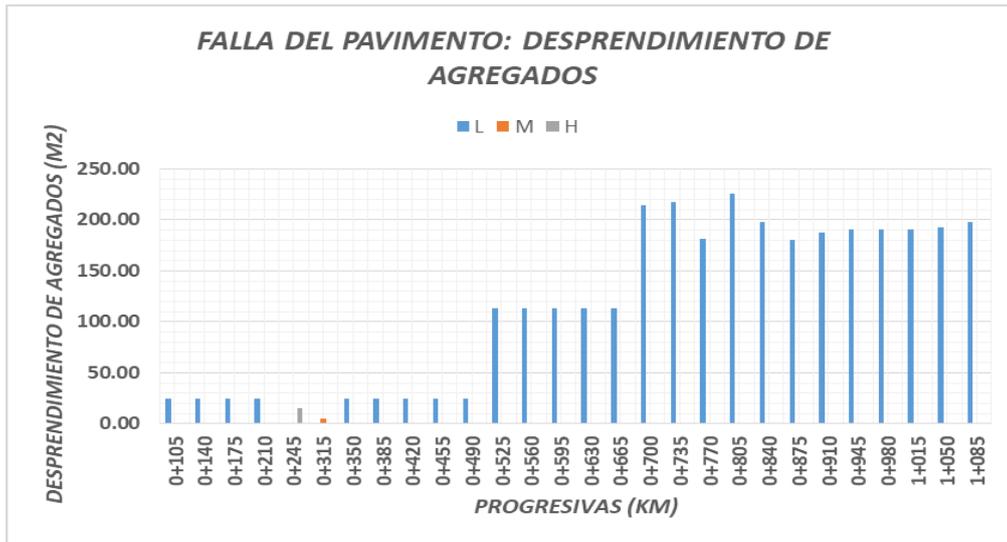


Figura 38. Distribución de fallas: Desprendimiento de agregados – tramo I  
Fuente: Elaboración propia.

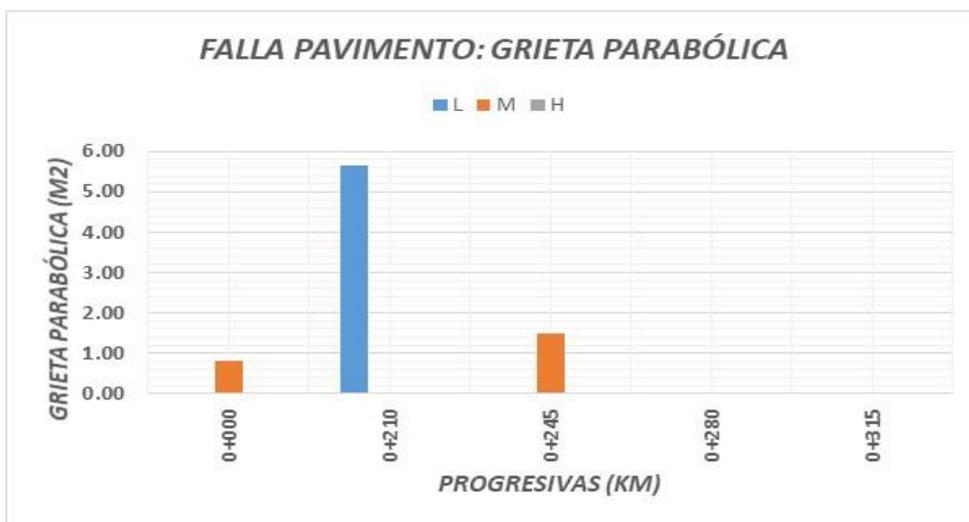


Figura 39. Distribución de fallas: Grieta parabólica – tramo I  
Fuente: Elaboración propia.

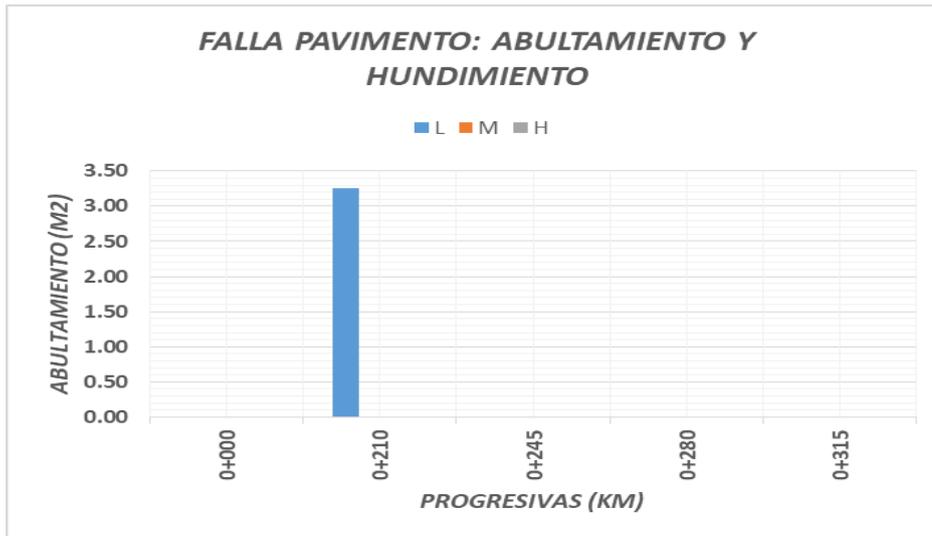


Figura 40. Distribución de fallas: Abultamiento y hundimiento – tramo I  
Fuente: Elaboración propia.

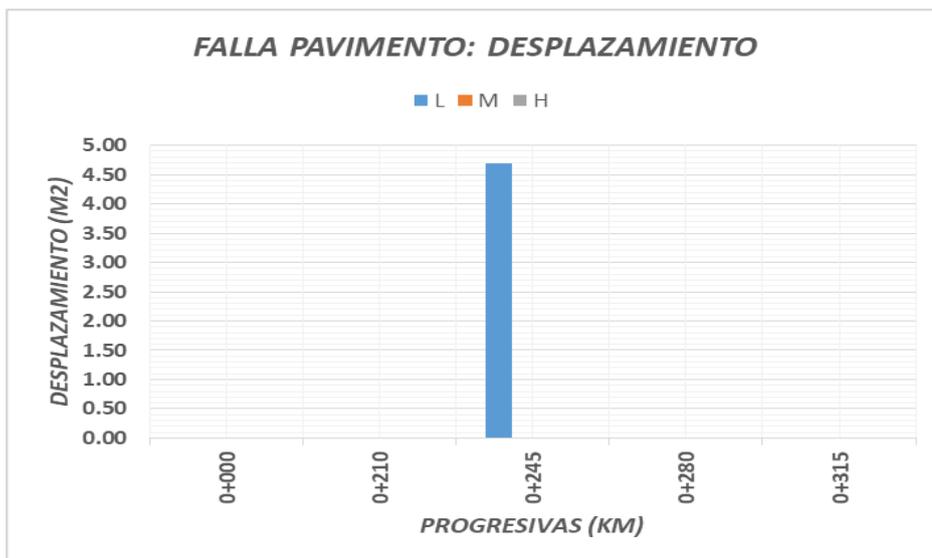


Figura 41. Distribución de fallas: Desplazamiento – tramo I  
Fuente: Elaboración propia.

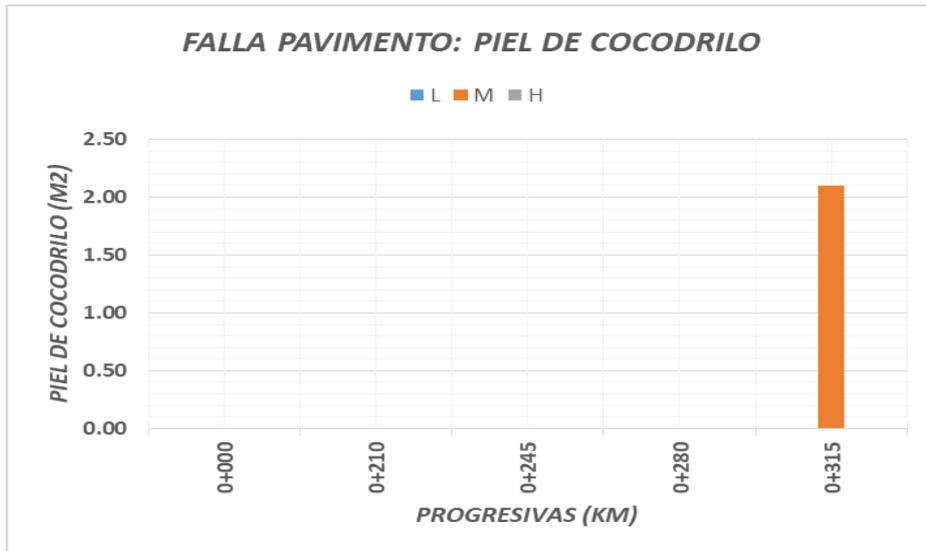


Figura 42. Distribución de fallas: Piel de cocodrilo – tramo I

Fuente: Elaboración propia.

Para esta evaluación al realizar la auscultación del pavimento, y aplicar la metodología PCI, se puede observar que la falla con mayor frecuencia en el tramo I es la del tipo de agrietamiento transversal y longitudinal con una severidad media (M), seguido de desprendimiento de agregados con un grado leve (L) y los parches con una variación de severidad entre leve (L) y medio (M). Este tipo de fallas puede ser debido a los cambios térmicos, originando un envejecimiento del ligante ocasionando este tipo de daños en el pavimento. Además, al concluir con la obtención del índice de condición, se califica al pavimento como “bueno” con un promedio de 69,321.

- Resultados del método PCI para tramo II. Al igual que el tramo I, según la relación ancho-longitud, se dividió en 32 unidades de muestra, las cuales están agrupadas en 4 secciones de acuerdo al estado del pavimento.

