



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN -TARAPOTO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Análisis comparativo de pavimento flexible y rígido para la reparación
de las calles del centro del Distrito de Tarapoto**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES:

Fernando Paredes Vela

Jorge Jersson Delgado Mego

ASESOR:

Ing. M. Sc. Juvenal Vicente Díaz Agip

Tarapoto – Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN -TARAPOTO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Análisis comparativo de pavimento flexible y rígido para la reparación
de las calles del centro del Distrito de Tarapoto**

AUTORES:

Fernando Paredes Vela
Jorge Jersson Delgado Mego

Sustentado el día 24 de Mayo del 2019 y aprobado ante el honorable jurado:

.....
Ing. Jorge Isaacs Rioja Diaz
Presidente

.....
Ing. Ivan Gustavo Reategui Acedo
Secretario

.....
Ing. Carlos Segundo Huamán Torrejón
Vocal

.....
Ing. M.Sc. Juvenal Vicente Díaz Agip
Asesor

Declaratoria de Autenticidad

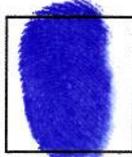
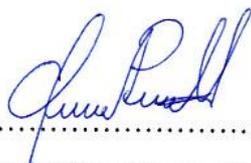
Yo **Fernando Paredes Vela**, con DNI N° 45894908, con domicilio legal Jr. Ricardo Palma N° 971– Tarapoto, Bachiller de la facultad de Ingeniería civil y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, **Jorge Jersson Delgado Mego**, con DNI N° 71987352, con domicilio legal Jr. Oscar R. Benavides N° 134– Tarapoto, Bachiller de la facultad de Ingeniería civil y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Nacional de San Martín con la Tesis Titulada: **Análisis comparativo de pavimento flexible y rígido para la reparación de las calles del centro del Distrito de Tarapoto**

Declaramos bajo juramento que:

1. La tesis es de nuestra autoría.
2. Hemos respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiada; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirían en aportes a la realidad investigada.

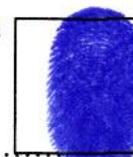
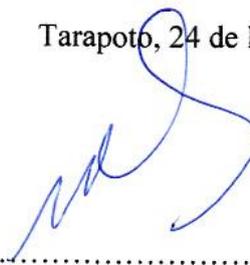
De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumimos las consecuencias y sanciones que de nuestra acción se deriven, sometiéndonos a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 24 de Mayo del 2019.



Fernando Paredes Vela

DNI N° 45894908



Jorge Jersson Delgado Mego

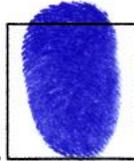
DNI N° 71987352

Declaración Jurada

Yo **Fernando Paredes Vela**, con DNI N° 45894908, con domicilio legal domicilio legal Jr. Ricardo Palma N° 971– Tarapoto, **Jorge Jersson Delgado Mego** con DNI N° 71987352, con domicilio legal Jr. Oscar R. Benavides N° 134– Tarapoto, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, **DECLARO BAJO JURAMENTO** que toda la documentación y todos los datos e información de la presente tesis y/o informe de Ingeniería, que acompaño es verás y auténtica.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 24 de Mayo del 2019.



Fernando Paredes Vela
DNI N° 45894908



Jorge Jersson Delgado Mego
DNI N° 71987352

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	Paredes Vela Fernando	
Código de alumno :	063125	Teléfono: 921705063
Correo electrónico :	ferpave_89@hotmail.com	DNI: 45894908

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	Ingeniería Civil y Arquitectura
Escuela Profesional de:	Ingeniería Civil

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título:	Análisis comparativo de pavimento flexible y rígido para la reparación de las calles del Distrito de Tarapoto.
Año de publicación:	

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia No Exclusiva, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento:

27, 06, 2019



Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM - T.

* Acceso abierto: uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** Acceso restringido: el documento no se visualizará en el Repositorio.

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	DELBADO MELO TORRE JERSSON		
Código de alumno :	71987352	Teléfono:	951904212
Correo electrónico :	ing.jersson@gmail.com	DNI:	71987352

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de:	INGENIERIA CIVIL

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE PAVIMENTO FLEXIBLE Y RIGIDO PARA LA REPARACION DE LAS CALLES DEL CENTRO DEL DISTRITO DE TARAPOTO"
Año de publicación:	2019

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia No Exclusiva, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".


.....
Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento:

27/06/2019




.....
Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM - T.

* Acceso abierto: uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** Acceso restringido: el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

A Dios por darme la vida, salud, iluminar mi camino para cumplir mis metas y por regalarme unos padres maravillosos.

A mis padres, por enseñarme que en esta vida todo se obtiene con esfuerzo, los amo.

A mis hermanos, por su comprensión y apoyo constante en esta nueva etapa de mi vida profesional.

Fernando Paredes Vela

Dedico esta tesis a DIOS por haberme permitido llegar hasta este punto con sabiduría y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Y por la ayuda brindada en cada obstáculo, que en la vida se presenta, gracias a su ejemplo hoy he llegado a cumplir una de mis metas.

Y a todas las personas especiales que me acompañaron y me apoyaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

Jorge Jersson Delgado Mego

Agradecimiento

A mi papá, por todo lo que me está enseñando de la vida, demostrándome que nada es fácil y si quiero obtener algo, que sea con esmero y dedicación.

A mi mamá, por ser mi complemento, mi compañera en todo momento.

Fernando Paredes Vela

A Dios, por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar dificultades y permitirme un logro más en mi vida.

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros se los debo a ellos entre los que incluye este. Me formaron con moral y ética, y me motivaron contantemente para alcanzar mis anhelos.

Y finalmente a mi asesor Ing. MSc. Juvenal Vicente Díaz Agip por apoyarme en todo momento.

Jorge Jersson Delgado Mego

Índice

Dedicatoria	vi
Agradecimiento.....	vii
Índice.....	viii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tablas	xiii
Resumen	xiv
Abstract	xv
Introducción.....	1
CAPÍTULO I.....	2
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	2
1.1 Antecedentes del problema.	2
1.2. Exploración Preliminar Orientando la Investigación	2
1.3.Aspectos Generales del Estudio	3
1.3.1 Ubicación del Proyecto	3
1.3.2 Aspectos Climáticos.....	4
1.3.3 Hidrografía	5
1.3.4 Superficie.....	6
1.3.5 Población	6
1.3.6 Limite y Acceso	7
CAPÍTULO II.....	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1.Antecedentes, Planteamiento, Delimitación, Formulación del Problema a resolver ..	8
2.1.1.Antecedentes del Problema	8
2.1.2.Planteamiento del Problema	8
2.1.3. Delimitación del Problema	10
2.1.4. Formulación del Problema a Resolver	10
2.1.Objetivos	10
2.1.1.Objetivo General.....	10
2.1.2.Objetivos Específicos.....	10
2.2.Justificación de la Investigación.....	11
2.3.Delimitación de la Investigación	11
2.4.Marco Teórico	12

2.4.1. Antecedentes de la investigación.....	12
2.4.2. Fundamentación teórica de la investigación.....	14
2.4.3. Marco conceptual: terminología básica.....	81
2.4.4. Marco histórico.....	82
2.5. Hipótesis a demostrar.....	83
CAPÍTULO III.....	85
MATERIAL Y MÉTODOS.....	85
3.1. Materiales.....	85
3.1.1. Recursos Humanos.....	85
3.1.2. Recursos Materiales y servicios.....	85
3.1.3. Recursos de Equipos.....	85
3.2. Metodología de la Investigación.....	85
3.2.1. Universo y/o Muestra.....	85
3.1.1. Tipos y Nivel de la Investigación.....	86
3.1.2. Diseño de Instrumentos.....	87
3.1.3. Procesamiento de la Información.....	87
3.1.4. Análisis e Interpretación de Datos y Resultados.....	87
CAPÍTULO IV.....	88
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	88
4.1. Procesamiento de la información.....	88
4.2. Procesamiento de la información.....	89
CONCLUSIONES.....	99
RECOMENDACIONES.....	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de la Región San Martín –Provincia de San Martín y sus Distritos.....	4
Figura 2. Signos Convencionales para Perfil de Calicatas - Clasificación AASHTO.....	18
Figura 3. Signos Convencionales para Perfil de Calicatas – Clasificación SUCS	18
Figura 4. Sección típica transversal de un pavimento rígido.	20
Figura 5. Sección típica transversal de un pavimento flexible.	20
Figura 6. Sección típica transversal de un pavimento semi-rígido.....	20
Figura 7. Sección típica transversal de un pavimento articulado	21
Figura 8. Ciclo de vida de un pavimento	24
Figura 9. Ciclo de vida de los pavimentos con mantenimiento y rehabilitación.....	25
Figura 10. Diagrama de flujo del ciclo de vida y el ciclo de vida deseable del pavimento	26
Figura 11. Formato de exploración de condición para carreteras con superficie asfáltica.	30
Figura 12. Formato de exploración de condición para carreteras con superficie en concreto hidráulico.....	30
Figura 13. Número de valores deducidos.....	35
Figura 14. Formato para las iteraciones del cálculo del CDV	36
Figura 15. Piel de cocodrilo con nivel de severidad bajo o leve	38
Figura 16. Piel de cocodrilo con nivel de severidad medio	38
Figura 17. Piel de cocodrilo con nivel de severidad alto	39
Figura 18. Exudación con nivel de severidad bajo o leve.....	40
Figura 19. Exudación con nivel de severidad media	40
Figura 20. Exudación con nivel de severidad alta	41
Figura 21. Agrietamiento en bloque con nivel de severidad leve o bajo	42
Figura 22. Agrietamiento en bloque con nivel de severidad media	42
Figura 23. Agrietamiento en bloque con nivel de severidad alta	43
Figura 24. Abultamientos y hundimientos con nivel de severidad bajo o leve.....	44
Figura 25. Abultamientos y hundimientos con nivel de severidad media	44
Figura 26. Abultamientos y hundimientos con nivel de severidad alta	45
Figura 27. Corrugación con nivel de severidad bajo o leve	46
Figura 28. Corrugación con nivel de severidad media.....	46
Figura 29. Corrugación con nivel de severidad media.....	47
Figura 30. Depresión con nivel de severidad bajo o leve	48
Figura 31. Depresión con nivel de severidad media	48

Figura 32. Depresión con nivel de severidad alta	48
Figura 33. Grieta de borde con nivel de severidad bajo o leve	49
Figura 34. Grieta de borde con nivel de severidad media	50
Figura 35. Grieta de borde con nivel de severidad alta.....	50
Figura 36. Grieta de reflexión de junta con nivel de severidad bajo o leve	51
Figura 37. Grieta de reflexión de junta con nivel de severidad mediaM	52
Figura 38. Grieta de reflexión de junta con nivel de severidad alta	52
Figura 39. Desnivel carril/berma con nivel de severidad bajo o leve	53
Figura 40. Desnivel carril/berma con nivel de severidad media	54
Figura 41. Desnivel carril/berma con nivel de severidad alta	54
Figura 42. Grietas longitudinales y transversales con nivel de severidad bajo o leve.....	55
Figura 43. Grietas longitudinales y transversales con nivel de severidad media	56
Figura 44. Grietas longitudinales y transversales con nivel de severidad alta	56
Figura 45. Parcheo y acometidas de servicio con nivel de severidad bajo o leve	57
Figura 46. Parcheo y acometidas de servicio con nivel de severidad media.....	58
Figura 47. Parcheo y acometidas de servicio con nivel de severidad alta	58
Figura 48. Pulimento de agregados.....	60
Figura 49. Huecos con nivel de severidad baja o leve	61
Figura 50. Huecos con nivel de severidad media	61
Figura 51. Huecos con nivel de severidad alta	62
Figura 52. Cruce de vía férrea con nivel de severidad bajo o leve	62
Figura 53. Cruce de vía férrea con nivel de severidad media	63
Figura 54. Cruce de vía férrea con nivel de severidad alta	63
Figura 55. Ahuellamiento con nivel de severidad bajo o leve	64
Figura 56. Ahuellamiento con nivel de severidad media	64
Figura 57. Ahuellamiento con nivel de severidad alta.....	65
Figura 58. Desplazamiento con nivel de severidad leve	66
Figura 59. Desplazamiento con nivel de severidad media	66
Figura 60. esplazamiento con nivel de severidad alta.....	66
Figura 61. Grietas parabólicas con nivel de severidad bajo o leve.....	67
Figura 62. Grietas parabólicas con nivel de severidad media	68
Figura 63. Grietas parabólicas con nivel de severidad alta	68
Figura 64. Hinchamiento. El nivel de severidad se basa en el criterio de la calidad.....	69
Figura 65. Meteorización y/o desprendimiento de agregados.....	70