**Tabla 33**

Evaluación del pavimento mediante el PCI – Tramo II

<b>Evaluación de pavimentos mediante el PCI - Tramo II</b>						
<b>Nro</b>	<b>Sección</b>	<b>Prog. Inicial</b>	<b>Prog. Final</b>	<b>Área</b>	<b>PCI</b>	<b>Clasificación</b>
UM 1	Sección 1	0+000	0+035	227,50	17,000	<b>MUY MALO</b>
UM 2	Sección 1	0+035	0+070	227,50	55,000	<b>REGULAR</b>
UM 3	Sección 1	0+070	0+105	227,50	55,500	<b>BUENO</b>
UM 4	Sección 1	0+105	0+140	227,50	67,000	<b>BUENO</b>
UM 5	Sección 1	0+140	0+175	227,50	60,200	<b>BUENO</b>
UM 6	Sección 1	0+175	0+210	227,50	52,000	<b>REGULAR</b>
UM 7	Sección 1	0+210	0+245	227,50	59,500	<b>BUENO</b>
UM 8	Sección 1	0+245	0+280	227,50	72,500	<b>MUY BUENO</b>
UM 9	Sección 1	0+280	0+315	227,50	80,100	<b>MUY BUENO</b>
UM 10	Sección 2	0+315	0+350	227,50	81,500	<b>MUY BUENO</b>
UM 11	Sección 2	0+350	0+385	227,50	78,300	<b>MUY BUENO</b>
UM 12	Sección 2	0+385	0+420	227,50	80,000	<b>MUY BUENO</b>
UM 13	Sección 2	0+420	0+455	227,50	79,100	<b>MUY BUENO</b>
UM 14	Sección 2	0+455	0+490	227,50	82,050	<b>MUY BUENO</b>
UM 15	Sección 3	0+490	0+525	227,50	83,500	<b>MUY BUENO</b>
UM 16	Sección 3	0+525	0+560	227,50	86,050	<b>EXCELENTE</b>
UM 17	Sección 3	0+560	0+595	227,50	48,600	<b>REGULAR</b>
UM 18	Sección 3	0+595	0+630	227,50	33,800	<b>MALO</b>
UM 19	Sección 3	0+630	0+665	227,50	48,700	<b>REGULAR</b>
UM 20	Sección 3	0+665	0+700	227,50	72,200	<b>MUY BUENO</b>
UM 21	Sección 3	0+700	0+735	227,50	85,800	<b>EXCELENTE</b>
UM 22	Sección 3	0+735	0+770	227,50	55,800	<b>BUENO</b>
UM 23	Sección 4	0+770	0+805	227,50	57,900	<b>BUENO</b>
UM 24	Sección 4	0+805	0+840	227,50	59,700	<b>BUENO</b>
UM 25	Sección 4	0+840	0+875	227,50	52,400	<b>REGULAR</b>
UM 26	Sección 4	0+875	0+910	227,50	65,700	<b>BUENO</b>
UM 27	Sección 4	0+910	0+945	227,50	73,100	<b>MUY BUENO</b>
UM 28	Sección 4	0+945	0+980	227,50	70,400	<b>MUY BUENO</b>
UM 29	Sección 4	0+980	1+015	227,50	67,900	<b>BUENO</b>
UM 30	Sección 4	1+015	1+050	227,50	81,800	<b>MUY BUENO</b>
UM 31	Sección 4	1+050	1+085	227,50	42,800	<b>REGULAR</b>
UM 32	Sección 4	1+085	1+125	227,50	68,500	<b>BUENO</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 34**

Resumen de los resultados PCI del tramo I

<b>Resultados de la metodología PCI - Tramo II</b>				
<b>Muestra</b>	<b>Prog. Inicial</b>	<b>Prog. Final</b>	<b>PCI</b>	<b>Clasificación</b>
Sección 1	0+000	0+315	57,644	<b>BUENO</b>
Sección 2	0+315	0+490	80,190	<b>MUY BUENO</b>
Sección 3	0+490	0+770	64,306	<b>BUENO</b>
Sección 4	0+770	1+125	64,020	<b>BUENO</b>
<b>Promedio PCI - Tramo II</b>			<b>64,825</b>	<b>BUENO</b>

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se presentan los gráficos de la distribución de los tipos de fallas comprendidos en el tramo II, los cuales estarán bajo los indicadores del PCI, como son su grado de severidad y la cantidad de muestra según la unidad especificada para cada tipo:

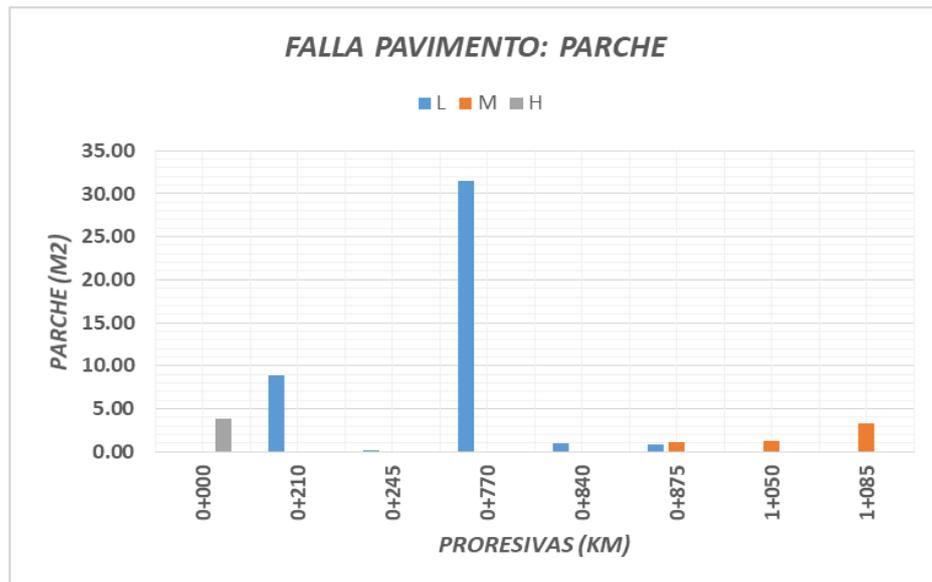


Figura 43. Distribución de fallas: Parche – tramo II

Fuente: Elaboración propia.

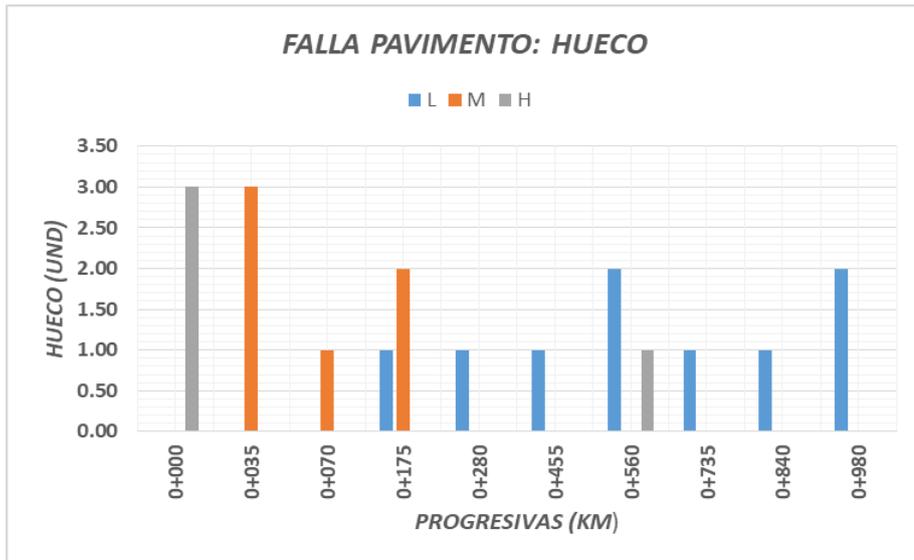


Figura 44. Distribución de fallas: Hueco – tramo II

Fuente: Elaboración propia.

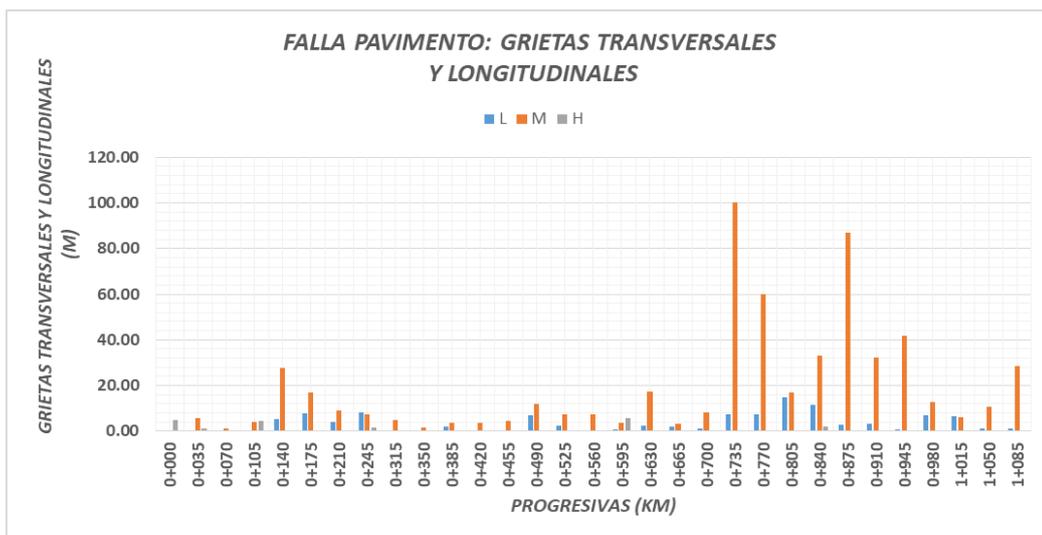


Figura 45. Distribución de fallas: Grietas transversales y longitudinales – tramo II

Fuente: Elaboración propia.

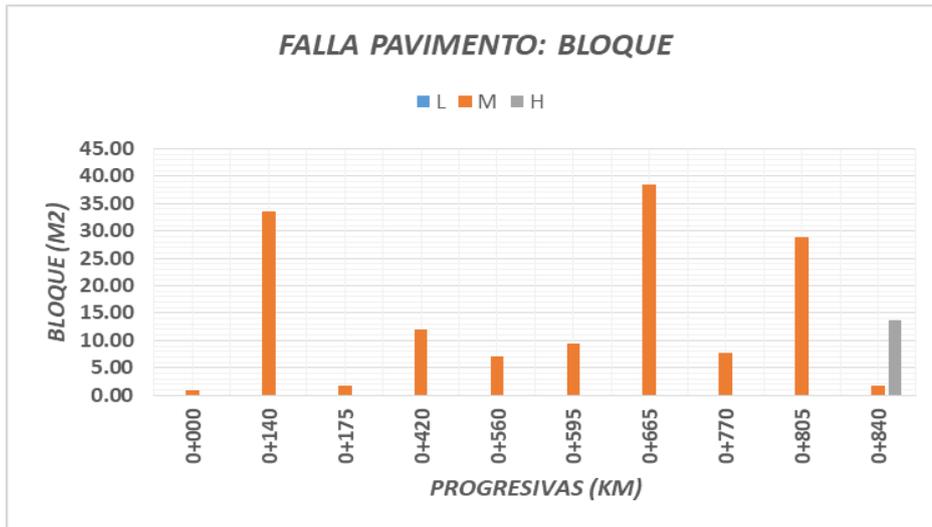


Figura 46. Distribución de fallas: Bloque – tramo II

Fuente: Elaboración propia.

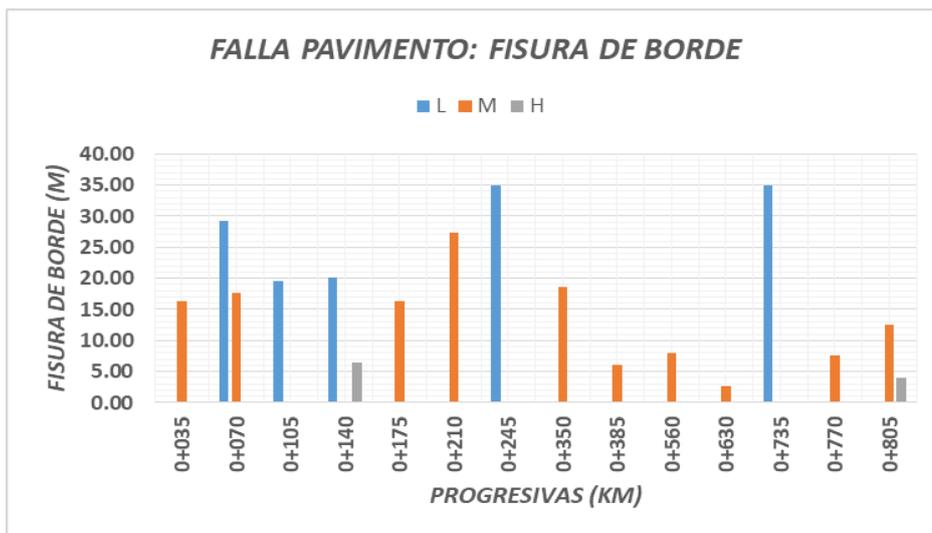


Figura 47. Distribución de fallas: Fisura de borde – tramo II

Fuente: Elaboración propia.

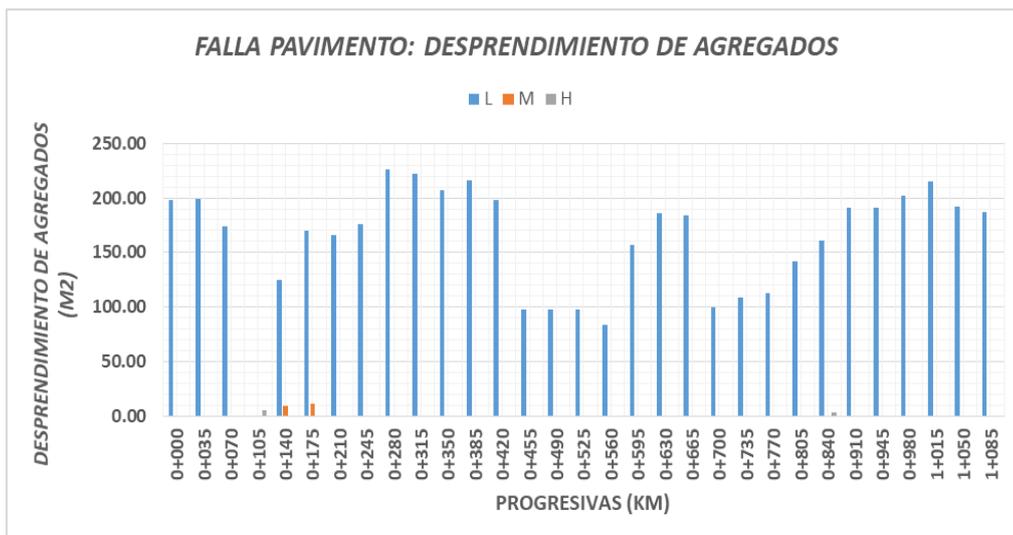


Figura 48. Distribución de fallas: Desprendimiento de agregados – tramo II

Fuente: Elaboración propia.

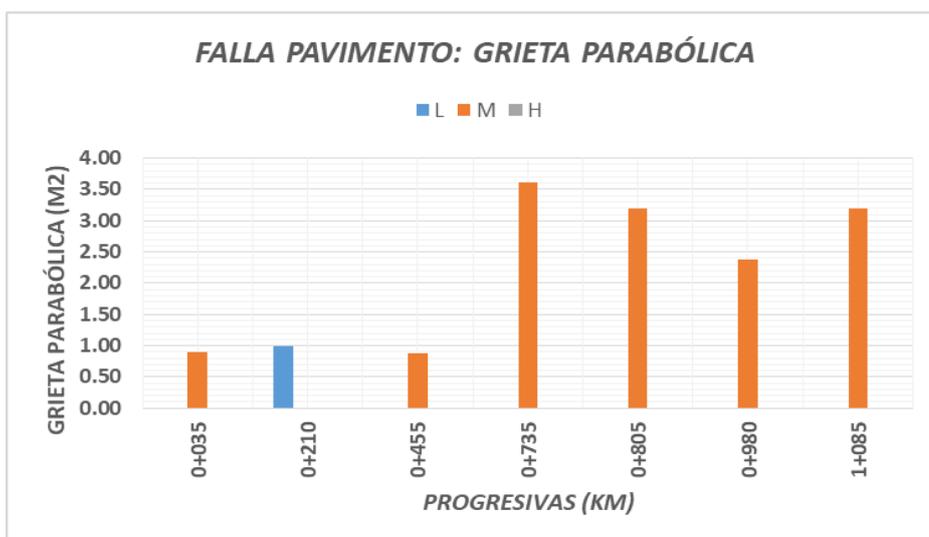


Figura 49. Distribución de fallas: Grieta parabólica – tramo II

Fuente: Elaboración propia.

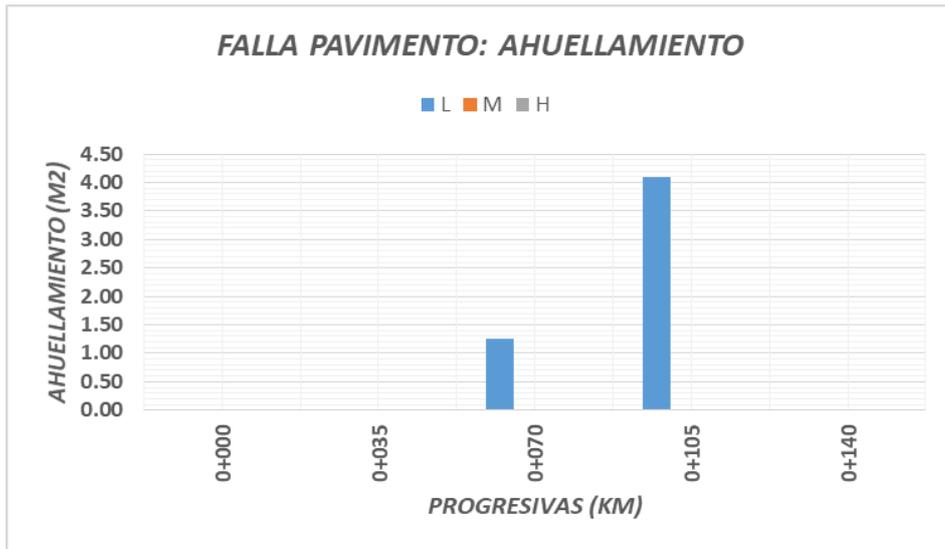


Figura 50. Distribución de fallas: Ahuellamiento – tramo II

Fuente: Elaboración propia.

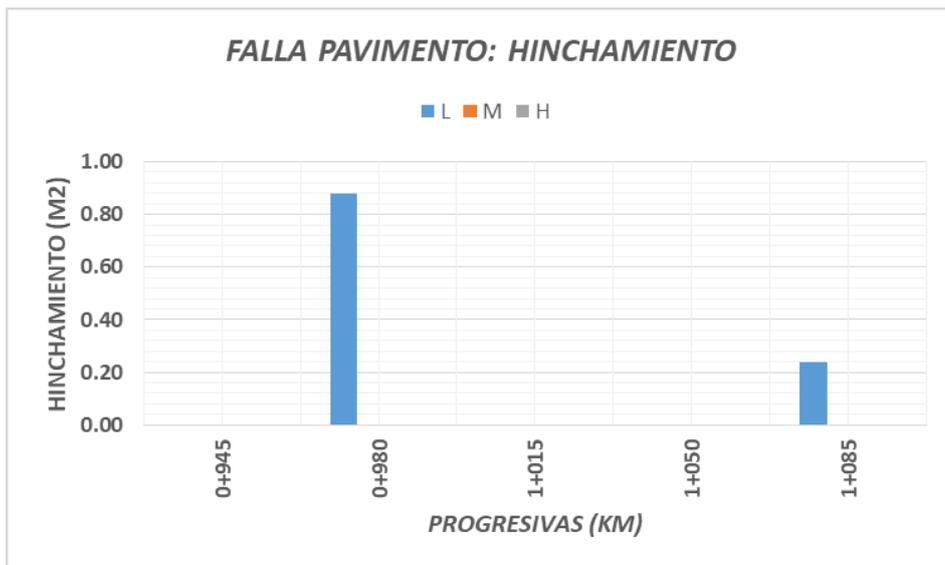


Figura 51. Distribución de fallas: Hinchamiento – tramo II

Fuente: Elaboración propia.

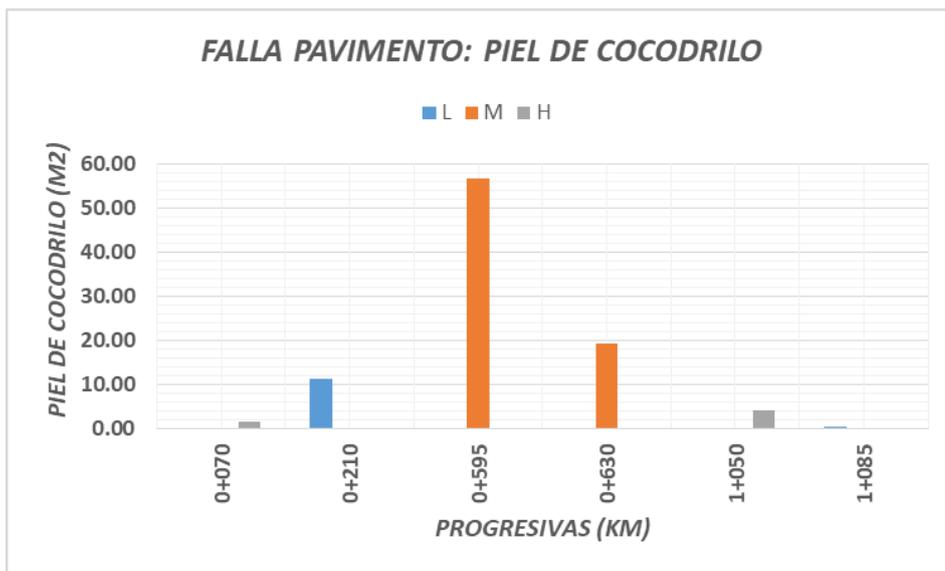


Figura 52. Distribución de fallas: Piel de cocodrilo – tramo II

Fuente: Elaboración propia.

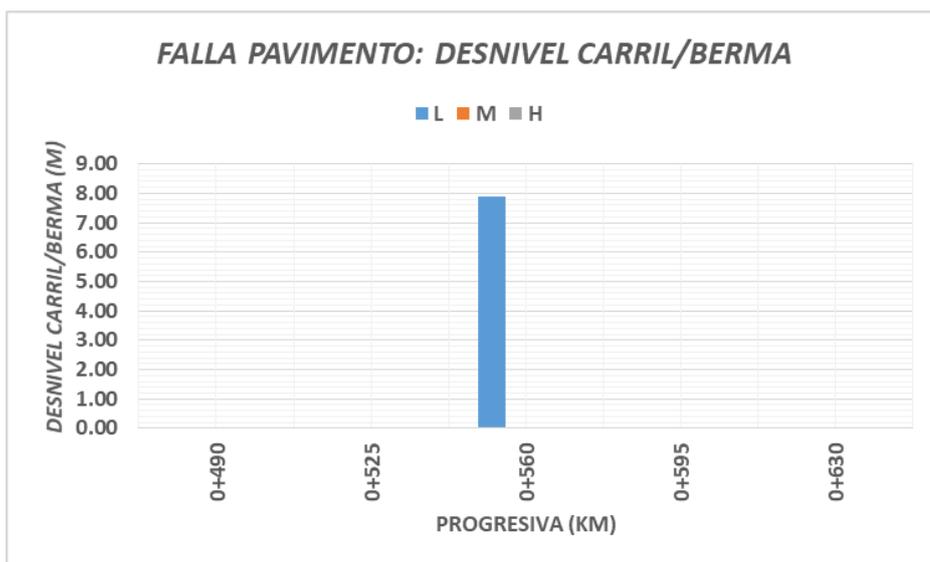


Figura 53. Distribución de fallas: Desnivel carril/berma – tramo II

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado de la evaluación superficial la falla observada con mayor frecuencia en el tramo II de la vía en estudio, son las grietas transversales y longitudinales con una severidad media (M), seguido de la falla de desprendimiento de agregados con severidad leve (L) y fisuras de borde con variación de severidad entre leve (L) y media (M). Este tipo de fallas pueden la consecuencia de los

cambios térmicos, acelerando el daño por las cargas de tránsito. Y como conclusión de esta evaluación, el tramo II de la vía, es calificado como “bueno” según el índice de condición obtenido en el estudio realizado.