Figura 66. Meteorización y/o desprendimiento de agregados.....	70
Figura 67. Meteorización y/o desprendimiento de agregados con	71
Figura 68. Medición de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto de la cuerda promedio.....	73
Figura 69. Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200	73
Figura 70. Vista frontal del Rugosímetro Merlín	75
Figura 71. Vista en corte del Rugosímetro Merlín	75
Figura 72. Escala para determinar la dispersión de las desviaciones de la	76
Figura 73. Formato para la recolección de datos de campo	77
Figura 74. Escala de valores del IRI y las características de los pavimentos	80
Figura 75. Ubicación de las calles del estudio	88
Figura 76. Plano de uso de suelos del distrito de Tarapoto	89
Figura 77. Hoja de registro 02 para la unidad de muestra U1	92
Figura 78. Curvas para Baches (Huecos) con niveles de severidad leve, medio y alto.....	93
Figura 79. Curvas para valores deducidos corregidos de la unidad de muestra U1	95

Índice de Tablas

Tabla 1. Clima , temperatura y precipitación de los distritos de la Prov. de San Martín.....	5
Tabla 2. Creación, Superficie y Región Natural.....	6
Tabla 3. Población por Distritos	7
Tabla 4. Población Urbana y Rural de la Prov. de San Martín	7
Tabla 5. Número de Ensayos de CBR.....	17
Tabla 6. Calificación de la serviciabilidad de los pavimentos	23
Tabla 7. Rangos de calificación del PCI	29
Tabla 8. Longitudes de unidades de muestreo asfálticas.	31
Tabla 9. Niveles de severidad para huecos	61
Tabla 10. Correlación de categoría de acción con un rango de PCI.....	72
Tabla 11. Características del tránsito	90
Tabla 12. Características del tránsito	90
Tabla 13. Características del tránsito	90
Tabla 14. Hoja de registro 01 para la unidad de muestra U1	92
Tabla 15. Cálculo del máximo valor deducido corregido de la unidad de muestra U1	94
Tabla 16. PCI de la unidad de muestra U1.....	95
Tabla 17. Rango de calificación para el índice de condición (PCI).	96
Tabla 18. Cálculo del PCI de una sección.....	96
Tabla 19. Unidad de muestra y área de muestra x PCI	97

Resumen

El presente proyecto de tesis denominado **Análisis comparativo de pavimento flexible y rígido para la reparación de Las calles del centro del distrito de Tarapoto** se desarrolló en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Este estudio tiene como finalidad hacer un comparativo entre el tiempo empleado en la ejecución de un proyecto de pavimentación, y el costo por metro cuadrado que se obtendrá al costear dichas propuestas entre las alternativas de estudio seleccionadas.

Teniendo en cuenta que los pavimentos flexibles tienen menores periodos de vida útil, al contrario de los pavimentos rígidos que tienen mayores periodos de vida útil, como se puede observar en los pavimentos rígidos que aún existen alrededor de la plaza de armas de la ciudad de Tarapoto, cuyas estructuras han sido construidas alrededor de los años 70.

El deterioro del pavimento rígido y flexible un problema constante, encontrado con el pasar de los años debido a la alta transitabilidad y al deterioro de la vía debido a la falta de mantenimiento adecuado. Un método de evaluación del comportamiento del pavimento es el Procedimiento Estándar para la Inspección del Índice de Condición del Pavimento en Caminos y Estacionamientos, reflejada en la Norma ASTM D6433 o llamado también Método PCI, (Pavement Condition Index), que por medio de inspecciones visuales, se puede determinar el estado en el que se encuentra una determinada vía, dependiendo del tipo de daño y/o fallas que contengan, tanto en cantidad como en severidad.

En la primera etapa de la investigación se ejecutó un trabajo de campo, en el cual se hizo la recolección de datos de todas las fallas en la vía de estudio, encontrando diferente tipo de fallas y con sus respectivos niveles de condición que varían entre leve, moderado y severo, distinguiéndolos de acuerdo a profundidad, área, longitud, etc., luego se realizó el trabajo en gabinete para el cálculo correspondiente, teniendo que agrupar las fallas en áreas como unidades de muestra en una longitud total de 564 m y un área de evaluación de 292 m². Se optó por utilizar 16 unidades de muestra donde se distinguían el mayor índice de fallas, obteniendo resultados entre muy malo, malo, regular, bueno y muy bueno.

Palabras clave: Pavimento rígido y flexible, Estructuras, Índice de Condición, Evaluación.

Abstract

The present thesis project called comparative analysis of flexible and rigid pavement for the repair of the streets of the center of the district of Tarapoto was developed in the Faculty of Civil Engineering of the National University of San Martin - Tarapoto.

The purpose of this study is to make a comparison between the time spent in the execution of a paving project, and the cost per square meter that will be obtained when paying for said proposals among the selected study alternatives.

Taking into account that the flexible pavements have shorter periods of useful life, unlike the rigid pavements that have longer periods of useful life, as can be seen in the rigid pavements that still exist around the parade ground of the city of Tarapoto , whose structures have been built around the 70s.

The deterioration of rigid and flexible pavement is a constant problem, encountered over the years due to high traffic and road deterioration due to lack of adequate maintenance. One method of evaluation of pavement behavior is the Standard Procedure for the Inspection of the Pavement Condition Index in Roads and Parking, reflected in ASTM D6433 or also called PCI Method, (Pavement Condition Index), which by means of visual inspections , you can determine the state in which a certain route is located, depending on the type of damage and / or failures they contain, both in quantity and in severity.

In the first stage of the investigation, a fieldwork was carried out, in which the data collection of all the faults in the study path was made, finding different types of faults and with their respective levels of condition that vary between mild, moderate and severe, distinguishing them according to depth, area, length, etc., then the work was done in the cabinet for the corresponding calculation, having to group the faults in areas as sample units in a total length of 564 m and an area of 292 m² evaluation. It was decided to use 16 sample units where the highest failure rate was distinguished, obtaining results between very bad, bad, regular, good and very good.

Keyword: Rigid and flexible pavement, Structures, Condition Index, Evaluation



Introducción

La ciudad de Tarapoto viene desarrollándose a pasos acelerados, ya que su economía es una de las más dinámicas en el departamento de San Martín, a la par que sus autoridades también hacen sus esfuerzos por el desarrollo de esta ciudad, sobre todo en el ámbito del equipamiento urbano, como es el asfaltado de calles y sus autoridades se preocupan en generar fuentes de inversión y conseguir presupuestos que puedan realizar cambios significativos en el crecimiento de la ciudad.

El objetivo de la investigación es realizar el análisis comparativo entre el pavimento flexible y el pavimento rígido convencional utilizado en las calles del centro de la ciudad de Tarapoto con el fin de determinar la diferencia técnico - económica entre ambos pavimentos. De esta manera quedaría demostrada la viabilidad del uso de pavimento flexible o Pavimento Rígido en las calles centro de la ciudad de Tarapoto.

Por lo tanto, solo el 15% de las vías pavimentadas, se están construyendo con pavimento rígido cuya decisión es pues de nuestras autoridades municipales, y en lugares con pendientes escarpadas como es el caso del Jr. Camila Morey cdra.6; y Jr. Manuela Arévalo Orbe Cdra.6. Se construye con pavimento rígido por el manejo de su rugosidad y tiene una mayor fricción ante los cambios bruscos ambientales que conllevan a tener un mejor equilibrio entre los neumáticos del vehículo y el pavimento, ya que es una de las grandes ventajas que tiene el pavimento rígido con el pavimento flexible.

En general los pavimentos flexibles se diseñan para un periodo de 20 años, mientras que los pavimentos rígidos son diseñados para periodos de 40 años, es por eso una de las causas que el pavimento flexible es de menos costo que el pavimento rígido; Ambos tienen cierta semejanza en su proceso constructivo, he aquí describiré la semejanza que tienen ambos pavimentos:

Corte del Terreno de Fundación.

Mejoramiento y Relleno con material de Préstamo.

Perfilado y Compactado de la Sub-Base.

Es el procedimiento o proceso constructivos que tienen ambos pavimentos, que se entienden como conceptos generales que se construyen en la ciudad de Tarapoto.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Antecedentes del problema.

Los trabajos relacionados a pavimentación que vienen desarrollándose por varios años en la ciudad de Tarapoto, no cuenta con metodologías propias que se adecuen a las diferentes variedades climatológicas que presenta Tarapoto. Por ello se han aplicado metodologías extranjeras que fueron desarrollados por especialistas de otros países. En diversas partes del mundo se desarrollan investigaciones puntuales como problemas en las carreteras que permiten generar métodos y metodologías apropiadas para tales condiciones que se asemejen a nuestra ciudad.

En general los diferentes proyectos de construcción de pavimentos se orientan a determinar una secuencia lógica en la evaluación de ambos pavimentos y dar así de esta forma una correcta evaluación del Tiempo y Costo en el proceso constructivo, entre los pavimentos: rígidos y flexibles en la ejecución de vías urbanas, en la ciudad de Tarapoto. De esta manera se establece del porque las autoridades vienen elaborando los diferentes proyectos en los diferentes Pasajes, Jirones y Avenidas, que se están pavimentando con pavimento flexible.

1.2. Exploración Preliminar Orientando la Investigación

En la actualidad el país busca un desarrollo integral en base a la eficiencia y calidad de los servicios, garantizando para ello la seguridad de los inversionistas privados a fin de facilitar las condiciones de invertir en todos los campos de la actividad económica, y por lo tanto, el departamento de San Martín no está ajeno a esta realidad, por lo que es necesario e imprescindible estar acorde a la dinámica de desarrollo a fin de no quedarnos marginados, social, cultural y económicamente, y siempre estar al a vanguardia de los cambios estructurales que sufre el país en su conjunto.

La ciudad de Tarapoto viene desarrollándose a pasos acelerados, ya que su economía es una de las más dinámicas en el departamento de San Martín, a la par que sus autoridades también hacen su esfuerzos por el desarrollo de esta ciudad, sobre todo en el ámbito del equipamiento

urbano, como es el asfaltado de calles y sus autoridades se preocupan en generar fuentes de inversión y conseguir presupuestos que puedan realizar cambios significativos en el crecimiento de la ciudad.

El tema de investigación es la: **Análisis comparativo de pavimento flexible y rígido para la reparación de Las calles del centro del distrito de Tara poto**, porque la construcción de pavimentos tiene un gran impacto en la población ya que incide en la salud y en el desarrollo socioeconómico, que comparado con años anteriores podemos decir que en la actualidad la ciudad de Tarapoto tiene casi el 60% de sus calles pavimentadas, de las cuales el 40% son de pavimento flexibles y el 15% son de pavimento rígidos y el 5% otros, según información de la propia Municipalidad.

Por lo tanto, solo el 15% de las vías pavimentadas, se están construyendo con pavimento rígido cuya decisión es pues de nuestras autoridades municipales, y en lugares con pendientes escarpadas como es el caso del Jr. Camila Morey cdra.6; y Jr. Manuela Arévalo Orbe Cdra.6. Se construye con pavimento rígido por el manejo de su rugosidad y tiene una mayor fricción ante los cambios bruscos ambientales que conllevan a tener un mejor equilibrio entre los neumáticos del vehículo y el pavimento, ya que es una de las grandes ventajas que tiene el pavimento rígido con el pavimento flexible.

Tarapoto, no es ajeno al desarrollo en las nuevas tecnologías sobre todo en sistema constructivo de Pavimentos Flexibles, siendo así por su Tiempo y Costo constructivo el que se emplea más en este tipo de proyectos (40% aproximadamente), es por eso que las autoridades optan por la construcción de sus calles con pavimentos flexibles, atendiendo a esas dos alternativas tiempo y costo.

1.3.Aspectos Generales del Estudio

1.3.1 Ubicación del Proyecto

El proyecto se encuentra ubicado en:

Región	:	San Martín
Provincia	:	San Martín
Distrito	:	Tarapoto
Sector	:	Calles Céntricas

La Región de San Martín se encuentra ubicada en la parte septentrional del territorio peruano, entre los paralelos 50 24' y 80 47' de latitud sur a partir del Ecuador en los meridianos 750 27' y 770 84' longitud oeste. Limita por el Norte con el departamento de Loreto, por el este con los departamentos de Huánuco y por el oeste con los departamentos de la Libertad y Amazonas. Contiene territorios de selva alta y baja. La Región tiene una extensión de 51,253.31 km² y una densidad de 13.51 habitantes por km² menor del promedio nacional (19.3 habitantes por km²).

La ciudad de Tarapoto es la capital de la provincia de San Martín y según el censo del 2005 cuenta con una población de 101 000 habitantes, ya que la ciudad está conformado por tres distritos (Conurbación): Tarapoto, Banda de Shilcayo y Morales. Por su ubicación geográfica, a 333 msnm es punto importante de comercio a nivel regional y nacional.