#### **4.1.3. Resultado de la evaluación estructural**

Para conocer el estado de la estructura, se ejecutó una evaluación deflectométrica, necesaria para la determinación de la deflexión elástica recuperable y el radio de curvatura de la deformada, que nos permitirán saber el comportamiento del pavimento y la capacidad de la subrasante, teniendo un diagnóstico de la estructura de la vía.

Para ello se llevó a cabo el ensayo de la viga Benkelman, el cual fue un equipo de doble brazo con relación 1:4, además de contar con el vehículo correspondiente y ejecutado en un periodo de tiempo en el que la temperatura no afecte a las lecturas, por ello se ejecutó desde las 9:30 pm hasta 6:00 am.

En nuestro estudio, tomamos en cuenta los dos tramos que conforman la avenida Manuel Camilo de la Torre, como lo especificamos en la figura (1), el pavimento es seccionado a un intervalo de 50 metros desde la progresiva 0+000 hasta 1+125, y en cada intervalo se efectuaron cinco tomas de lecturas comenzando desde el punto inicial 0 cm, luego a 25 cm, seguidamente 50cm y por último a 100 cm y 500cm, estas cinco lecturas se darán de manera intercalada, es decir considerando ambos carriles (derecho – izquierdo). Posteriormente se realizaron los cálculos con nuestras lecturas según la viga Benkelman como se aprecia en el siguiente ejemplo:

**Tabla 35**

Lecturas de deflexiones de Viga Benkelman

<b>Lectura de deflexiones tomadas por la viga Benkelman</b>				
$L_0$	$L_{25}$	$L_{50}$	$L_{100}$	$L_{500}$
100	95	93	92	90

Fuente: Elaboración propia

Para cada cálculo de deflexión se aplicará la ecuación 16:

$$D_0 = (100 - 90) \times 4 = 40 E^{-2} mm \quad D_{25} = (95 - 90) \times 4 = 20 E^{-2} mm$$

$$D_{50} = (93 - 90) \times 4 = 12 E^{-2} mm \quad D_{100} = (92 - 90) \times 4 = 8 E^{-2} mm$$

Siendo las mayores deflexiones en el punto inicial y a 25 cm.

Luego de efectuar el cálculo anterior, según el MTC se deberá continuar con la determinación de las deflexiones: características y admisibles, siendo el primero de estos, el valor definido que representa a un determinado sector de comportamiento homogéneo, el segundo será el límite aceptable, es decir la deflexión tolerable cuyo valor garantizará un comportamiento satisfactorio del pavimento, pues además considera en su cálculo el valor de tráfico existente de la vía en estudio.

- Deflexión admisible. Este dato hallado será utilizado para el tramo I y II, pues “N” que es el valor del ESAL, solo se consideró el mayor resultado entre ambos tramos. Utilizando la ecuación (25) tenemos:

$$D_{adm} = \left( \frac{1,15}{N} \right)^{0.25} = \left( \frac{1,15}{4,694} \right)^{0.25}$$

$$D_{adm} = 70,35 mm^{-2}$$

- Deflexión promedio. Este valor será el promedio de las deflexiones individuales corregidas por los factores de temperatura y estación, el que será utilizado para efectuar el cálculo de la deflexión característica.

**Tabla 36**

Datos de la evaluación deflectométrica

DATOS			DATOS		
NRO DE EJES EQUIVALENTE	4,694	E+06	NRO DE EJES EQUIVALENTE	4,694	E+06
DEFORMACIÓN ADMISIBLE (Da)	70,35	E-2 mm	DEFORMACIÓN ADMISIBLE (Da)	70,35	E-2 mm
DEFORMACIÓN CARACTERÍSTICA (Dc)	65,01	E-2 mm	DEFORMACIÓN CARACTERÍSTICA (Dc)	69,49	E-2 mm
COEFICIENTE DE POISSON ( $\mu$ )	0,40		COEFICIENTE DE POISSON ( $\mu$ )	0,4	
RADIO HUELLA CIRCULAR CONTACTO (A)	10,43	cm	RADIO HUELLA CIRCULAR CONTACTO (A)	10,43	cm
PRESIÓN INFLADO (p)	85,00	PSI	PRESIÓN INFLADO (p)	85	PSI
DISTANCIA DEFLEXIÓN (R)	25,00	cm	DISTANCIA DEFLEXIÓN (R)	25	cm
CARGA SOBRE LLANTA	8,20	Ton	CARGA SOBRE LLANTA	8,2	Ton
	18 000	Lb		18 000	Lb

Fuente: Elaboración propia

- Deflexión característica. El cual, considerará la deflexión promedio de cada valor corregido individual de D0 y la desviación estándar del mismo, por lo tanto, con el uso de la ecuación (24) tenemos:

$$D_c = D + 1,645(\sigma)$$

$$D_c = 38,74 + 1,645(15,97)$$

$$D_c = 36,96 + 1,645(19,78)$$

$$D_c = 65,01 E^{-2}mm - \text{Tramo I}$$

$$D_c = 69,49 E^{-2}mm - \text{Tramo II}$$

Seguidamente se procederá con el cálculo del radio de curvatura, el cual se hallará utilizando la ecuación 19, como se muestra en el siguiente ejemplo:

$$R_c = \frac{10 \times (25)^2}{2(D_0 - D_{25})}$$

$$R_c = \frac{6\,250}{2(46,75 - 21,25)}$$

$$R_c = 122,54 - \text{Tramo I}$$

$$R_c = \frac{6\,250}{2(12,77 - 8,51)}$$

$$R_c = 734,20 - \text{Tramo II}$$

Resumiendo, el desarrollo de la evaluación deflectométrica con los datos obtenidos en campo, en las siguientes tablas se muestra el resultado entre progresivas de ambos tramos comprendidos de la avenida Manuel Camilo de la Torre:

		Evaluación Deflectométrica - Viga Benkelman														
		Pavimento Flexible														
Nombre de la Vía		Hoja de Recopilación de Datos														
Progresiva Inicial (Km)		Avenida Manuel Camillo de la Torre - Tramo I		Carga de Eje		8.2000 Tn		Presión de Inflado		80 PSI						
Progresiva Final (Km)		0+000		Presión de Inflado		80 PSI		Ejecutor		Zapata Aguilar, Guisela Aylín						
Relación de Brazos		1+125		Fecha		19 de Noviembre 2019										
		4 en 1														
DATOS DE CAMPO																
Nro	Prog. (Km)	Carril	Lectura de deflectómetro en campo						Deflexiones		Temperatura (°C)	Factor Est.	Deflexiones Corregidas		Radio de Curvatura (Rc)	
			L <sub>0</sub>	L <sub>25</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>100</sub>	L <sub>500</sub>	D <sub>0</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>0</sub>			D <sub>25</sub>			
1	0+000	Derecho	100	94	92	91	89	89	44	20	7.5	24.70	1.10	46.75	21.25	122.54
2	0+050	Izquierdo	100	95	94	93	93	88	48	28	7.5	24.70	1.10	51.00	29.75	147.05
3	0+100	Derecho	100	96	95	93	93	90	40	24	7.5	24.70	1.10	42.50	25.50	183.82
4	0+150	Izquierdo	100	98	97	95	92	92	32	24	7.5	24.70	1.10	34.00	25.50	367.63
5	0+200	Derecho	100	96	95	94	91	91	36	20	7.5	24.80	1.10	38.22	21.24	183.95
6	0+250	Izquierdo	100	91	89	86	86	83	68	32	7.5	24.80	1.10	72.20	33.98	81.76
7	0+300	Derecho	100	90	89	85	82	82	72	32	7.5	24.80	1.10	76.45	33.98	73.58
8	0+350	Izquierdo	100	98	96	92	92	87	52	44	7.5	24.80	1.10	55.21	46.72	367.90
9	0+400	Derecho	100	98	97	91	91	89	44	36	7.5	24.80	1.10	46.72	38.22	367.90
10	0+450	Izquierdo	100	94	93	92	92	88	48	24	7.5	24.80	1.10	50.97	25.48	122.63
11	0+500	Derecho	100	95	92	90	90	89	44	24	7.5	24.80	1.10	46.72	25.48	147.16
12	0+550	Izquierdo	100	99	97	96	92	93	28	24	7.5	24.80	1.10	29.73	25.48	735.80
13	0+600	Derecho	100	98	96	92	92	89	44	36	7.5	24.90	1.10	46.68	38.20	368.16
14	0+650	Izquierdo	100	97	96	94	92	92	32	20	7.5	24.90	1.10	33.95	21.22	245.44
15	0+700	Derecho	100	99	97	95	94	94	24	20	7.5	24.90	1.10	25.46	21.22	736.33
16	0+750	Izquierdo	100	98	97	96	96	94	24	16	7.5	24.90	1.10	25.46	16.98	368.16
17	0+800	Derecho	100	99	97	95	94	94	24	20	7.5	24.90	1.10	25.46	21.22	736.33
18	0+850	Centro	100	99	98	95	95	91	36	32	7.5	25.00	1.10	38.17	33.93	736.86
19	0+900	Izquierdo	100	99	98	97	96	96	16	12	7.5	25.00	1.10	16.96	12.72	736.86
20	0+950	Derecho	100	98	97	96	96	96	16	8	7.5	25.00	1.10	16.96	8.48	368.43
21	1+000	Centro	100	97	97	96	96	92	32	20	7.5	25.00	1.10	33.93	21.20	245.62
22	1+050	Izquierdo	100	99	97	96	94	94	24	20	7.5	25.10	1.10	25.43	21.19	737.39
23	1+100	Derecho	100	99	98	98	98	97	12	8	7.5	25.10	1.10	12.71	8.48	737.39
24	1+125	Izquierdo	100	98	96	94	94	91	36	28	7.5	25.20	1.10	38.11	29.64	368.96
<b>ESTADÍSTICA</b>			<b>PROMEDIO</b>	100.00	96.83	95.42	93.42	90.88	36.50	23.83	7.5	24.88	-	38.74	25.29	386.99
			<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	0.00	2.53	2.62	3.19	3.76	15.03	8.71	0.00	0.14	-	15.97	9.25	249.12
			<b>LECTURA MÁXIMA</b>	100.00	99.00	98.00	98.00	97.00	72.00	44.00	7.50	25.20	-	76.45	46.72	737.39
			<b>LECTURA MÍNIMA</b>	100.00	90.00	89.00	85.00	82.00	12.00	8.00	7.50	24.70	-	12.71	8.48	73.58