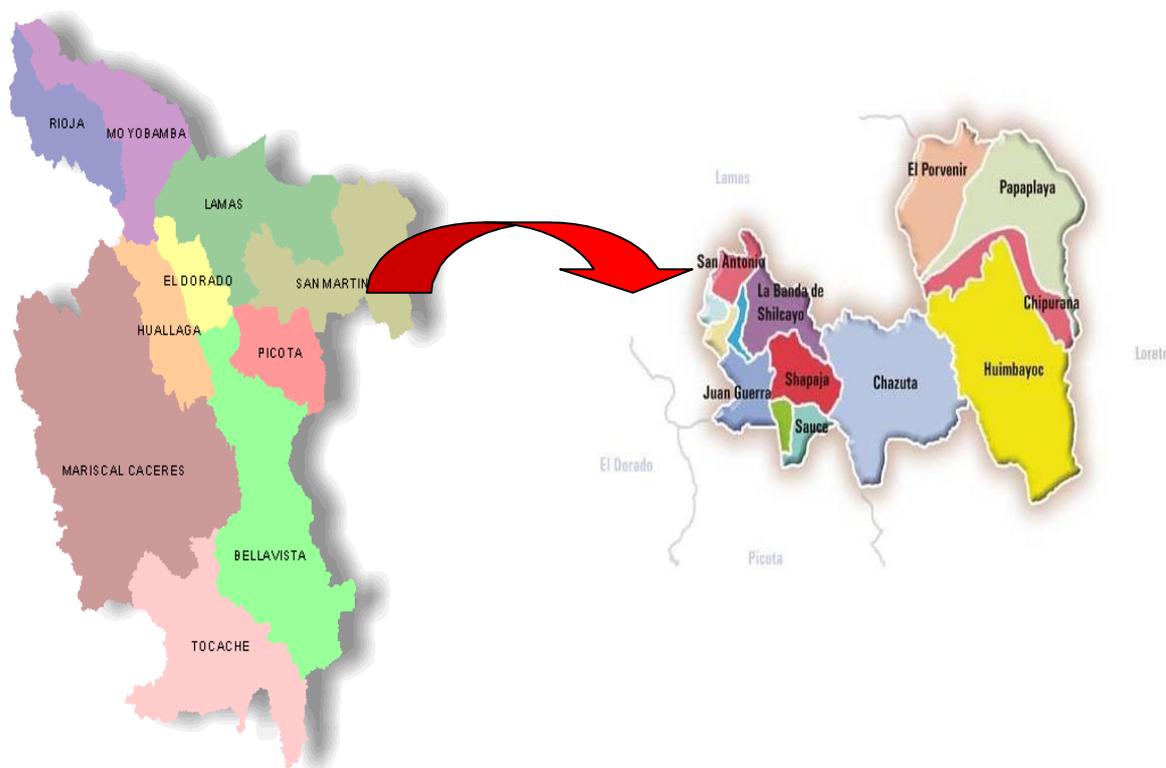


Figura 1. Mapa de la Región San Martín –Provincia de San Martín y sus Distritos

San Martín es una de las diez provincias, de la Región, localizada en la parte Nor Oriental del territorio peruano, comparte con la provincia de Lamas, el territorio de la Cordillera Escalera, muestra representativa de los Andes Tropicales al extremo Norte del Perú.

1.3.2 Aspectos Climáticos

En general la provincia presenta un clima Semiseco y cálido, influyendo principalmente en

los sectores de planicies, lomadas y colinas del río Cumbaza. La temperatura fluctúa entre los 24.8 °C y 26.5 °C. En el siguiente cuadro podemos apreciar los datos climáticos registrados en cada distrito de la Provincia:

Tabla 1

Clima , temperatura y precipitación de los distritos de la Provincia de San Martín

Distrito	Clima	Temperatura °C	Precipitación Pluvial mm
Chazuta	Ligero a Moderadamente Húmedo y Cálido	24.0 °C y 26.0	1400 y 2000 mm
Shapaja	Ligero a Moderadamente Húmedo y Cálido	24.0 °C y 26.0	1400 y 2000 mm
Sauce	Ligero a Moderadamente Húmedo y Semicálido	20.0 °C y 24.0	1400 y 1800 mm
Alberto Leveau	Ligero a Moderadamente Húmedo y Semicálido	20.0 °C y 24.0	1400 y 1800 mm
El Porvenir	Semiseco y Cálido	24.8 °C y 27.3	1000 y 1400 mm
Chipurana	Semiseco y Cálido	24.8 °C y 27.3	1000 y 1400 mm
Huimbayoc	Semiseco y Cálido	24.8 °C y 27.3	1000 y 1400 mm
Papaplaya	Semiseco y Cálido	24.8 °C y 27.3	1000 y 1400 mm
Tarapoto	Semiseco y Cálido	24.8 °C y 27.3	1000 y 1400 mm
Juan Guerra	Semiseco y Cálido	24.8 °C y 27.3	1000 y 1400 mm
Cacatachi	Semiseco y Cálido	24.8 °C y 27.3	1000 y 1400 mm
San Antonio	Ligero a Moderadamente Húmedo y Cálido	24.0 °C y 26.0	1400 y 2000 mm
La Banda de Shilcayo	Semiseco y Cálido	24.8 °C y 27.3	1000 y 1400 mm
Morales	Semiseco y Cálido	24.8 °C y 27.3	1000 y 1400 mm

Fuente: INRENA

1.3.3 Hidrografía

El río Huallaga recorre el territorio de la provincia en toda su extensión y es prácticamente el modelador del territorio provincial, pues a su paso llegó a formar los Pongos de Aguirre y Huahuanhuasi y al paso de ellos el curso de río se hace meándrico y donde se observan numerosos lagos o lagunas de forma semi-circular, conocidas como “cochas” o “tipishcas”, que no son, sino los meandros formados en el antiguo lecho de río y que por tanto, se encuentran en sectores inmediatos a los lechos actuales, constituyendo una de las características típicas del paisaje de la Selva Baja. Al río Huallaga tributan por la margen derecha el río Mayo y a ella el Cumbaza, a la altura del pueblo de Juan Guerra. Por la margen izquierda tenemos al Chipurana, Yanayacu, Chipeza, etc. La hidrografía de la provincia se

complementa con la presencia de la laguna de Sauce, Ricuricocha, Castrococha, y Limoncocha principalmente.

Altitud: Es de 400 msnm, clima cálido y húmedo, las lluvias son durante todo el año.

1.3.4 Superficie

La provincia de San Martín, comprende un territorio de 5,639,82 Km² repartidos en 14 distritos.

Tabla 2

Creación, Superficie y Región Natural

Provincia/Distritos	Dispositivo Legal de Creación			Superficie (km ²)	Región Natural
	Nombre Ley	Número S/N	Fecha 25 Nov 1876		
San Martín				5 639.82	Selva
Tarapoto	-	-	Epoca Indep.	67.81	Selva
Alberto Leveau	Ley	13 764	15 Dic 1961	268.40	Selva
Cacatachi	Ley	7 628	31 Oct 1932	75.36	Selva
Chazuta	Ley	S/N	02 Ene 1857	966.38	Selva
Chipurana	Ley	9 941	31 Ene 1944	500.44	Selva
El Porvenir	Ley	14 126	18 Jun 1962	472.61	Selva
Huimbayoc	Ley	12 062	30 Dic 1953	1 609.07	Selva
Juan Guerra	Ley	7 628	31 Oct 1932	196.50	Selva
La Banda de Shilcayo	Ley	13 735	28 Nov 1961	286.68	Selva
Morales	Ley	7 628	31 Oct 1932	43.91	Selva
Papaplaya	Ley	8 268	08 May 1936	686.19	Selva
San Antonio	Ley	7 628	31 Oct 1932	93.03	Selva
Sauce	Ley	8 282	20 May 1936	103.00	Selva
Shapaja	Ley Regional	220	14 Ago 1920	270.44	Selva

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática

1.3.5 Población

La población de la provincia de San Martín es de 161,132 habitantes, según el XI Censo de Población y VI Vivienda, realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI), siendo los distritos de Tarapoto, Morales y la Banda de Shilcayo los de mayor concentración poblacional y Cabo A. Leveau y El Porvenir los que tienen menor población. La tasa de crecimiento promedio anual de la población censada es de 2.25 1993- 2007 según la población del 1993-2007. INEI – Censos Nacionales 1993 y 2007.

El siguiente cuadro describe la población de los distritos de la Provincia de San Martín.

Tabla 3*Población por Distritos*

Nº	Distritos	Población
1	Tarapoto	68,295
2	Alberto Leveau	827
3	Cacatachi	2,978
4	Chazuta	8,556
5	Chipurana	1,871
6	El Porvenir	2,062
7	Huimbayoc	4,351
8	Juan Guerra	3,224
9	Banda de Shilcayo	29,111
10	Morales	23,561
11	Papaplaya	2,548
12	San Antonio	1,460
13	Sauce	10,598
14	Shapaja	1,690
Total Prov. San Martín		161,132

Fuente: Censo-INEI 2007

Tabla 4*Población Urbana y Rural de la Prov. de San Martín*

Categorías	Casos	%	Acumulado %
Urbano	146,109	90.68 %	90.68 %
Rural	15,023	9.32 %	100.00 %
Total	161,132	100.00 %	100.00 %

Fuente: Censo-INEI 2007

1.3.6 Limite y Acceso

Los límites de la provincia son:

Por el Norte: Con la provincia de Lamas y la región Loreto Por el Este : Con la región Loreto

Por el Sur : Con la región Loreto y la provincia de Picota Por el Oeste: Con la provincia de Lamas

Red vial

El acceso a la provincia de San Martín se da por vía terrestre, constituyendo la Carretera Fernando Belaunde Terry (Ex Marginal de la Selva) la más importante, ya que es la vía que comunica con el resto de la región, contando además con la carretera Tarapoto- Yurimaguas la cual une ambas ciudades; por vía fluvial, siendo el río Huallaga el eje de comunicación entre los pueblos del Bajo Huallaga y el de mayor importancia para éstos pueblos; y por vía aérea, localizándose el aeropuerto en la ciudad de Tarapoto, el cual es considerado como uno de los más importantes a nivel nacional, y es además la puerta de entrada de pasajeros a la región San Martín.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes, Planteamiento, Delimitación, Formulación del Problema a resolver

2.1.1. Antecedentes del Problema

Los trabajos relacionados a pavimentación que vienen desarrollándose por varios años en la ciudad de Tarapoto, no cuenta con metodologías propias que se adecuen a las diferentes variedades climatológicas que presenta Tarapoto. Por ello se han aplicado metodologías extranjeras que fueron desarrollados por especialistas de otros países. En diversas partes del mundo se desarrollan investigaciones puntuales como problemas en las carreteras que permiten generar métodos y metodologías apropiadas para tales condiciones que se asemejen a nuestra ciudad.

En general los diferentes proyectos de construcción de pavimentos se orientan a determinar una secuencia lógica en la evaluación de ambos pavimentos y dar así de esta forma una correcta evaluación del Tiempo y Costo en el proceso constructivo, entre los pavimentos: rígidos y flexibles en la ejecución de vías urbanas, en la ciudad de Tarapoto. De esta manera se establece del porque las autoridades vienen elaborando los diferentes proyectos en los diferentes Pasajes, Jirones y Avenidas, que se están pavimentando con pavimento flexible.

Entre los años 1998 y el 2018 se estableció como meta colocar pavimento rígido y flexible en las calles de Tarapoto, priorizándose las calles cercanas a la Plaza Mayor con tratamientos ya sea de pavimento rígido y flexible para vehículos livianos.

2.1.2. Planteamiento del Problema

La ciudad de Tarapoto viene desarrollándose a pasos acelerados, ya que su economía es una de las más dinámicas en el departamento de San Martín, a la par que sus autoridades también hacen sus esfuerzos por el desarrollo de esta ciudad, sobre todo en el ámbito del equipamiento urbano, como es el asfaltado de calles y sus autoridades se preocupan en generar fuentes de inversión y conseguir presupuestos que puedan realizar cambios significativos en el crecimiento de la ciudad.

El tema de investigación es: **Análisis comparativo de pavimento flexible y rígido para la reparación de Las calles del centro del distrito de Tarapoto**, porque la construcción de pavimentos tiene un gran impacto en la población ya que incide en la salud y en el desarrollo

desarrollo socioeconómico, que comparado con años anteriores podemos decir que en la actualidad la ciudad de Tarapoto tiene casi el 60% de sus calles pavimentadas, de las cuales el 40% son de pavimento flexibles y el 15% son de pavimento rígidos y el 5% otros, según información de la propia Municipalidad.

Por lo tanto, solo el 15% de las vías pavimentadas, se están construyendo con pavimento rígido cuya decisión es pues de nuestras autoridades municipales, y en lugares con pendientes escarpadas como es el caso del Jr. Camila Morey cdra.6; y Jr. Manuela Arévalo Orbe Cdra.6. Se construye con pavimento rígido por el manejo de su rugosidad y tiene una mayor fricción ante los cambios bruscos ambientales que conllevan a tener un mejor equilibrio entre los neumáticos del vehículo y el pavimento, ya que es una de las grandes ventajas que tiene el pavimento rígido con el pavimento flexible.

Tarapoto, no es ajeno al desarrollo en las nuevas tecnologías sobre todo en sistema constructivo de Pavimentos Flexibles, siendo así por su Tiempo y Costo constructivo el que se emplea más en este tipo de proyectos (40% aproximadamente), es por eso que las autoridades optan por la construcción de sus calles con pavimentos flexibles, atendiendo a esas dos alternativas tiempo y costo.

En general los pavimentos flexibles se diseñan para un periodo de 20 años, mientras que los pavimentos rígidos son diseñados para periodos de 40 años, es por eso una de las causas que el pavimento flexible es de menos costo que el pavimento rígido; Ambos tienen cierta semejanza en su proceso constructivo, he aquí describiré la semejanza que tienen ambos pavimentos:

Corte del Terreno de Fundación.

Mejoramiento y Relleno con material de Préstamo.

Perfilado y Compactado de la Sub-Base.

Hasta aquí el proceso constructivo de ambos Pavimento son casi iguales, ya que en el pavimento Rígido se comienza a hacer el encofrado, luego el vaciado de las losas de concreto $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con sus respectivas uñas y colocando el acero de refuerzo en las juntas longitudinales y transversales y como siguiente paso es el desencofrado y relleno en las juntas con material asfáltico; Como último paso es el curado del pavimento con aditivo.

En el pavimento flexible después de la Sub-Base viene otra capa más, llamada Base Granular que una vez compactada se pasa por toda la superficie una capa líquida llamada imprimación asfáltica (con MC); Después se coloca generalmente una capa de 2" (de acuerdo a diseño), llamada la carpeta asfáltica o de Rodadura (pavimento de concreto asfáltico en caliente).

Es el procedimiento o proceso constructivos que tienen ambos pavimentos, que se entienden como conceptos generales que se construyen en la ciudad de Tarapoto.

2.1.3. Delimitación del Problema

La zona en estudio se encuentra ubicada en el departamento de San Martín, provincia de San Martín, distrito de Tarapoto, en el Barrio Centro en las calles calles Jr. San Pablo de la Cruz cuadra 1, 2 y 3, Jr. Leoncio Prado, Jr. Alfonso Ugarte, Jr. Alfonso Ugarte, Jr. Manuel Arevalo Orbe, Jr. Daniel Alcides Carrion, Jr. Nicolas de Pierola, Jr. Juan de la Riva Vasquez, Jr. Miguel Grau, Jr. Saposoa, Jr. Manco Capac, Jr. Lamas, Jr. Antonio Raymond, Jr. Ramirez Hurtado, Jr. Martinez de Compañon, Jr. Miraflores, Jr. Prolongacion Libertad, Jr. Miraflores, Jr, Maynas, Jr. Augusto B. Leguia y Jr. Victor M. Arevalo Delgado .

2.1.4. Formulación del Problema a Resolver

La ciudad de Tarapoto viene desarrollándose a pasos acelerados, ya que su economía es una de las más dinámicas en el departamento de San Martín, a la par que sus autoridades también hacen sus esfuerzos por el desarrollo de esta ciudad, sobre todo en el ámbito del equipamiento urbano, como es el asfaltado de calles y sus autoridades se preocupan en generar fuentes de inversión y conseguir presupuestos que puedan realizar cambios significativos en el crecimiento de la ciudad.

¿De qué manera se determinará el **Análisis comparativo de pavimento flexible y rígido para la reparación de Las calles del centro del distrito de Tarapoto** ?

2.1. Objetivos

2.1.1. Objetivo General.

Determinar cuál es el pavimento más adecuado técnicamente y económicamente para la Rehabilitación de las calles del Barrio Centro de la Localidad de Tarapoto, a partir de la determinación y evaluación de las patologías que se puedan encontrar.

2.1.2. Objetivos Específicos.

Evaluar el Tiempo en el proceso constructivo, entre los pavimentos: rígidos y flexibles en la ejecución de vías urbanas en la ciudad de Tarapoto.

Determinar el Costo que varía en el proceso constructivo, entre los pavimentos: rígidos y flexibles en la ejecución de vías urbanas en la ciudad de Tarapoto.

2.2. Justificación de la Investigación

Justificación teórica o temática

El conocimiento del cálculo del PCI para la evaluación de la condición existente en un determinado pavimento, permitirá determinar las patologías existentes en el pavimento; por otro lado, el cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen clase, severidad y cantidad de cada daño que presenta. La presente investigación será un trabajo inicial y servirá como aporte para las futuras investigaciones en este rubro, en la región San Martín.

Justificación de la metodología

Los datos obtenidos se justifican por haberse utilizado la Norma Técnica ASTM D 6433 para el cálculo de PCI (Índice de Condición de Pavimento), tabulados en hojas de cálculo para la obtención de resultados basados en rangos de calificación.

Justificación de la viabilidad

El proyecto es viable porque es necesario conocer el estado de un pavimento existente, en función al tiempo de vida útil que presentan, es por ello que es necesario e indispensable realizar el estudio de las fallas que presenta, utilizando el Método del PCI, que nos ayudará, de una manera ordenada, a obtener resultados confiables.

Justificación Práctica

El índice de condición del pavimento (PCI), es una metodología completa para la evaluación y clasificación de patologías encontradas en los pavimentos en la actualidad, cuyos resultados son aplicados con mucha confiabilidad.

2.3. Delimitación de la Investigación

El estudio abarca el cálculo del índice de condición del pavimento en las calles Jr. San Pablo de la Cruz cuadra 1, 2 y 3, Jr. Leoncio Prado, Jr. Alfonso Ugarte, Jr. Alfonso Ugarte, Jr. Manuel Arevalo Orbe, Jr. Daniel Alcides Carrion, Jr. Nicolas de Pierola, Jr. Juan de la Riva Vasquez, Jr. Miguel Grau, Jr. Saposoa, Jr. Manco Capac, Jr. Lamas, Jr. Antonio Raymondy, Jr. Ramirez Hurtado, Jr. Martinez de Compañon, Jr. Miraflores, Jr. Prolongacion Libertad, Jr. Miraflores, Jr, Maynas, Jr. Augusto B. Leguia y Jr. Victor M. Arevalo Delgado, mediante la determinación de fallas y/o daños, con sus respectivos niveles de severidad, dimensiones y opciones de reparación.

2.4. Marco Teórico

2.4.1. Antecedentes de la investigación

American Society of Testing Materials, en su Norma Técnica ASTM D6433:

“Práctica Estándar para Carreteras y Estacionamientos”, menciona que esta práctica abarca la determinación de carreteras y estacionamientos a través de encuestas visuales, utilizando el Índice de Condición del Pavimento (PCI) método de cuantificación de condición del pavimento.

American Society of Testing Materials, en su Norma Técnica ASTM D2216: “Método de Prueba Estándar para la Determinación en Laboratorio del Contenido de Agua (Humedad) de Suelos y Rocas por Masa, menciona que este método de ensayo cubre la determinación en el laboratorio del contenido de humedad en suelos, rocas y materiales similares.

American Society of Testing Materials, en su Norma Técnica ASTM D854: “Determinación de la Gravedad Específica de Partículas Sólidas”, menciona que el método describe el procedimiento para determinar la gravedad específico de partículas sólidas de un material que pasa el tamiz de 4,75 mm (N° 4), por medio de un picnómetro.

American Society of Testing Materials, en su Norma Técnica ASTM D4318: “Método de Ensayo Estándar para Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de los Suelos”, menciona que estos métodos de ensayo cubren la determinación del límite líquido, límite plástico e índice plástico de suelos.

American Society of Testing Materials, en su Norma Técnica ASTM D422: “Método de Análisis del Tamaño de las Partículas de Suelo”, describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta la malla de 74 mm (N° 200).

American Society of Testing Materials, en su Norma Técnica ASTM D1557: “Métodos de Ensayos Estándar para Determinar la Relación Humedad – Densidad de Suelos y Mezclas de Suelo – Agregado (Proctor Modificado)”, describe que este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los Suelos (Curva de Compactación), compactadas en un molde de 4 ó 6 pulgadas de diámetro con un pisón de 10 lbf, que cae de una altura de 18 pulgadas, produciendo una Energía de Compactación de 56 000 lb-pie/pie³.

American Society of Testing Materials, en su Norma Técnica ASTM D1883. “Método de Prueba Estándar para Valor de Soporte Relativo (California Bearing Ratio – CBR”, indica que esta norma se refiere a la Determinación del Valor de Soporte Relativo de suelos cuando son compactados y ensayados en el Laboratorio, mediante la comparación entre la carga de penetración en el suelo y aquella de un material normalizado o estándar. La norma se refiere a la calidad relativa de suelos de subrasante pero es aplicable a sub bases y a algunos materiales de base.

Del Águila, 2008, en su trabajo de investigación: “Metodología para la Determinación de la Rugosidad de los Pavimentos con Equipo de Bajo Costo y Gran Precisión”, menciona que dicho trabajo presenta una metodología basada en los conceptos publicados por el Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL) en 1990, sobre el rugosímetro Merlín, y en los resultados obtenidos durante 5 años de empleo intensivo del equipo en diferentes tipos de pavimentos.

Gamboa, 2009, en su Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil: “Cálculo del índice de condición aplicado en pavimento flexible de la Av. Las Palmeras de Piura”, indica que el resultado de su trabajo es la aplicación del índice de condición del pavimento (PCI) a un tramo de vía en la ciudad de Piura, experiencia que puede servir como ejemplo de aplicación del procedimiento de inspección ASTM D6433 en nuestro medio y como referencia para los gobiernos locales. Además los resultados de su trabajo llevan a concluir que gran parte de la Av. Las Palmeras se encuentran en mal estado y es probable que no tenga vida residual. Sin embargo existen otros tramos en buen y regular estado, lo que permite su conservación a través de mantenimiento rutinario, periódico y/o rehabilitación.

Medina y De La Cruz, 2015, en su Tesina para optar por el Título Profesional de Ingeniero Civil: “Evaluación superficial del pavimento flexible del Jr. José Gálvez del distrito de Lince aplicando el método del PCI”, indica que a través del uso del método PCI, fue calificar el estado del pavimento flexible de la vía seleccionada, obteniendo un resultado de regular para las secciones identificadas, indicando que actualmente el jirón estudiado, se encuentra apto para brindar adecuadas condiciones para los usuarios. Además menciona que las condiciones de pavimento malo, regular y bueno predominan en mayor porcentaje que las demás condiciones, sin existir alguna de calificativo excelente, encontrándose de esta manera las fallas de piel cocodrilo, fisura en bloque, fisuras longitudinales y transversales, parches y corte utilitario, agregado pulido, huecos o baches, Ahuellamiento y por último peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados. Además menciona la categoría

de acción de acuerdo al rango de PCI encontrado en las diferentes secciones de las unidades de muestras inspeccionadas.

Rodríguez, 2009, en su Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil: "Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero, distrito de Castilla", menciona la solución más evidente para mejorar el estado del pavimento urbano, sería reparar el pavimento dañado y dejarlo en una condición óptima, pero para ello, indica, que, es necesario conocer el estado real en el que se encuentra una pista a reparar, para conocer la técnica a aplicar. Es por ello, recalca, que el método PCI, lograr dar una noción del estado del pavimento, mediante inspecciones visuales, dependiendo del tipo, cantidad y severidad de las fallas presentes. En su investigación, concluyó que el estado de la vía estudiada pertenece a un pavimento regular, debido a las obras de reparación realizadas el año 2008.

Miranda, 2010, en su tesis para optar al título de Ingeniero Constructor: "Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos", revela que un mantenimiento adecuado y oportuno de un camino, requiere la realización de un conjunto de operaciones durante la vida útil de la obra, además recalca que dichas operaciones se clasifican en tres niveles, en función de las características del trabajo y de la periodicidad con que suelen requerirse, como operaciones de conservaciones rutinaria, operaciones de conservación periódica y restauraciones.

2.4.2. Fundamentación teórica de la investigación

2.4.2.1. Propiedades De Los Suelos

Granulometría

Es la propiedad que tienen los suelos naturales de mostrar diferentes tamaños en su composición. Su determinación en laboratorio es como sigue: se toman muestras a analizar y se pasan por mallas de abertura conocidas de acuerdo con las normas ya establecida para este propósito. Después se pesa el material retenido en cada uno de las mallas y se grafican los resultados, formándose así una curva entre los tamaños de las partículas y los porcentajes en pesos que pasan a una malla dada. Los tamaños inferiores a la malla 200 se consideran finos. La última porción granulométrica se puede obtener por lavado en lugar de usar todas las mallas. Si se pretende obtener la graduación de este porción fina, ello se hará mediante la prueba del hidrómetro.