Figura 54. Evaluación deflectométrica del tramo I

Fuente: Elaboración propia

		Evaluación Deflectometría - Viga Benkelman													
		Pavimento Flexible													
Nombre de la Vía		Hoja de Recopilación de Datos												8.2000 Th	
Progresiva Inicial (Km)		Carga de Eje												80 PSI	
Progresiva Final (Km)		Presión de Inflado												Zapata Aguilar, Gaisela Aylin	
Relación de Brazos		Ejecutor												19 de Noviembre 2019	
		Fecha													
DATOS DE CAMPO															
Nro	Prog. (Km)	Carril	Lectura de deflectómetro en campo						Deflexiones		Temperatura (°C)	Factor Est.	Deflexiones Corregidas		Radio de Curvatura (Rc)
			L <sub>0</sub>	L <sub>25</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>100</sub>	L <sub>500</sub>	D <sub>0</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>0</sub>			D <sub>25</sub>		
1	0+000	Derecho	100	99	98	97	97	97	12	8	24.50	1.10	12.77	8.51	734.20
2	0+050	Izquierdo	100	98	98	96	94	94	24	16	24.50	1.10	25.54	17.03	367.10
3	0+100	Derecho	100	99	99	99	99	97	12	8	24.50	1.10	12.77	8.51	734.20
4	0+150	Izquierdo	100	97	95	93	93	91	36	24	25.20	1.10	38.11	25.41	245.98
5	0+200	Derecho	100	99	97	95	92	92	32	28	25.20	1.10	33.88	29.64	737.93
6	0+250	Izquierdo	100	95	93	90	89	89	44	24	24.80	1.10	46.72	25.48	147.16
7	0+300	Derecho	100	98	98	97	95	95	20	12	24.60	1.10	21.27	12.76	367.37
8	0+350	Izquierdo	100	98	97	92	92	90	40	32	24.60	1.10	42.53	34.03	367.37
9	0+400	Derecho	100	97	97	96	96	94	24	12	25.54	1.10	25.54	12.77	244.73
10	0+450	Izquierdo	100	95	93	91	90	90	40	20	24.50	1.10	42.56	21.28	146.84
11	0+500	Derecho	100	98	96	94	94	91	36	28	24.50	1.10	38.31	29.79	367.10
12	0+550	Izquierdo	100	96	95	93	89	89	44	28	24.20	1.10	46.92	29.86	183.15
13	0+600	Derecho	100	99	99	98	98	95	20	16	24.20	1.10	21.33	17.06	732.60
14	0+650	Izquierdo	100	87	85	83	76	76	96	44	24.10	1.10	102.45	46.96	56.31
15	0+700	Derecho	100	92	91	88	88	85	60	28	24.10	1.10	64.03	29.88	91.51
16	0+750	Izquierdo	100	98	95	95	92	92	32	24	24.10	1.10	34.15	25.61	366.03
17	0+800	Derecho	100	99	98	97	94	94	24	20	24.10	1.10	25.61	21.34	732.07
18	0+850	Izquierdo	100	98	97	95	92	92	32	24	24.00	1.10	34.17	25.63	365.77
19	0+900	Derecho	100	99	99	98	98	96	16	12	23.90	1.10	17.10	12.82	731.00
20	0+950	Izquierdo	100	96	93	89	89	88	48	32	23.80	1.10	51.34	34.22	182.62
21	1+000	Derecho	100	93	91	88	85	85	60	32	23.80	1.10	64.17	34.22	104.35
22	1+050	Izquierdo	100	98	98	95	93	93	28	20	23.60	1.10	29.99	21.42	364.70
23	1+100	Derecho	100	99	98	97	95	95	20	16	23.50	1.10	21.44	17.15	728.87
24	1+125	Izquierdo	100	97	95	93	92	92	32	20	23.50	1.10	34.30	21.44	242.96
<b>ESTADÍSTICA</b>			100	96.83	95.63	93.71	91.33	34.67	22.00	7.5	24.2625	-	36.96	23.45	389.25
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>			0.00	2.84	3.32	3.92	4.63	18.53	8.75	0.00	0.46	-	19.78	9.33	244.66
<b>LECTURA MÁXIMA</b>			100	99	99	99	97	96	44	7.5	25.2	-	102.45	46.96	737.93
<b>LECTURA MÍNIMA</b>			100	87	85	83	76	12	8	7.5	23.5	-	12.77	8.51	56.31

Figura 55. Evaluación deflectométrica del tramo II

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el desarrollo de la evaluación con la viga Benkelman se complementará con el siguientes deflectograma del tramo I, que nos permitirá realizar una comparación entre las deflexiones halladas, de esta manera, al obtener una deflexión admisible de 70.35, y siendo este valor mayor a la deflexión característica 65.01, la capacidad del pavimento aun es suficiente para la demanda de tráfico existente. Sin embargo, como se aprecia en las figuras, algunas deflexiones de campo superan al valor de la deflexión admisible, y además el radio de curvatura hallado es menor a 100 como se observa en la figura 58, esto puede ser por la baja capacidad de una capa del pavimento en algunos tramos, por lo que se requeriría un refuerzo estructural.

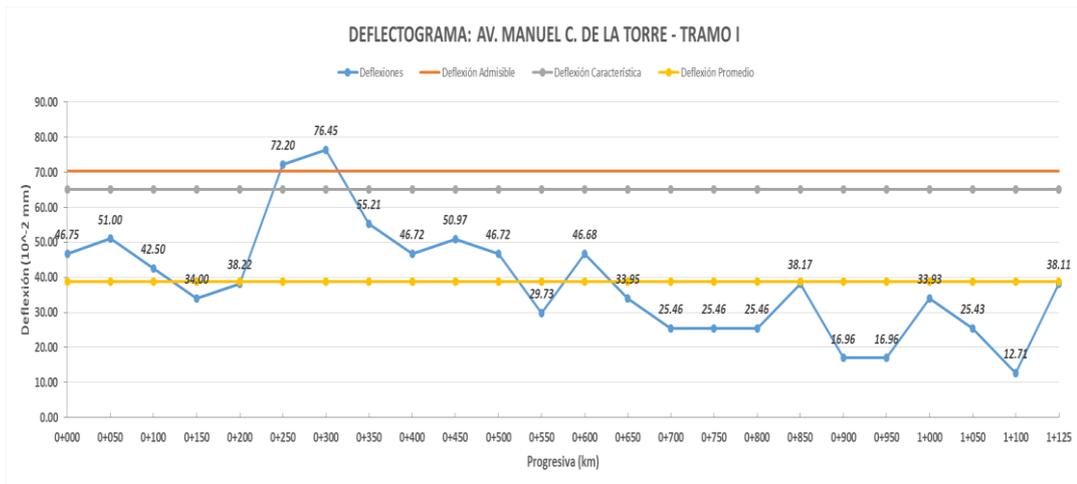


Figura 56. Deflectograma: Av. Manuel Camilo de la Torre – tramo I  
Fuente: Elaboración propia.

Al igual que la conclusión anterior la deflexión admisible para el tramo II es de 70.35, valor mayor a la deflexión característica, el cual fue de 69.49, no existiendo algún problema estructural del pavimento, a excepción de un tramo comprendido entre 0+600 hasta 0+750, cuyo radio de curvatura resulta menor que 100 como se observa en la figura 59, por lo tanto, dicho tramo requiere un refuerzo estructural.

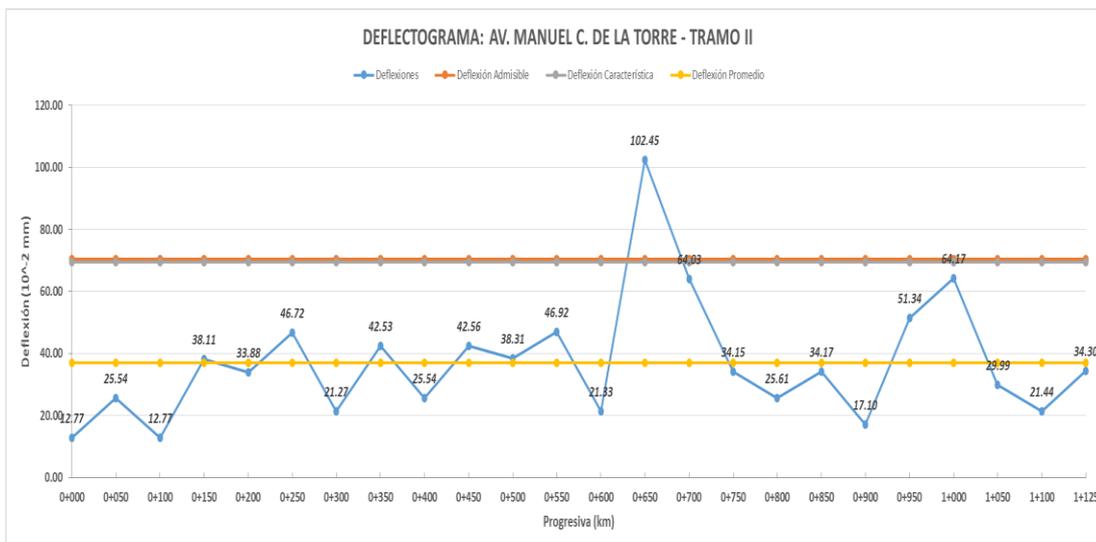


Figura 57. Deflectograma: Av. Manuel Camilo de la Torre – tramo II  
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en las presentes tablas, se muestra el comportamiento por tramo según progresivas, evaluando la condición de la subrasante y la del pavimento en conjunto, siendo el resultado de "buen pavimento" para la mayoría de los tramos, a excepción de algunos segmentos que, debido a un radio de curvatura menor, podría presentar debilitamiento una de las capas adyacentes a la capa asfáltica.

 <b>Universidad José Carlos Mariátegui</b> <small>MOQUEGUA - PERÚ</small>		Evaluación Deflectometría - Viga Benkelman							
		Pavimento Flexible							
		Hoja de Recopilación de Datos							
<b>Nombre de la Vía</b>	Avenida Manuel Camilo de la Torre	<b>Carga de Eje</b>	8.2000 Tn						
<b>Progresiva Inicial (Km)</b>	0+000	<b>Presión de Inflado</b>	80 PSI						
<b>Progresiva Final (Km)</b>	1+125	<b>Ejecutor</b>	Zapata Aguilar, Guisela Aylin						
<b>Relación de Brazos</b>	4 en 1	<b>Fecha</b>	19 de Noviembre 2019						
ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA DEFLECTOMETRÍA									
Nro	Prog. (Km)	Carril	Deflexión Máxima	Radio de Curvatura	Deflexión Característica	Deflexión admisible	Condición de la subrasante	Condición del pavimento	Recomendaciones
1	0+000	Derecho	44.00	122.54	65.01	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
2	0+050	Izquierdo	48.00	147.05	65.01	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
3	0+100	Derecho	40.00	183.82	65.01	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
4	0+150	Izquierdo	32.00	367.63	65.01	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
5	0+200	Derecho	36.00	183.95	65.01	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
6	0+250	Izquierdo	68.00	81.76	65.01	70.35	Estructura en buena condición	Mal pavimento	Se necesita un refuerzo estructural
7	0+300	Derecho	72.00	73.58	65.01	70.35	Estructura en buena condición	Mal pavimento	Se necesita un refuerzo estructural
8	0+350	Izquierdo	52.00	367.90	65.01	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
9	0+400	Derecho	44.00	367.90	65.01	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
10	0+450	Izquierdo	48.00	122.63	65.01	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
11	0+500	Derecho	44.00	147.16	65.01	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
12	0+550	Izquierdo	28.00	735.80	65.01	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
13	0+600	Derecho	44.00	368.16	65.01	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
14	0+650	Izquierdo	32.00	245.44	65.01	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
15	0+700	Derecho	24.00	736.33	65.01	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
16	0+750	Izquierdo	24.00	368.16	65.01	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
17	0+800	Derecho	24.00	736.33	65.01	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
18	0+850	Centro	36.00	736.86	65.01	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
19	0+900	Izquierdo	16.00	736.86	65.01	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
20	0+950	Derecho	16.00	368.43	65.01	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
21	1+000	Centro	32.00	245.62	65.01	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
22	1+050	Izquierdo	24.00	737.39	65.01	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
23	1+100	Derecho	12.00	737.39	65.01	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
24	1+125	Izquierdo	36.00	368.96	65.01	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales

Figura 58. Análisis de los resultados de la deflectometría del tramo I

Fuente: Elaboración propia

 <b>Universidad José Carlos Mariátegui</b> <small>MOQUEGUA - PERÚ</small>				Evaluación Deflectometría - Viga Benkelman					
				Pavimento Flexible					
				Hoja de Recopilación de Datos					
<b>Nombre de la Vía</b>	Avenida Manuel Camilo de la Torre			<b>Carga de Eje</b>	8.2000 Tn				
<b>Progresiva Inicial (Km)</b>	0+000			<b>Presión de Inflado</b>	80 PSI				
<b>Progresiva Final (Km)</b>	1+125			<b>Ejecutor</b>	Zapata Aguilar, Guisela Aylin				
<b>Relación de Brazos</b>	4 en 1			<b>Fecha</b>	19 de Noviembre 2019				
ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA DEFLECTOMETRÍA									
Nro	Prog. (Km)	Carril	Deflexión Máxima	Radio de Curvatura	Deflexión Característica	Deflexión admisible	Condición	Condición del pavimento	Recomendaciones
1	0+000	Derecho	12.00	734.20	69.49	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
2	0+050	Izquierdo	24.00	367.10	69.49	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
3	0+100	Derecho	12.00	734.20	69.49	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
4	0+150	Izquierdo	36.00	245.98	69.49	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
5	0+200	Derecho	32.00	737.93	69.49	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
6	0+250	Izquierdo	44.00	147.16	69.49	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
7	0+300	Derecho	20.00	367.37	69.49	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
8	0+350	Izquierdo	40.00	367.37	69.49	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
9	0+400	Derecho	24.00	244.73	69.49	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
10	0+450	Izquierdo	40.00	146.84	69.49	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
11	0+500	Derecho	36.00	367.10	69.49	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
12	0+550	Izquierdo	44.00	183.15	69.49	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
13	0+600	Derecho	20.00	732.60	69.49	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
14	0+650	Izquierdo	96.00	56.31	69.49	70.35	Estructura en buena condición	Mal pavimento	Se necesita un refuerzo estructural
15	0+700	Derecho	60.00	91.51	69.49	70.35	Estructura en buena condición	Mal pavimento	Se necesita un refuerzo estructural
16	0+750	Izquierdo	32.00	366.03	69.49	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
17	0+800	Derecho	24.00	732.07	69.49	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
18	0+850	Centro	32.00	365.77	69.49	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
19	0+900	Izquierdo	16.00	731.00	69.49	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
20	0+950	Derecho	48.00	182.62	69.49	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
21	1+000	Centro	60.00	104.35	69.49	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
22	1+050	Izquierdo	28.00	364.70	69.49	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
23	1+100	Derecho	20.00	728.87	69.49	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales
24	1+125	Izquierdo	32.00	242.96	69.49	70.35	Estructura en buena condición	Buen pavimento	Se deberá corregir las fallas superficiales

Figura 59. Análisis de los resultados de la deflectometría del tramo II

Fuente: Elaboración propia

## **4.2. Contrastación de hipótesis**

### **4.2.1. Hipótesis general**

**Ho:** La evaluación estructural y superficial permite diagnosticar el pavimento flexible en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua, 2019.

**Ha:** La evaluación estructural y superficial no permite diagnosticar el pavimento flexible en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua, 2019.

La demostración de la hipótesis requiere previamente la demostración de las hipótesis derivadas

### **4.2.2. Hipótesis derivadas**

#### **Hipótesis derivada 1**

Las deflexiones obtenidas con la viga Benkelman evalúa estructuralmente los pavimentos flexibles en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua en el año 2019.

Es necesario previamente establecer si la muestra de deflexiones medidas con la viga Benkelman en campo corresponden a una distribución normal en el tramo I y tramo II, para lo cual se realiza prueba estadística.

Ho: Los datos deflexión provienen de una población normal

H1: Los datos deflexión No provienen de una población normal

Y la regla de decisión es:

Si  $\text{Sig.} < 0.05$  entonces rechazar Ho.

Si  $\text{Sig.} > 0.05$  entonces NO rechazar Ho.

**Tabla 37**

Prueba de Kolmogoroy-Smirnov para deflexiones tramo I y II

<b>Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra</b>		DEFLE_T1	DEFLE_T2
N		11	11
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	37,455	28,7273
	Desv. Desviación	15,6228	11,97573
Máximas diferencias extremas	Absoluto	0,169	0,211
	Positivo	0,169	0,211
	Negativo	-0,117	-0,144
Estadístico de prueba		0,169	0,211
Sig. asintótica(bilateral)		0,200 <sup>c,d</sup>	0,187 <sup>c</sup>

Fuente: Elaboración propia

Como el sig es mayor a 0.05 en ambas muestras, no se rechaza la hipótesis nula. Es decir, las deflexiones medidas en campo corresponden a una distribución normal. Para la prueba de hipótesis a partir de los datos de campo se plantea:

Según los ensayos realizado con viga Benkelman en la vía arterial tramo I, con 11 muestras se obtiene una deflexión media de 37.455mm y una desviación estándar de 15.6228mm ¿Se desea determinar si la vía tiene un comportamiento estructural adecuado? (según metodología del ensayo Viga Benkelman un comportamiento estructural adecuado implica deflexiones menores a la deflexión admisible 70.35 mm)

Planteo de la hipótesis para el tramo I:

$H_0 : \mu = \bar{x}$  El comportamiento estructural de la vía no es el adecuado. Se requiere intervención.

$H_1 : \mu < \bar{x}$  El comportamiento estructural de la vía es el adecuado

Con  $\alpha = 5\%$  que es el que normalmente se utiliza

El rechazo de  $H_0$  se producirá si la probabilidad es menor a 0.05

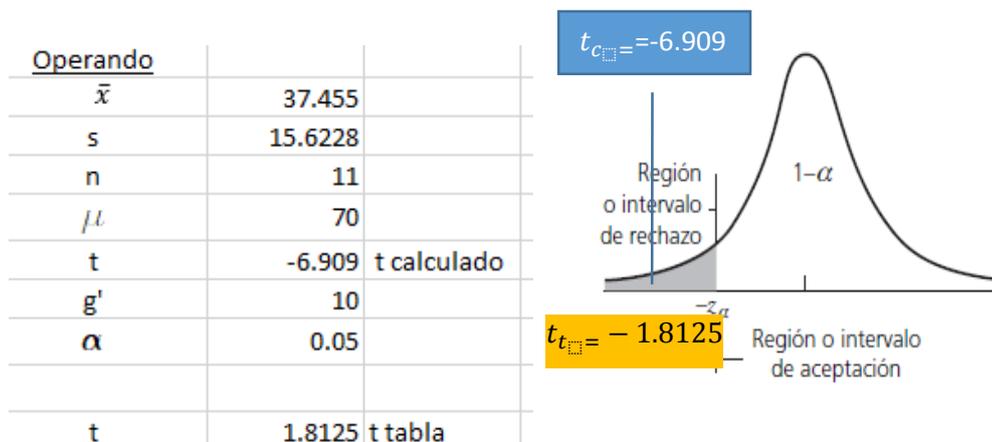


Figura 60. Curva de región o intervalo de rechazo y aceptación del tramo I

Fuente: Elaboración propia.

- Interpretación: Se rechaza la hipótesis nula, es decir:  $H_1$ : El comportamiento estructural de la vía es el adecuado.

## Tramo II

Para la prueba de hipótesis a partir de los datos de campo se plantea:

Según los ensayos realizado con viga Benkelman en la vía arterial tramo II con 11 muestras se obtiene una deflexión media de 28.727 mm y una desviación estándar de 11.9757mm. ¿Se desea determinar si la vía tiene un comportamiento estructural adecuado? (según metodología del ensayo viga Benkelman un comportamiento estructural adecuado implica deflexiones menores a la deflexión admisible 70.35 mm)

Planteo de la hipótesis para el tramo II:

$H_0 : \mu = \bar{x}$  El comportamiento estructural de la vía no es el adecuado. Se requiere intervención.

$H_1 : \mu < \bar{x}$  El comportamiento estructural de la vía es el adecuado

Con  $\alpha = 5\%$  que es el que normalmente se utiliza

Por tanto, el rechazo de la  $H_0$  se producirá si la probabilidad es menor a 0.05

Operando		
$\bar{x}$	28.7273	
s	11.97573	
n	11	
$\mu$	70.35	
t	-11.527	t calculado
g'	10	
$\alpha$	0.05	
t	1.8125	t tabla

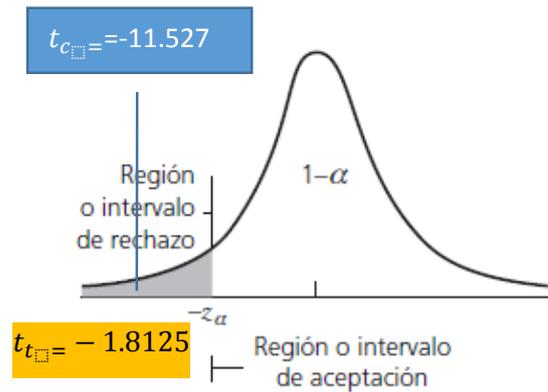


Figura 61. Curva de región o intervalo de rechazo y aceptación del tramo II

Fuente: Elaboración propia.

- Interpretación: Se rechaza la hipótesis nula, es decir,  $H_1$ : El comportamiento estructural de la vía es el adecuado.

## Hipótesis derivada 2

El índice de condición de pavimento (PCI) evalúa superficialmente los pavimentos flexibles en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua, 2019.

Previamente se determina que la muestra de: condición de pavimento (PCI) corresponden a una distribución normal en el tramo tramo I y tramo II, para lo cual se realiza la prueba estadística de normalidad.

$H_0$ : Los datos deflexión provienen de una población normal

$H_1$ : Los datos deflexión No provienen de una población normal

Y la regla de decisión es:

Si  $\text{Sig.} < 0.05$  entonces rechazar  $H_0$ .

Si  $\text{Sig.} > 0.05$  entonces NO rechazar  $H_0$ .

**Tabla 38**

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra de PCI - tramo I y II

<b>Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra</b>		PCI_T1	PCI_T2
N		11	11
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	68,9182	66,2591
	Desv. Desviación	17,77210	10,10843
Máximas diferencias extremas	Absoluto	0,209	0,114
	Positivo	0,121	0,089
	Negativo	-0,209	-0,114
Estadístico de prueba		0,209	0,114
Sig. asintótica(bilateral)		0,194 <sup>c</sup>	0,200 <sup>c,d</sup>

Fuente: Elaboración propia

Como el sig es mayor a 0.05 por tanto no se rechaza la hipótesis nula. Es decir, la condición del pavimento (PCI) medidas en campo corresponde a una distribución normal.