Resistencia a la degradación

Es la propiedad de los materiales que indica el grado de desintegración y descomposición

que sufren las partículas del suelo al ser sometidas a diferentes agentes de intemperismo físico o a cargas por tránsito. Con respecto a los materiales gruesos, su determinación se basa en el método de prueba con la máquina de los Ángeles (**ASTM C-535, y ASTM C-131 o AASHTO T-96 para partículas pequeñas**). (**Guía para el Diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos**).

2.4.2.2. Exploración de suelos

AASHTO para la investigación y muestreo de suelos y rocas se recomienda la aplicación de la norma T 86-90 que equivale a la ASTM D420-69. Para la exploración de suelos y rocas primero deberá efectuarse un reconocimiento del terreno y como resultado de ello un programa de exploración e investigación de campo a lo largo de la vía y en las zonas de préstamo, para de esta manera identificar los diferentes tipos de suelo que puedan presentarse.

El reconocimiento del terreno permitirá identificar los cortes naturales y/o artificiales, definir los principales estratos de suelos superficiales, delimitar las zonas en las cuales los suelos presentan características similares, asimismo identificar las zonas de riesgo o poco recomendables para emplazar el trazo de la vía.

El programa de exploración e investigación de campo incluirá la ejecución de calicatas o pozos exploratorios, cuyo espaciamiento dependerá fundamentalmente de las características de los materiales subyacentes en el trazo de la vía.

Generalmente están espaciadas entre 250 m y 2,000 m, pero pueden estar más próximas dependiendo de puntos singulares, como en los casos de:

Cambio en la topografía de la zona en estudio; por la naturaleza de los suelos o cuando los suelos se presentan en forma errática o irregular.

Delimitar las zonas en que se detecten suelos que se consideren pobres o inadecuados.

Zonas que soportarán terraplenes o rellenos de altura mayor a 5.0m.

Zonas donde la rasante se ubica muy próxima al terreno natural ($h < 0.6$ m).

En zonas de corte, se ubicarán los puntos de cambio de corte a terraplén o de terraplén a corte, para conocer el material a nivel de sub-rasante.

De las calicatas o pozos exploratorios deberán obtenerse de cada estrato muestras representativas en número y cantidades suficientes de suelo o de roca, o de ambos, de cada material que sea importante para el diseño y la construcción. El tamaño y tipo de la muestra

requerida depende de los ensayos que se vayan a efectuar y del porcentaje de partículas gruesas en la muestra, y del equipo de ensayo a ser usado.

Con las muestras obtenidas en la forma descrita, se efectuarán ensayos en laboratorio y finalmente con los datos obtenidos se pasará a la fase de gabinete, para consignar en forma gráfica y escrita los resultados obtenidos, asimismo se determinará un perfil estratigráfico de los suelos (eje y bordes), debidamente acotado en un espesor no menor a 1.50 m, teniendo como nivel superior la línea de sub-rasante del diseño geométrico vial y debajo de ella, espesores y tipos de suelos del terraplén y los del terreno natural, con indicación de sus propiedades o características y los parámetros básicos para el diseño de pavimentos. Para obtener el perfil estratigráfico en zonas donde existirán cortes cerrados, se efectuarán métodos geofísicos de prospección que permitan determinar la naturaleza y características de los suelos y/o roca subyacente.

2.4.2.3. Caracterización de la subrasante

Con el objeto de determinar las características físico-mecánicas de los materiales de la subrasante se llevarán a cabo investigaciones mediante la ejecución de pozos exploratorios o calicatas de 1.5 m de profundidad mínima; el número mínimo de calicatas por kilómetro. Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada, dentro de la faja que cubre el ancho de la calzada, a distancias aproximadamente iguales; para luego, sí se considera necesario, densificar la exploración en puntos singulares del trazo de la vía.

En caso el tramo tenga una longitud entre 500 m y 1,000 m el número de calicatas a realizar será la cantidad de calicatas para un kilómetro. Si el tramo tiene una longitud menor a 500 m, el número de calicatas a realizar será la mitad de calicatas indicadas.

2.4.2.4. Registro de excavación

De los estratos encontrados en cada una de las calicatas se obtendrán muestras representativas, las que deben ser descritas e identificadas mediante una tarjeta con la ubicación de la calicata (con coordenadas UTM - WGS84), número de muestra y profundidad y luego colocadas en bolsas de polietileno para su traslado al laboratorio. Así mismo, durante la ejecución de las investigaciones de campo se llevará un registro en el que se anotará el espesor de cada una de los estratos del subsuelo, sus características de

gradación y el estado de compacidad de cada uno de los materiales. Así mismo se extraerán muestras representativas de la sub-rasante para realizar ensayos de Módulos de resiliencia (M_r) o ensayos de CBR para correlacionarlos con ecuaciones de M_r , la cantidad de ensayos dependerá del tipo de carretera.

Tabla 5

Número de Ensayos de CBR

Tipo de Carretera	N° M_r y CBR
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	<ul style="list-style-type: none"> • Calzada 2 carriles por sentido: 1 M_r cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido • Calzada 3 carriles por sentido: 1 M_r cada 2 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido • Calzada 4 carriles por sentido: 1 M_r cada 1 km y 1 CBR cada 1 km x sentido
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	<ul style="list-style-type: none"> • Calzada 2 carriles por sentido: 1 M_r cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido • Calzada 3 carriles por sentido: 1 M_r cada 2 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido • Calzada 4 carriles por sentido: 1 M_r cada 1 km y 1 CBR cada 1 km x sentido
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000 - 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> • 1 M_r cada 3 km y 1 CBR cada 1 km
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000 - 401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> • Cada 1.5 km se realizará un CBR • (*)
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400 - 201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> • Cada 2 km se realizará un CBR • (*)
Carreteras con un IMDA \leq 200 veh/día, de una calzada.	<ul style="list-style-type: none"> • Cada 3 km se realizará un CBR

Fuente: Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”, pág. 28.

El número de ensayos indicado en la ilustración N°1, se aplica para pavimentos nuevos, reconstrucción y mejoramiento.

En caso el tramo tenga una longitud menor a la indicada, para el número de M_r o de CBR a realizar, la cantidad de ensayos indicada en el cuadro debe ser tomada como mínima.

2.4.2.5. Descripción de los suelos

Los suelos encontrados serán descritos y clasificados de acuerdo a metodología para construcción de vías, la clasificación se efectuará obligatoriamente por AASHTO y SUCS, se utilizarán los signos convencionales:

Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A - 1 - a		A - 5
	A - 1 - b		A - 6
	A - 3		A - 7 - 5
	A - 2 - 4		A - 7 - 6
	A - 2 - 5		Materia Orgánica
	A - 2 - 6		Roca Sana
	A - 2 - 7		Roca Desintegrada
	A - 4		

Figura 2. Signos Convencionales para Perfil de Calicatas - Clasificación AASHTO (Fuente: Simbología AASHTO)

	Grava bien graduada mezcla, grava con poco o nada de materia fino, variación en tamaños granulares		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo
	Grava mal granulada, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino		Arena arcillosa, mezcla de arena-arcillosa
	Grava limosa, mezcla de grava, arena limosa		Limo orgánico y arena muy fina, polvo de roca, arena fina limosa o arcillosa o limo arcilloso con ligera plasticidad
	Grava arcillosa, mezcla de grava-arena-arcilla; grava con material fino cantidad apreciable de material fino		Limo orgánico de plasticidad baja o mediano, arcilla grava, arcillaarenosa, arena limosa, arcilla magra
	Arena bien graduada, arena con grava, poco o nada de material fino. Arena limpia poco o nada de material fino, amplia variación en tamaños granulares y cantidades de partículas en tamaños intermedios		Limo orgánico y arcilla limosa orgánica, baja plasticidad
	Arena mal graduada con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de partículas intermedias		Limo inorgánico, suelo fino gravoso o limoso, micacea o diatometacea, limo elástico

Figura 3. Signos Convencionales para Perfil de Calicatas – Clasificación SUCS (Fuente: Manual de Ensayos y Materiales –Norma MTC E101, Símbolos gráficos para suelos)

2.4.2.6. Definición de pavimento

El pavimento es aquella estructura conformada por un conjunto de capas de materiales seleccionados y superpuestos, que reciben en forma directa las cargas del tránsito y los

transmiten al suelo en forma uniforme y disipada. Estas capas deben de estar adecuadamente compactadas hasta alcanzar la resistencia especificada.

Todo pavimento debe proporcionar una superficie de rodamiento de adecuado funcionamiento, capaz de resistir las cargas durante la vida útil de diseño. Las condiciones necesarias para su buen funcionamiento son las siguientes: ancho apropiado, resistencia adecuada al deslizamiento y a las cargas impuestas por el tráfico, buena adherencia y desagüe eficiente. Además debe proteger a la explanada de las precipitaciones y la intemperie.

Desde el punto de vista ingenieril se puede definir al pavimento como un elemento estructural que se encuentra apoyado en toda su superficie sobre el terreno de fundación llamado subrasante. Esta capa debe estar preparada para soportar un sistema de capas de espesores diferentes, denominado paquete estructural, diseñado para soportar cargas externas durante un determinado período de tiempo.

Las diferentes capas de material seleccionado que conforman el paquete estructural, reciben directamente las cargas de tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada. Es por ello que todo pavimento deberá presentar la resistencia adecuada para soportar los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua, así como abrasiones y punzonamientos (esfuerzos cortantes) producidos por el paso de personas o vehículos, la caída de objetos o la compresión de elementos que se apoyan sobre él.

Otras condiciones necesarias para garantizar el apropiado funcionamiento de un pavimento son el ancho de la vía; el trazo horizontal y vertical definido por el diseño geométrico; y la adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento, aún en condiciones húmedas.

2.4.2.7. Tipos de pavimentos

Se presentan principalmente 4 tipos de pavimentos, los cuales son flexibles, rígidos, semirrígidos y articulados. Se diferencian por la estructura y las capas que las conforman. Asimismo como se transmiten los esfuerzos y deflexiones a las capas subsecuentes.

Un pavimento rígido se compone de losas de concreto hidráulico con o sin acero. Este tipo de pavimentos no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores. La sección transversal de un pavimento rígido está compuesta por la losa de concreto hidráulico que va sobre la sub-base y estas sobre la sub-rasante. Tiene costos iniciales de construcción altos en comparación con los pavimentos flexibles y su periodo de vida varía entre 20 y 40 años.

El mantenimiento que requiere es mínimo, primordialmente en las juntas.

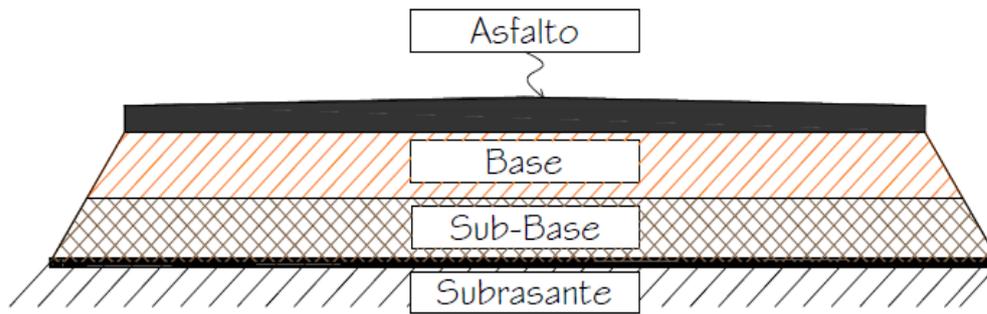


Figura 4. Sección típica transversal de un pavimento rígido. (Fuente: Medina y De La Cruz (2015))

Por otro lado un pavimento flexible cuenta con una carpeta asfáltica en la superficie de rodamiento, la cual permite pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa. Este pavimento está compuesto de una carpeta asfáltica, base granular y capa de sub-base. Es más económico en su construcción inicial, tiene un periodo de vida de 10 a 15 años. Requiere de un mantenimiento periódico para cumplir con su vida útil.