Para la prueba de hipótesis a partir de los datos de campo se plantea:

Según los ensayos de PCI realizado en la vía arterial tramo I en 11 muestras se obtiene un PCI promedio de 68.9182 con desviación estándar de 17.77210. Se desea determinar si la vía se encuentra en buen estado (según la clasificación de vías en la metodología PCI se considera en buen estado:  $PCI > 55$ )

Planteo de la hipótesis para el tramo I:

$H_0 : \bar{x} = \mu$  La vía arterial tramo I está en buen estado

$H_1 : \bar{x} < \mu$  La vía arterial tramo I No está en buen estado

Con  $\alpha = 5\%$  que es el que normalmente se utiliza

El rechazo de  $H_0$  se producirá si la probabilidad es menor a 0.05

<u>Operando</u>	
$\bar{x}$	68.918
s	17.7721
n	11
$\mu$	55
t	2.5974 t calculado
g'	10
$\alpha$	0.05
t	1.8125 t tabla

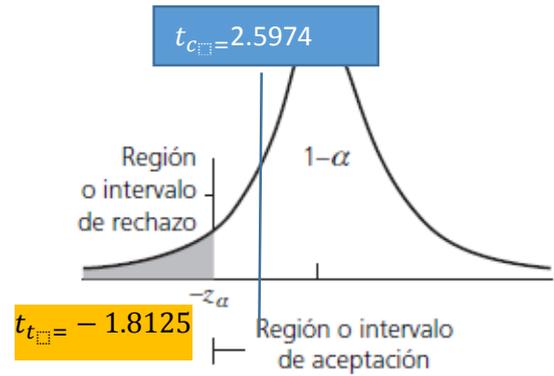


Figura 62. Curva de región o intervalo de rechazo y aceptación del tramo I (PCI)

Fuente: Elaboración propia.

- Interpretación: Se acepta la hipótesis nula, es decir,  $H_0$ : La vía arterial tramo I está en buen estado

## Tramo II

Para la prueba de hipótesis a partir de los datos de campo se plantea:

Según los ensayos de PCI realizado en la vía arterial tramo II en 11 muestras se obtiene un PCI promedio de 66.2591 con desviación estándar de 10.1084. Se desea determinar si la vía se encuentra en buen estado (según la clasificación de vías en la metodología PCI se considera en buen estado:  $PCI > 55$ )

Planteo de la hipótesis para el tramo II:

$H_0 : \bar{x} = \mu$  La vía arterial tramo II está en buen estado

$H_1 : \bar{x} < \mu$  La vía arterial tramo II No está en buen estado

Con  $\alpha = 5\%$  que es el que normalmente se utiliza

El rechazo de  $H_0$  se producirá si la probabilidad es menor a 0.05

Operando		
$\bar{x}$	66.2591	
s	10.10843	
n	11	
$\mu$	55	
t	3.6942	t calculado
g'	10	
$\alpha$	0.05	
t	-1.8125	t tabla

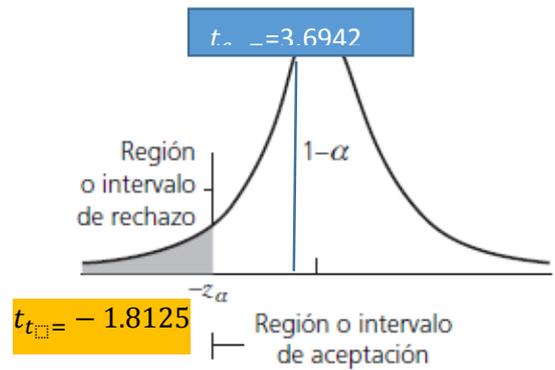


Figura 63. Curva de región o intervalo de rechazo y aceptación del tramo II (PCI)

Fuente: Elaboración propia.

Se acepta la hipótesis nula, es decir,  $H_0$ : La vía arterial tramo I está en buen estado

### La hipótesis derivada 3

Las fallas superficiales son las más frecuentes en el pavimento flexible en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua, 2019.

Para esta hipótesis se acumularán los resultados de PCI del tramo I y Tramo II a fin de evaluar su frecuencia. Estos datos agrupados se evalúan previamente si corresponden a una distribución normal.

Verificamos si la variable condición de Pavimento total (PCI\_TOTAL) sigue una distribución normal para lo cual se realiza prueba.

$H_0$ : Los datos deflexión provienen de una población normal

$H_1$ : Los datos deflexión No provienen de una población normal

Y la regla de decisión es:

Si  $\text{Sig.} < 0.05$  entonces rechazar  $H_0$ .

Si  $\text{Sig.} > 0.05$  entonces NO rechazar  $H_0$ .

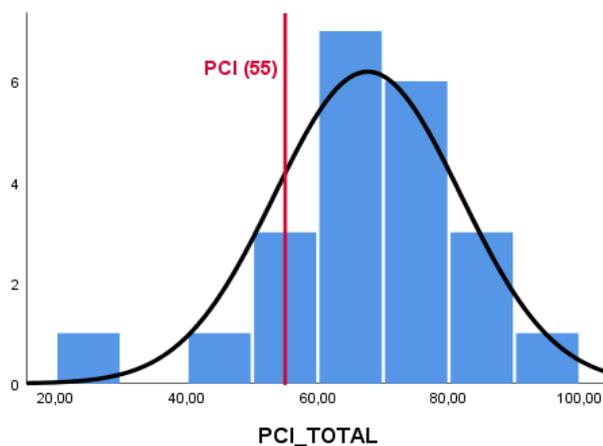
**Tabla 39**

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para fallas superficiales

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra PCI		
		PCI_TOTAL
N		22
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	67,5886
	Desv. Desviación	14,17437
Máximas diferencias extremas	Absoluto	0,129
	Positivo	0,106
	Negativo	-0,129
Estadístico de prueba		0,129
Sig. asintótica(bilateral)		0,200 <sup>c,d</sup>

Fuente: Elaboración propia

Como el sig es mayor a 0.05 por tanto no se rechaza la hipótesis nula. Es decir, la condición del pavimento (PCI TOTAL) obtenidas en campo corresponde a una distribución normal, como se muestra en el siguiente gráfico.



*Figura 64.* Gráfico de la distribución normal del PCI

Fuente: Elaboración propia.

La clasificación adoptada según la hipótesis a formular, busca establecer si las fallas superficiales son más frecuentes para tal fin se clasifica las vías en función del PCI,

es decir aquellos que tengan PCI mayor a 55 clasificara que no tienen fallas superficiales y aquellos con PCI menor a 55 clasificaran que tienen falla superficial. A partir de las variables establecidas se realiza la prueba de normalidad para dichas variables. Como se muestra a continuación.

**Tabla 40**

Prueba de normalidad: Kolmogorov-Smirnov, Shapiro Wilk

		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
PCI_ TOTAL	Malo a	0,333	4	.	0,802	4	0,105
	Regular						
	Bueno a Excelente	0,166	18	0,200*	0,955	18	0,507

Fuente: Elaboración propia

Como se observa el sig >0.05 por tanto se acepta la hipótesis nula que establece que ambas variables corresponden a una distribución normal.

Para establece la frecuencia de las fallas se realizó el estadístico correspondiente.

**Tabla 41**

Estudio estadístico del método PCI

PCI	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
27,00	1	4,5	4,5
48,60	1	4,5	9,1
53,00	1	4,5	13,6
<b>55,00</b>	1	4,5	<b>18,2</b>
57,90	1	4,5	22,7
60,20	1	4,5	27,3
64,00	1	4,5	31,8
65,70	1	4,5	36,4
66,00	1	4,5	40,9
67,90	1	4,5	45,5
68,00	1	4,5	50,0
68,50	1	4,5	54,5
70,50	1	4,5	59,1
72,20	1	4,5	63,6
72,50	1	4,5	68,2
72,90	1	4,5	72,7
73,70	1	4,5	77,3
78,30	1	4,5	81,8
82,05	1	4,5	86,4
85,00	1	4,5	90,9
87,00	1	4,5	95,5
91,00	1	4,5	100,0
Total	22	100,0	

Fuente: Elaboración propia

Según lo observado la frecuencia acumulada el 18.2 % de los valores está por debajo de PCI= 55, se puede afirmar que las fallas superficiales no son las más frecuentes.

### 4.3. Discusión de resultados

La investigación trata de responder a la pregunta de ¿cómo realizar el diagnóstico del pavimento flexible el estado de la en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua, 2019?, la estrategia para responder la pregunta es analizar la vía arterial

con mayor tráfico como la avenida Manuel C de la Torre y aplicar el método PCI para la evaluación , establecido en la norma ASTM D 6433 “Standart Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys”, y el ensayo de la viga Benkelman para la evaluación estructural (MTC E 1002), y se analiza cada una de las hipótesis derivadas.

Respecto a la primera hipótesis derivada se tiene

**Ho:** Las deflexiones obtenidas con la viga Benkelman evalúa estructuralmente los pavimentos flexibles en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua en el año 2019.

**Ha:** Las deflexiones obtenidas con la viga Benkelman No evalúan estructuralmente los pavimentos flexibles en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua en el año 2019.

Se busca que la variable de deflexiones cuyos valores reales se obtuvieron en campo tenga una distribución normal. Utilizando software SPSS se analizó las deflexiones de los Tramos I y Tramo II y según la prueba Kolmogorov-Smirnov se obtuvo  $\text{sig} > 0.05$  concluyéndose que las deflexiones medidas en campo corresponde a una distribución normal. Ese resultado permite garantizar que los resultados obtenidos de la muestra puedan ser utilizados para inferir el comportamiento estructural de la vía utilizando las deflexiones medidas utilizando viga Benkelman. La prueba de hipótesis para el tramo I de la vía arterial Manuel camilo de la Torre, utilizando t Student de 10 grados de libertad media de 37.455 mm, una distribución estándar de 15.62 mm, con una probabilidad de 95% de certidumbre y error de 5% se puede afirmar que las deflexiones en la vía arterial tramo I serán menores a 70.35 mm lo

que permite afirmar que el comportamiento estructural de la vía en el tramo I es el adecuado.

En prueba de hipótesis para el tramo II de la vía arterial Manuel Camilo de la Torre, utilizando t Student de 10 grados de libertad media de 28.727 mm, una distribución estándar de 15.97 mm, con una probabilidad de 95% de certidumbre y error de 5% se puede afirmar que las deflexiones en la vía arterial tramo II serán menores a 70.35 mm lo que permite afirmar que el comportamiento estructural de la vía en el tramo I es el adecuado.

Estos resultados permiten aceptar  $H_0$ : Las deflexiones obtenidas con la viga Benkelman evalúa estructuralmente los pavimentos flexibles en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua en el año 2019.

Respecto a la segunda hipótesis derivada se tiene

**$H_0$ :** El índice de condición de pavimento (PCI) evalúa superficialmente los pavimentos flexibles en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua, 2019.

**$H_a$ :** El índice de condición de pavimento (PCI) no evalúa superficialmente los pavimentos flexibles en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua, 2019.

Se busca que la variable índice de condición de pavimento (PCI) cuyos valores de muestra se obtuvieron en campo tengan, una distribución normal. Utilizando software SPSS se analizó el índice de condición de pavimento (PCI) de los Tramos I y Tramo II de la vía y según la prueba Kolmogorov-Smirnov se obtuvo  $\text{sig} > 0.05$  concluyéndose que los índices de condición de pavimento (PCI) obtenidas en

campo corresponde a una distribución normal. Ese resultado permite garantizar que los resultados obtenidos de la muestra puedan ser utilizados para inferir el estado superficial de los pavimentos flexibles de la vía utilizando el índice de condición del pavimento (PCI).

La prueba de hipótesis para el tramo I de la vía arterial Manuel Camilo de la Torre, utilizando t Student de 10 grados de libertad media de 68.9182, distribución estándar de 17.77, con una probabilidad de 95% de certidumbre y error de 5% se puede afirmar que el índice de condición del pavimento(PCI) en la vía arterial tramo I serán menores a 55, que permite afirmar según la clasificación de vías en la metodología PCI que la vía arterial Manuel Camilo de la Torre tramo I está en buen estado.

La prueba de hipótesis para el tramo II de la vía arterial Manuel Camilo de la Torre, utilizando t Student de 10 grados de libertad media de 66.25, distribución estándar de 10.11, con una probabilidad de 95% de certidumbre y error de 5% se puede afirmar que el índice de condición del pavimento (PCI) en la vía arterial tramo I serán menores a 55, que permite afirmar según la clasificación de vías en la metodología PCI la vía arterial Manuel Camilo de la Torre tramo II está en buen estado.

Estos resultados permiten aceptar  $H_0$ : El índice de condición de pavimento (PCI) evalúa superficialmente los pavimentos flexibles en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua, 2019.

Respecto a la tercera hipótesis derivada se tiene

**$H_0$ :** Las fallas superficiales son las más frecuentes en el pavimento flexible en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua, 2019.

**Ha:** Las fallas superficiales son las más frecuentes en el pavimento flexible en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua, 2019.

Se busca cual es la mayor frecuencia en fallas superficiales en la vía arterial Manuel Camilo de la Torre, para tal fin se agrupan los PCI tramos I y II en una nueva variable PCI\_TOTAL la cual clasifica el pavimento con falla superficial si el  $PCI < 55$  y pavimento sin falla superficial si  $PCI > 55$ , además se debe evaluar si tienen una distribución normal.

Se analizó con software SPSS, los datos de los PCI\_TOTAL y según la prueba Shapiro Wilk se obtuvo  $sig\ 0.105 > 0.05$  para  $PCI < 55$  y  $sig\ 0.507 > 0.05$  para  $PCI > 55$ . Concluyéndose que la variable índice de condición del pavimento (PCI\_TOTAL) de campo corresponde a una distribución normal. Ese resultado permite garantizar que los resultados obtenidos de la muestra puedan ser utilizados para inferir la frecuencia de las fallas en la vía arterial utilizando el índice de condición del pavimento.

La frecuencia acumulada de índice de pavimento con  $PCI < 55$  es de 18.2 % que es menor al 50% del total por tanto rechazamos la  $H_0$  y aceptamos  $H_a$ : Las fallas superficiales no son las más frecuentes en el pavimento flexible en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua, 2019.

Por tanto, de acuerdo a las hipótesis derivadas, para el caso de la hipótesis general se acepta  $H_0$ . La evaluación estructural y superficial permite diagnosticar el pavimento flexible en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua, 2019.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

**Primera.** Las deflexiones obtenidas en campo para el tramo I y tramo II tienen una distribución normal, esto permite afirmar con una certeza de 95 % y error de 5% que las deflexiones en la vía arterial Manuel Camilo de la Torre son menor a 70.35 mm que permite afirmar que el comportamiento estructural de la vía es el adecuado, Este resultado permite confirmar la primera hipótesis derivada. Las deflexiones obtenidas con la viga Benkelman evalúan estructuralmente los pavimentos flexibles en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua en el año 2019.

**Segunda.** El índice de condición de pavimento (PCI) datos obtenidos en campo para el tramo I y tramo II tienen una distribución normal, esto permite afirmar con una certeza de 95 % y error de 5% que el índice de condición del pavimento de la vía arterial Manuel Camilo de la Torres tiene un PCI <55 es decir el pavimento está en buen resultado que permite confirmar la segunda hipótesis derivada. El índice de condición de pavimento (PCI)

evalúa superficialmente los pavimentos flexibles en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua, 2019.

**Tercera.** La determinación de la mayor frecuencia de fallas superficiales requiere del total de datos obtenidos así como la verificación de que esta información tenga una distribución normal que se demostró utilizando el método de Shapiro wilk con sig mayores a 0.05, esto permite afirmar con una certeza de 95 % y error de 5% que la frecuencia acumulada de índice de pavimento con  $PCI < 55$  es de 18.2 % y es menor al 50% del total por tanto rechazamos la  $H_0$  y aceptamos  $H_a$ : Las fallas superficiales no son las más frecuentes en el pavimento flexible en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua, 2019.

**Cuarta.** De las hipótesis derivadas evaluadas se puede afirmar con una certeza de 95 % y error de 5% que la vía arterial Manuel Camilo de la Torre tiene un comportamiento estructural adecuado con deflexiones menores a 70.35 mm, la superficie de la carpeta está en buen estado  $PCI > 55$ , y que tiene solo un 18.2 % de fallas superficiales, Resultados que permite confirmar la hipótesis de la investigación. La evaluación estructural y superficial permite diagnosticar el pavimento flexible en las vías arteriales de la ciudad de Moquegua, 2019.

## 5.2. Recomendaciones

**Primera.** La estructura del pavimento en la vía arterial Manuel Camilo de la Torre tiene una respuesta adecuada ante el tráfico que viene soportando, de tal forma que no requeriría una intervención a nivel de la estructura del pavimento. Además, las deflexiones con viga Benkelman permitieron evaluar la estructura del pavimento sin alterarlo, siendo recomendable como ensayo no destructivo para este tipo de vías.

**Segunda.** El estado superficial en la vía arterial Manuel Camilo de la Torre al momento de la evaluación es bueno, recomendándose un sellado con asfáltico líquido como capa protectora superficial e impermeabilizante. El método PCI permite evaluar rápidamente el estado superficial de la vía, pero está sujeto a la disponibilidad de luz y desvío de tráfico, pues como es una evaluación visual es recomendable que se realice en presencia de luz natural.

**Tercera.** La frecuencia de fallas superficiales, aunque es menor al 50 % en la vía arterial Manuel Camilo de la Torre al momento de la evaluación, es necesaria una reevaluación permanente a fin de diseñar el tipo de intervención necesaria para que estas fallas no dificulten el tránsito vehicular.

**Cuarta.** La evaluación superficial y estructural de la vía ha sido posible realizarlo según la metodología planteada. Siendo una recomendación a la municipalidad provincial de Mariscal Nieto implementar un área de evaluación estructural y superficial de las vías a fin de establecer adecuadamente cuando intervenir una vía para su mantenimiento superficial y no esperar hasta que la vía requiera un mayor costo de inversión para la recuperación del tránsito de vehicular.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (1993). *Guide for design of pavement structures*. Recuperado de <https://habib00ugm.files.wordpress.com/2010/05/aashto1993.pdf>
- Alvarado, C. M. (2009). Evaluación estructural de la carretera Cañete – Yauyos – Chupaca con viga Benkelman – método empírico tramo km 64+000 – km 69+000. Tesis de pregrado (Universidad Nacional de Ingeniería). Recuperado de [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI\\_f9a9cf8897a03a0b651b2bfd5f7a33cb](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_f9a9cf8897a03a0b651b2bfd5f7a33cb)
- ASTM D-6433-18 (2018). Standard practice for roads and parking lots pavement condition index surveys. Recuperado de <https://www.doc88.com/p-1983809382873.html>
- Conza, D.G. (2016). *Evaluación de las fallas de la carpeta asfáltica mediante el método PCI en la Av. Circunvalación Oeste de Juliaca*. Tesis de pregrado (Universidad Peruana Unión). Recuperado de <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/647>
- Chávarry, D. C. (2018). *Determinación del espesor de la sobrecapa en función de las deflexiones determinadas con la viga Benkelman en el pavimento flexible de la carretera a Jesús en la ciudad de Cajamarca*. Tesis de pregrado (Universidad Privada del Norte). Recuperado de <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14940>
- Guerrero, M. L. (2017). *Evaluación de la condición superficial del pavimento flexible mediante un análisis comparativo entre la metodología planteada*

*por la normativa ecuatoriana NEVI 2012 y la metodología planteada por la normativa AASHTO. Tesis de pregrado (Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador). Recuperado de <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/16867>*

Gutiérrez, W. (2016). *Mecánica de suelos aplicada a vías de transporte. Lima, Perú: Empresa editora Macro EIRL.*

Hilíquín, M. L. (2016). *Evaluación del estado de conservación del pavimento, utilizando el método PCI, en la av. Jorge Chávez del distrito de Pocollay en el año 2016. Tesis de pregrado (Universidad Privada de Tacna). Recuperado de <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/UPT/157>*

Hoffman, M. S. y Del Aguila, P. M. (1985). *Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (ensayos no destructivos). Recuperado de [https://www.academia.edu/15896692/ESTUDIOS\\_DE\\_EVALUACION\\_ESTRUCTURAL\\_DE\\_PAVIMENTOS\\_BASADOS\\_EN\\_LA\\_INTERPRETACION\\_DE\\_CURVAS\\_DE\\_DEFLXIONES\\_ENSAYOS\\_NO\\_DESTRUCTIVOS](https://www.academia.edu/15896692/ESTUDIOS_DE_EVALUACION_ESTRUCTURAL_DE_PAVIMENTOS_BASADOS_EN_LA_INTERPRETACION_DE_CURVAS_DE_DEFLXIONES_ENSAYOS_NO_DESTRUCTIVOS)*

Instituto de la construcción y gerencia (2005). *Manual de diseño geométrico de vías urbanas -2005 – VCHI. Recuperado de <https://civilgeeks.com/2017/04/25/manual-diseno-geometrico-viasurbanas/>*

Leguía, P. B. y Pacheco, H. F. (2016). *Evaluación superficial del pavimento flexible por el método pavement condition index (PCI) en las vías arteriales: Cincuentenario, Colón y Miguel Grau (Huacho-Huaura-Lima). Tesis de*

pregrado (Universidad San Martín de Porres). Recuperado de <http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/handle/usmp/2311>

Madruza, C. (2007). Trabajando con viga Benkelman. Recuperado de <https://dokumen.tips/engineering/deflectometria-pavimentos-trabajando-con-viga-benkelman.html>

Minaya, S. y Ordóñez, A. (2006). *Diseño moderno de pavimentos asfálticos*. Recuperado de [https://www.academia.edu/34829662/UNIVERSIDAD\\_NACIONAL\\_DE\\_INGENIERIA\\_DISE%3%91O\\_MODERNO\\_DE\\_PAVIMENTOS\\_ASF%3%81LTICOS\\_M.Sc.\\_SILENE\\_MINAYA\\_GONZ%3%81LEZ](https://www.academia.edu/34829662/UNIVERSIDAD_NACIONAL_DE_INGENIERIA_DISE%3%91O_MODERNO_DE_PAVIMENTOS_ASF%3%81LTICOS_M.Sc._SILENE_MINAYA_GONZ%3%81LEZ)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). *Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. Recuperado de [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/P\\_recientes/4955.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Recuperado de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf)

Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (2017). *Reglamento nacional de edificaciones*. Lima, Perú: Megabyte.

Montejo, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos: fundamentos, estudios básicos y diseño*. Recuperado de <https://civilgeeks.com/2010/12/11/ingenieria-de-pavimentos-fundamentos-estudios-basicos-y-diseno/>

Nuñez, A. G. (2019). *Implementación del proceso de conservación de la estructura de la capa de rodadura de la vía Manzana de Oro – Montalvo en el tramo km 0+000 al km 2+400 de la provincia de Tungurahua*. Tesis de pregrado (Universidad técnica de Ambato). Recuperado de <https://www.semanticscholar.org/paper/Implementaci%C3%B3n-del-proceso-de-conservaci%C3%B3n-de-la-de-Ortiz-Gabriela./28cab074f858b494adda8d1168933a1df4f0189e>

Vásquez, L. R. (2002). *Ingeniería de Pavimentos. Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras*. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.