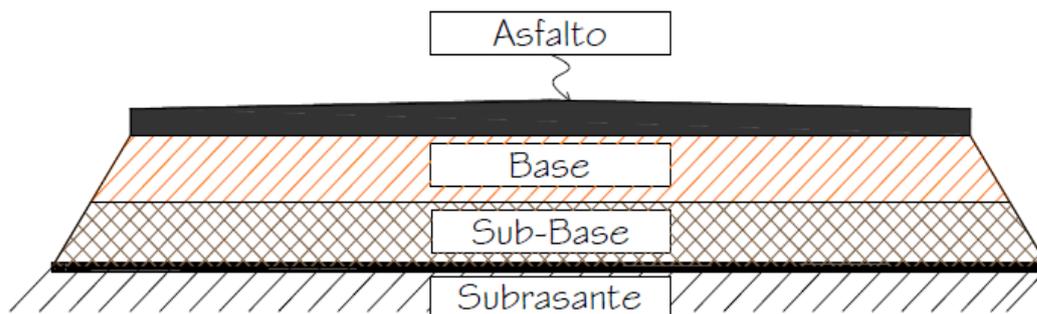


Figura 5. Sección típica transversal de un pavimento flexible. (Fuente: Medina y De La Cruz (2015))

Los pavimentos semi-rígidos contienen la misma estructura que los flexibles, con la variación que se rigidiza artificialmente una de las capas con algún aditivo que puede ser: asfalto, cal, cemento, emulsión o químicos; incrementando la capacidad portante del suelo. Dentro de este tipo están incluidos los pavimentos compuestos, los cuales combinan tipos de pavimentos flexibles y rígidos, normalmente la capa rígida está por debajo y la capa flexible por encima.

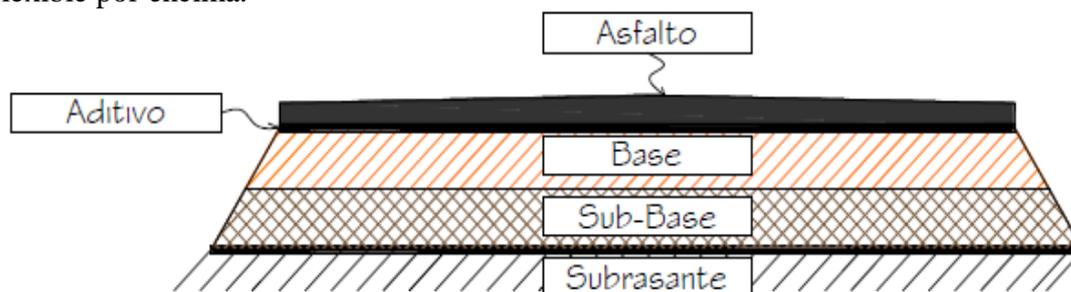


Figura 6. Sección típica transversal de un pavimento semi-rígido (Fuente: Medina y De La Cruz (2015))

Los pavimentos denominados articulados, son aquellos cuyas capas de rodadura se encuentran conformadas por bloques de concreto prefabricados, iguales entre si y de un espesor uniforme; y que se colocan sobre una capa delgada de arena, la cual se encuentra sobre una capa granular o la subrasante.

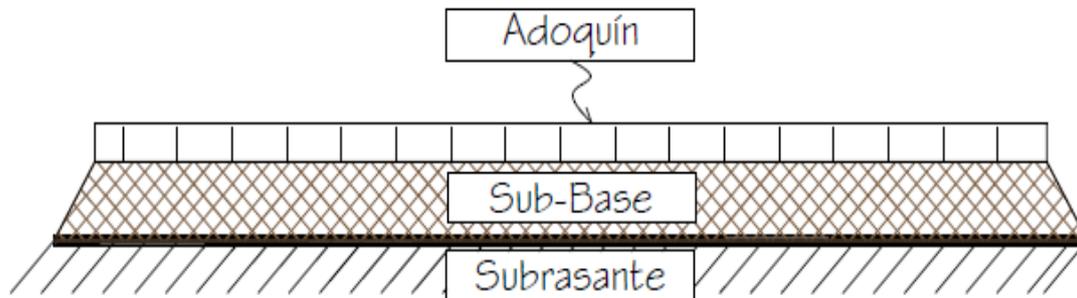


Figura 7. Sección típica transversal de un pavimento articulado (Fuente: Medina y De La Cruz (2015))

2.4.2.8. Elementos que integran el pavimento flexible

Los elementos que integran el pavimento flexible, son los siguientes:

Sub-rasante: Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tráfico previsto. Esta capa puede estar forma en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño. El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la sub-rasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incomprensibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad y por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la sub-rasante.

Sub-base: Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de sub-rasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la sub-base. La sub-base debe controlar el cambio de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento. Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Esta capa de material se coloca entre la sub-rasante y la capa de base, sirviendo como material de transición, en los pavimentos flexibles.

Base: Es la capa de pavimento que tiene como función primordial, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la sub-base y a través de ésta a la sub-rasante, y es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura.

Superficie de rodadura: Es la capa que se coloca sobre la base. Su objetivo principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para evitar filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores. Evita la desintegración de las capas subyacentes a causa del tránsito de vehículos. Asimismo, la superficie de rodadura, contribuye a aumentar la capacidad soporte del pavimento, absorbiendo cargas, si su espesor es apreciable (mayor de 4 centímetros), excepto el caso de riegos superficiales, ya que para estos se considera nula.

2.4.2.9. Condiciones para el adecuado funcionamiento del pavimento.

Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: ancho, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aún en condiciones húmedas. Es importante considerar que el aspecto más importante en la estructura de un pavimento, es el que tiene que ver con la resistencia de las capas, la cual debe ser la adecuada para atenuar los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua.

Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor capacidad los que se colocan en las capas inferiores, además de que son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza, y por consecuencia resultan los más económicos.

La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando determinamos el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

2.4.2.10. Serviciabilidad de los pavimentos

La serviciabilidad de los pavimentos, es la percepción que tienen los usuarios del nivel de servicio del pavimento. Es por ello que la opinión de ellos es la que debe ser medida para calificar la serviciabilidad.

La medición de la serviciabilidad de los pavimentos, también puede ser considerada como una evaluación de la superficie, pero hay que tener presente que ésta no es una evaluación completa. La serviciabilidad de los pavimentos ha sido representada en un índice, derivado de los resultados de la prueba AASHTO, en la cual se realiza la evaluación mediante una escala que varía de 0 a 5, siendo 5 el valor para pavimentos con una superficie perfecta y 0 para un pavimento con una superficie en malas condiciones.

En la siguiente tabla se presenta la escala de calificación de la serviciabilidad según la norma AASHTO.

Tabla 6

Calificación de la serviciabilidad de los pavimentos

Calificación		Descripción
Numérica	Verbal	
5.0 – 4.0	Muy buena	Sólo los pavimentos nuevos (o casi nuevos) son los suficientemente suaves y sin deterioro para calificar en su categoría. La mayor parte de los pavimentos construidos o recarpeteados durante el año de inspección normalmente se clasifican como muy buenos.
4.0 – 3.0	Buena	Los pavimentos de esta categoría, si bien no son tan suaves como los “Muy buenos”, entregan un manejo de primera clase y muestran un poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden estar comenzando a mostrar signos de ahuellamientos y fisuración aleatoria. Los pavimentos rígidos pueden estar empezando a mostrar evidencias de un nivel de deterioro superficial, como desconches y fisuras menores.
3.0 – 2.0	Regular	En esta categoría la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos y puede presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales en los pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamientos, parches y agrietamiento. Los pavimentos rígidos en este grupo pueden presentar fallas en las juntas, agrietamientos, escalonamiento y pumping.
2.0 – 1.0	Mala	Los pavimentos en esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde puedan afectar la velocidad del tránsito de flujo libre. Los pavimentos flexibles pueden tener grandes baches y grietas profundas; el deterioro incluye pérdida de áridos, agrietamiento y ahuellamientos; y ocurre en un 50% o más de la superficie. El deterioro en pavimentos rígidos incluye desconche de juntas de escalonamiento, parches, agrietamiento y bombeo.
1.0 – 0.0	Muy mala	Los pavimentos en esta categoría se encuentran en una situación de extremo deterioro. Los caminos se pueden pasar a velocidades reducidas y con considerables problemas de manejo. Existen grandes baches y grietas profundas. El deterioro ocurre en un 75% o más de la superficie.

Fuente: Armijos (2009).

2.4.2.11. Ciclo de vida de los pavimentos

Los pavimentos son inversiones importantes que exigen mantenimiento y reparación a lo largo de su vida. En la actualidad ha aumentado la necesidad de conservar los caminos en buen estado para su adecuado funcionamiento. Los pavimentos sufren deterioros constantes debido a las sollicitaciones externas (lluvia, tránsito, etc.), el efecto que estas producen es permanente y puede resultar en un pavimento intransitable.

El deterioro de un pavimento se da desde una etapa inicial, con un deterioro casi imperceptible hasta el deterioro total. Es por ello que los pavimentos se proyectan para que sirvan un determinado número de años, esta proyección es denominada ciclo de vida útil, como se muestra en la siguiente figura.

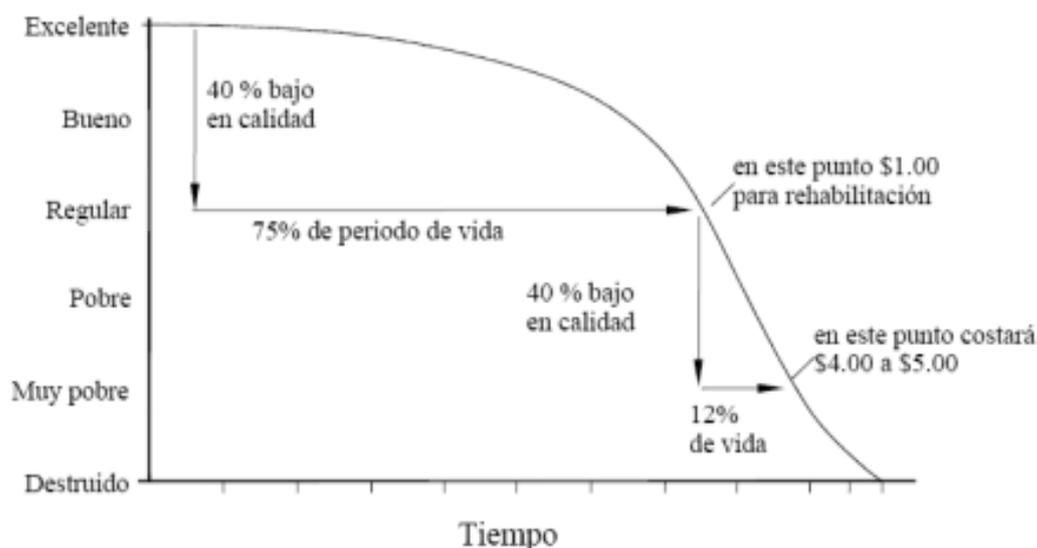


Figura 8. Ciclo de vida de un pavimento (Fuente: Gamboa (2009))

El ciclo de vida del pavimento puede clasificarse en cuatro etapas, estas son:

Etapla 1: Construcción. En esta etapa, el estado del pavimento es excelente y cumple con los estándares de calidad necesarios para satisfacer a los usuarios. El costo en el que se ha incurrido hasta esta etapa es la construcción del paquete estructural.

Etapla 2: Deterioro imperceptible. El pavimento ha sufrido un desgaste progresivo en el transcurso del tiempo, el deterioro en esta etapa ya existe pero es poco visible y no es apreciable por los usuarios. Generalmente el mayor daño se produce en la superficie de rodadura debido al tránsito y clima. Para disminuir el deterioro o desgaste se hace necesario aplicar una serie de medidas de mantenimiento y conservación, si no se efectúan la vida útil

del pavimento se reduce drásticamente. El camino sigue estando en buenas condiciones y sirviendo adecuadamente a los usuarios, el costo del mantenimiento anual esta alrededor del 0,4 a 0,6% del costo de construcción. El estado del camino varía desde excelente a regular.

Etapa 3: Deterioro acelerado. Después de varios años, los elementos del pavimento están cada vez más deteriorados, la resistencia al tránsito se ve reducida. La estructura básica del pavimento está dañada, esto lo podemos constatar por las fallas visibles en la superficie de rodadura. Esta etapa es corta, ya que la destrucción es bastante acelerada. El estado del camino varía desde regular hasta muy pobre.

Etapa 4. Deterioro total. Esta última etapa puede durar varios años y constituye el desgaste completo del pavimento. La transitabilidad se ve seriamente reducida y los vehículos empiezan a experimentar daños en sus neumáticos, ejes, etc. Los costos de operación de los vehículos aumenta y la vía se hace intransitable para autos.

Es importante citar que con la ayuda del índice de serviciabilidad o el índice de condición de un pavimento se puede determinar la condición. Asimismo existen otras variables además del tiempo como el número de ejes equivalentes y el tránsito acumulado que nos permitirán graficar la degradación del pavimento. Asimismo el ciclo de vida de los pavimentos puede alargarse si se realiza trabajos de mantenimiento y rehabilitación de manera oportuna, tal como se puede apreciar en la siguiente figura.

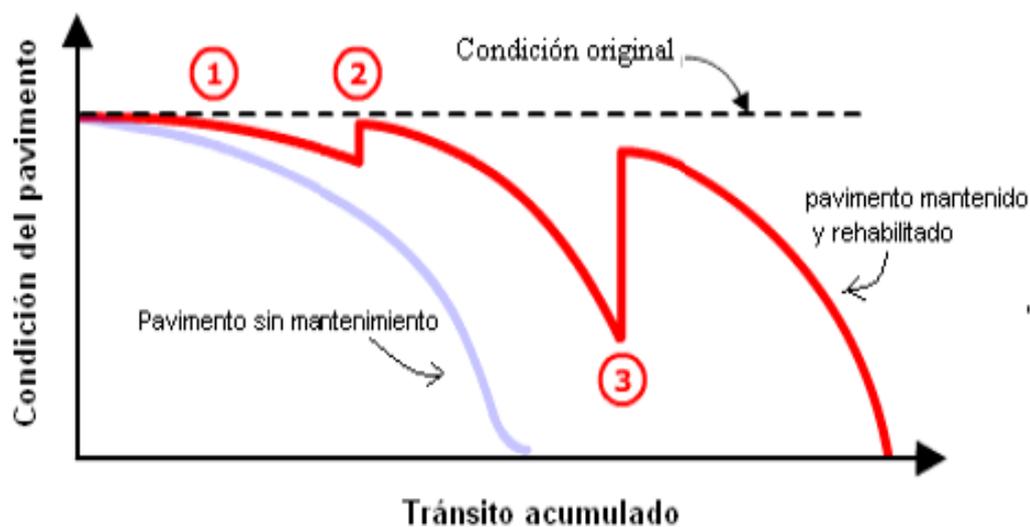


Figura 9. Ciclo de vida de los pavimentos con mantenimiento y rehabilitación (Fuente: Medina y De La Cruz (2015))

Se puede observar la curva gris que representa el comportamiento de un pavimento sin intervención y la de color rojo con mantenimiento y rehabilitación. En la curva roja se

identificación tres puntos, los cuales se describen a continuación: En el punto 1 el pavimento se deteriora con menor rapidez debido a trabajos de mantenimiento. En el punto 2 se aplica un trabajo inicial de rehabilitación que restaura la condición del pavimento. Por último en el punto 3 se realiza una segunda intervención de rehabilitación que restaura la mayoría de la condición original del pavimento.

2.4.2.12. Ciclo de vida deseable del pavimento

En nuestro país existen muchos caminos que han llegado a la última etapa, de deterioro total, la reconstrucción de caminos demanda mucha inversión económica, esto sin agregar el malestar que causa entre los usuarios. Esta etapa pudo evitarse con un adecuado mantenimiento. El ciclo de vida se inicia con un camino nuevo o rehabilitado, el estado del pavimento en estos casos es excelente. El mantenimiento progresivo hará que el desgaste natural del camino sea más lento, conservando así, el estado del pavimento en un nivel muy bueno y bueno. La duración de esta etapa en un camino no mantenido dura entre dos y tres años, en cambio, en un camino mantenido esta etapa puede prolongarse entre cuatro y cinco años. Cuando el estado del pavimento es regular se hace necesario un mantenimiento de tipo periódico, es decir, rehabilitar la superficie de rodadura, conservando el estado óptimo del camino. Un camino sin mantenimiento a los dos años ya presenta problemas en circulación de vehículos, en cambio un camino mantenido pues prolonga esta etapa hasta después de los seis años, como se detalla en la figura siguiente.

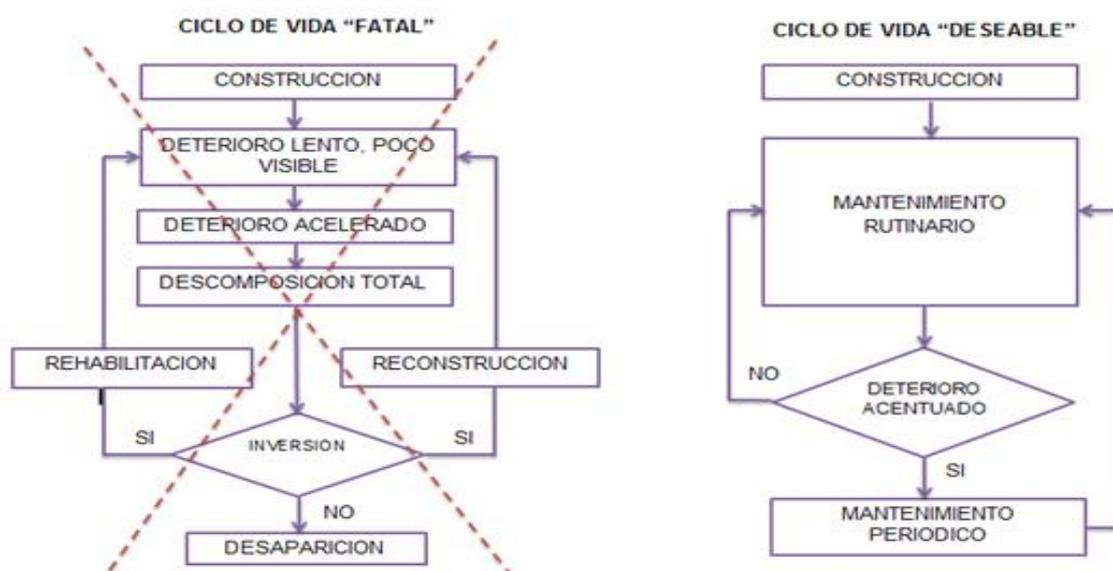


Figura 10. Diagrama de flujo del ciclo de vida y el ciclo de vida deseable del pavimento (Fuente: Gamboa (2009))

2.4.2.13. Evaluación de pavimentos

Los pavimentos son estructuras diseñadas para entregar al usuario seguridad y comodidad al transitar, esto significa que la plataforma debe entregar un nivel de servicio acorde a la demanda solicitada.

La evaluación de pavimentos consiste en un informe, en el cual se presenta el estado en el que se halla la superficie del mismo, para de esta manera poder adoptar las medidas adecuadas de reparación y mantenimiento, con las cuales se pretende prolongar la vida útil de los pavimentos, es así, que es de suma importancia elegir y realizar una evaluación que sea objetiva y acorde al medio en que se encuentre.

2.4.2.14. Importancia de evaluación de pavimentos

La evaluación de pavimentos es importante, pues permitirá conocer a tiempo los deterioros presentes en la superficie, y de esta manera realizar las correcciones, consiguiendo con ello brindar al usuario una serviciabilidad óptima.

Con la realización de una evaluación periódica del pavimento se podrá predecir el nivel de vida de una red o un proyecto. La evaluación de pavimentos, también permitirá optimizar los costos de rehabilitación, pues si se trata un deterioro de forma temprana se prolonga su vida de servicio ahorrando de esta manera gastos mayores.

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

2.4.2.15. Tipos de fallas en los pavimentos

Las fallas en los pavimentos pueden ser divididas en dos grandes grupos que son fallas de superficie y fallas estructurales:

Fallas de superficie

Son las fallas en la superficie de rodamiento, debidos a las fallas en la capa de rodadura y que no guardan relación con la estructura de la calzada. La corrección de estas se fallas se efectúa con solo regularizar su superficie y conferirle la necesaria impermeabilidad y rugosidad.

Fallas estructurales

Comprende los defectos de la superficie de rodamiento, cuyo origen es una falla en la estructura del pavimento, es decir, de una o más capas constitutivas que deben resistir el complejo juego de solicitaciones que imponen el tránsito y el conjunto de factores climáticos. Para corregir este tipo de fallas es necesario un refuerzo sobre el pavimento existente para que el paquete estructural responda a las exigencias del tránsito presente y futuro estimado.

2.4.2.16. Tipos de evaluación de pavimentos

Existen diversos métodos de evaluación de pavimentos, que son aplicables a calles y carreteras, entre los cuales, tenemos el Método VIZIR, Método FHWA/OH99/004 y el que se utilizó en la presente tesis ASTM D 6433-07.

Método VIZIR

Es un índice que representa la degradación superficial de un pavimento, representando una condición global que permitirá tomar algunas medidas de mantenimiento y rehabilitación. Este índice ha sido desarrollado por el Laboratoire Central des Ponts et Chaussées – France o por sus siglas en inglés LCPC. El sistema VIZIR, es un sistema de simple comprensión y aplicación que establece una distinción clara entre las fallas estructurales y las fallas funcionales y que ha sido adoptado en países en vía de desarrollo y en especial en zonas tropicales.

Método FHWA/OH99/004

Este índice presenta una alta claridad conceptual y es de sencilla aplicación, pondera los factores dando mayor énfasis a ciertos deterioros que son muy abundantes o importantes en regiones donde hay estaciones muy marcadas pero no en áreas tropicales.

Método ASTM D6433-07

También conocido como Present Condition Index, o por sus siglas PCI. Este índice sirve para representar las degradaciones superficiales que se presentan en los pavimentos flexibles y rígidos.

2.4.2.17. Índice de condición del pavimento

El PCI (Pavement Condition Index) o índice de condición del pavimento es un indicador numérico que clasifica a la superficie condición del pavimento. El PCI proporciona una

medida de la condición actual del pavimento sobre la base de deterioro observado en la superficie del pavimento, que también indica la integridad estructural y estado de la superficie operativa (localizada la rugosidad y la seguridad).

El PCI no se puede medir estructuralmente ni tampoco la capacidad de proporcionar una medición directa de deslizamiento resistencia o rugosidad. Se proporciona un objetivo y racional base para determinar las necesidades de mantenimiento y reparación y prioridades. La monitorización continua de la PCI se utiliza para establecer la tasa de deterioro del pavimento, que permite a principios identificación de las necesidades de rehabilitación importantes. El PCI proporciona comentarios sobre el desempeño del pavimento para su validación o mejoramiento del diseño actual del pavimento y los procedimientos de mantenimiento.

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. En el siguiente cuadro se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Tabla 7
Rangos de calificación del PCI

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

Fuente: Vásquez (2002).

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen clase, severidad y cantidad de cada daño que presenta. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie. La información de los daños obtenida como parte del inventario ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima.

2.4.2.18. Procedimiento de evaluación de la condición de pavimento

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. Esta información se registra en formatos adecuados para tal fin. En las siguientes figuras se ilustra el formato para la inspección de pavimentos asfálticos y de concreto, respectivamente.

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
PCI-01. CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA.**

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

Figura 11. Formato de exploración de condición para carreteras con superficie asfáltica. (Fuente: Vásquez (2002))

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
PCI-02. CARRETERAS CON SUPERFICIE EN CONCRETO HIDRÁULICO**

EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO																																									
ZONA	ABSCISA INICIAL	UNIDAD DE MUESTREO																																							
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>																																							
CÓDIGO VIA	ABSCISA FINAL	NUMERO DE LOSAS																																							
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>																																							
INSPECCIONADA POR			FECHA																																						
<input type="text"/>			<input type="text"/>																																						
No.	Daño	No.	Daño	No.	Daño																																				
21	Blow up / Buckling.	27	Desnivel Carril / Berma.	34	Punzonamiento.																																				
22	Grieta de esquina.	28	Grieta lineal.	35	Cruce de vía férrea																																				
23	Losa dividida.	29	Parcheo (grande).	36	Desconchamiento																																				
24	Grieta de durabilidad "D".	30	Parcheo (pequeño)	37	Retracción																																				
25	Escala.	31	Pulimento de agregados	38	Descascaramiento de esquina																																				
26	Sello de junta.	32	Popouts	39	Descascaramiento de junta																																				
		33	Bombeo																																						
Daño	Severidad	No. Losas	Densidad (%)	Valor deducido	ESQUEMA																																				
					<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%; text-align: center;">o</td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">10</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">9</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">8</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">...</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">1 2 3 4</td> </tr> </table>	o	o	o	o	o							10						9						8						...						1 2 3 4
o	o	o	o	o																																					
					10																																				
					9																																				
					8																																				
					...																																				
					1 2 3 4																																				

Figura 12. Formato de exploración de condición para carreteras con superficie en concreto hidráulico (Fuente: Vásquez (2002))

2.4.2.19. Unidades de muestreo

Se divide la vía en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y de capa de rodadura.

Carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7,30 m, el área de la unidad de muestreo debe estar en el rango $230,00 \pm 93,00 \text{ m}^2$. En el siguiente cuadro se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada.

Tabla 8

Longitudes de unidades de muestreo asfálticas.

Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5,0	46,0
5,5	41,8
6,0	38,3
6,5	35,4
7,3 (máximo)	31,5

Fuente: Vásquez (2002).

Carreteras con capa de rodadura en losas de concreto de cemento Pórtland y losas con longitud inferior a 7.60 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango 20 ± 8 losas. Se recomienda tomar el valor medio de los rangos y en ningún caso definir unidades por fuera de aquellos. Para cada pavimento inspeccionado se sugiere la elaboración de esquemas que muestren el tamaño y la localización de las unidades ya que servirá para referencia futura.

2.4.2.20. Determinación de las unidades de muestreo para evaluación

En la evaluación de una red vial puede tenerse un número muy grande de unidades de muestreo cuya inspección demandará tiempo y recursos considerables; por lo tanto, es necesario aplicar un proceso de muestreo.

Identificar las ramas del pavimento con diferentes usos tales como carreteras y estacionamiento en el plan de distribución de la red.

Dividir cada rama en secciones basadas en los pavimentos, diseño, historia de la construcción, tráfico y condición.

Dividir las secciones del pavimento en unidades de muestra.

Seleccionar las unidades de muestra a inspeccionar. El número de las unidades de muestra a inspeccionar pueden variar de la siguiente manera: todas las unidades de muestra en la sección, un número de unidades de muestra que proporcione un 95% de confiabilidad, o un número menor de unidades de muestra.

Todas las unidades de muestra en la sección pueden ser inspeccionadas para determinar el PCI promedio de la sección. Esto suele ser excluido por fines de gestión de rutina por la mano de obra disponible, los fondos y el tiempo. El muestreo total, sin embargo, es deseable para el análisis del proyecto para ayudar a estimar las cantidades de mantenimiento y reparación.

En la evaluación de un proyecto se deben inspeccionar todas las unidades; sin embargo, de no ser posible, el número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la ecuación 1, la cual produce un estimado del PCI ± 5 del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

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

Donde:

n = unidades de muestreo.

e = error admisible en la estimación del PCI de la sección, comúnmente, $e = \pm 5$ puntos de PCI

s = desviación estándar de la PCI de una unidad de muestra a otra dentro de la sección. Cuando se realiza la inspección, se supone que la desviación estándar es de diez para pavimentos asfálticos y 15 para pavimentos de concreto hidráulico. Esta suposición debe comprobarse como se describe a continuación: se determinan los valores PCI. Para inspecciones posteriores, la desviación estándar de la inspección precedente debe utilizarse para determinar n.

N = número total de unidades de muestra en la sección

2.4.2.21. Selección de las unidades de muestreo para la inspección

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

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

$$i = \frac{N}{n} \text{ Ecuación 1}$$

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 (por ejemplo, 3,7 se redondea a 3).

El inicio al azar se selecciona entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestreo i . Así, si $i = 3$, la unidad inicial de muestreo a inspeccionar puede estar entre 1 y 3. Las unidades de muestreo para evaluación se identifican como (S), (S + 1), (S + 2), etc.

Siguiendo con el ejemplo, si la unidad inicial de muestreo para inspección seleccionada es 2 y el intervalo de muestreo (i) es igual a 3, las subsiguientes unidades de muestreo a inspeccionar serían 5, 8, 11, 14, etc. Sin embargo, si se requieren cantidades de daño exactas para pliegos de licitación (rehabilitación), todas y cada una de las unidades de muestreo deberán ser inspeccionadas.

2.4.2.22. Selección de unidades de muestreo adicionales

Uno de los mayores inconvenientes del método aleatorio es la exclusión del proceso de inspección y evaluación de algunas unidades de muestreo en muy mal estado. También puede suceder que unidades de muestreo que tienen daños que sólo se presentan una vez (por ejemplo, “cruce de línea férrea”) queden incluidas de forma inapropiada en un muestreo aleatorio.

Para evitar lo anterior, la inspección deberá establecer cualquier unidad de muestreo inusual e inspeccionarla como una “unidad adicional” en lugar de una “unidad representativa” o aleatoria. Cuando se incluyen unidades de muestreo adicionales, el cálculo del PCI es ligeramente modificado para prevenir la extrapolación de las condiciones inusuales en toda la sección.

2.4.2.23. Evaluación de la condición

El procedimiento varía de acuerdo con el tipo de superficie del pavimento que se inspecciona.

Debe seguirse estrictamente la definición de los daños de este manual para obtener un valor del PCI confiable.

La evaluación de la condición incluye los siguientes aspectos:

Equipo.

GPS para ubicar los daños, fallas y/o deterioros.

Wincha para medir las longitudes y sacar áreas de los daños.

Regla y una cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones.

Manual de Daños del PCI con los formatos correspondientes y en cantidad suficiente para el desarrollo de la actividad.

Procedimiento.

Se inspecciona una unidad de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de los daños de acuerdo con el Manual de Daños, y se registra la información en el formato correspondiente. Se deben conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos de medida los daños. Se usa un formulario u “hoja de información de exploración de la condición” para cada unidad muestreo y en los formatos cada renglón se usa para registrar un daño, su extensión y su nivel de severidad.

El equipo de inspección deberá implementar todas las medidas de seguridad para su desplazamiento en la vía inspeccionada, tales como dispositivos de señalización y advertencia para el vehículo acompañante y para el personal en la vía.

2.4.2.24. Cálculo del PCI para concretos asfálticos

Se realiza el siguiente procedimiento:

Luego de haber identificado el tipo de daño, la severidad y su unidad de medida, se suma la cantidad total de cada tipo de daño, por cada nivel de severidad.

Divida la cantidad total de cada tipo de daño, por cada nivel de severidad, por el área total de la unidad de muestra y multiplicar por 100, para obtener el porcentaje de densidad de cada falla y nivel de severidad.

Determinar el valor deductivo (DV) para cada tipo de falla y nivel de severidad, mediante las curvas en los ábacos por tipo de daños y/o fallas y niveles de severidad.

Determinar el máxima valor corregido (CDV). El procedimiento para determinar el CDV de los valores deductivos individuales es idéntico para pavimentos asfálticos y de concreto hidráulico. De igual manera, se utiliza las curvas del ábaco para determinación del CDV.

Para determinar el CDV máximo, enumere los valores individuales de deducción en orden descendente, determine el número permitido de deducciones, m , utilizando la fórmula: $m = 1 + (9/98)(100 - HDV) \leq 10$ o mediante la siguiente figura:

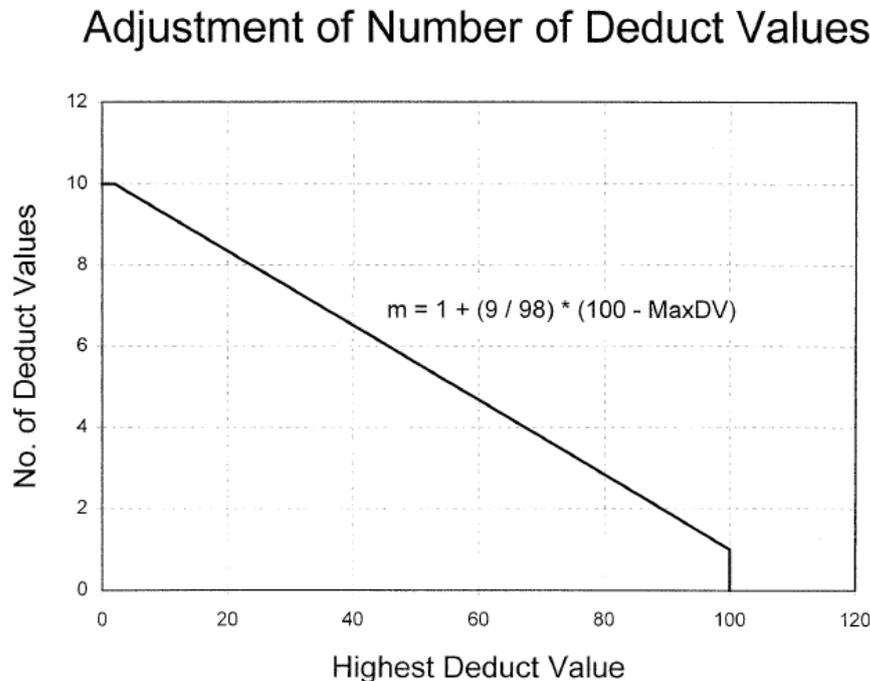


Figura 13. Número de valores deducidos (Fuente: ASTM (2007))

El número de valores deducibles individuales se reduce a m los mayores valores deducibles, incluyendo la parte fraccionaria. Si se dispone de valores inferiores a m se utilizan los valores deducibles.

Determinar el máximo CDV iterativamente, determinando el número de valores deducidos q , mayores que 2,0; luego determine el valor deducido total, sumando todos los valores deducidos individuales, determine el CDV con q y el valor deducido en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento. Finalmente reduzca a 2,0 el menor de los valores deductivos individuales que sea mayor que 2,0 y realice nuevamente el procedimiento. El máximo CDV es el mayor de los CDV obtenidos en este proceso.

Calcular el PCI, sustrayendo el máximo CDV de 100, es decir $PCI = 100 - \text{Máx CDV}$.

Se determina la calificación del estado de la vía, mediante el resultado del PCI.

En la siguiente figura, se presenta un formato para el desarrollo del proceso iterativo de obtención del “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV.

PAVEMENT CONDITION INDEX
FORMATO PARA LA OBTENCIÓN DEL MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO

No.	Valores Deducidos								Total	q	CDV
1											
2											
3											
4											

Figura 14. Formato para las iteraciones del cálculo del CDV (Fuente: Vásquez (2002))

2.4.2.25. Cálculo del PCI de una sección de pavimento

Si todas las unidades de muestra encuestadas son seleccionadas al azar, entonces el PCI de la sección (PCI_S) se calcula como el área ponderada PCI de las unidades de muestra aleatoriamente encuestadas (PCI_r), como se muestra a continuación:

$$PCI_S = PCI_r = \frac{\sum_{i=1}^n (PCI_{ri} \times A_{ri})}{\sum_{i=1}^n A_{ri}}$$

Donde:

PCI_r = PCI ponderado por área de unidades de muestra encuestadas aleatoriamente.

PCI_{ri} = PCI de unidad de muestra aleatoria i.

A_{ri} = área de unidad de muestra aleatoria encuestada.

n = número de unidades de muestra encuestadas aleatoriamente.

n = número de unidades de muestra encuestadas aleatoriamente.

2.4.2.26. Calidad de tránsito

Cuando se realiza la inspección de daños, debe evaluarse la calidad de tránsito (o calidad del viaje) para determinar el nivel de severidad de daños tales como las corrugaciones y el cruce de vía férrea. A continuación se presenta una guía general de ayuda para establecer el grado de severidad de la calidad de tránsito.

L (Leve): Se perciben las vibraciones en el vehículo (por ejemplo, por corrugaciones) pero no es necesaria una reducción de velocidad en aras de la comodidad o la seguridad; o los abultamientos o hundimientos individuales causan un ligero rebote del vehículo pero creando poca incomodidad.

M (Medio): Las vibraciones en el vehículo son significativas y se requiere alguna reducción de la velocidad en aras de la comodidad y la seguridad; o los abultamientos o hundimientos individuales causan un rebote significativo, creando incomodidad.

A (Alto): Las vibraciones en el vehículo son tan excesivas que debe reducirse la velocidad de forma considerable en aras de la comodidad y la seguridad; o los abultamientos o hundimientos individuales causan un excesivo rebote del vehículo, creando una incomodidad importante o un alto potencial de peligro o daño severo al vehículo.

2.4.2.27. Tipos de deterioros en pavimentos flexibles

2.4.2.27.1. Piel de cocodrilo.

Las grietas de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito.

El agrietamiento se inicia en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda. Inicialmente, las grietas se propagan a la superficie como una serie de grietas longitudinales paralelas.

Después de repetidas cargas de tránsito, las grietas se conectan formando polígonos con ángulos agudos que desarrollan un patrón que se asemeja a una malla de gallinero o a la piel de cocodrilo. Generalmente, el lado más grande de las piezas no supera los 0,60 m.

El agrietamiento de piel de cocodrilo ocurre únicamente en áreas sujetas a cargas repetidas de tránsito tales como las huellas de las llantas. Por lo tanto, no podría producirse sobre la totalidad de un área a menos que esté sujeta a cargas de tránsito en toda su extensión (un patrón de grietas producido sobre un área no sujeta a cargas se denomina como “grietas en bloque”, el cual no es un daño debido a la acción de la carga).

La piel de cocodrilo se considera como un daño estructural importante y usualmente se presenta acompañado de ahuellamiento.

2.4.2.27.2. Niveles de severidad

L (Leve): Grietas finas capilares y longitudinales que se desarrollan de forma paralela con unas pocas o ninguna interconectadas. Las grietas no están descascaradas, es decir, no presentan rotura del material a lo largo de los lados de la grieta.



Figura 15. Piel de cocodrilo con nivel de severidad bajo o leve (Corros, Urbáez y Corredor (2009))

M (Medio): Desarrollo posterior de grietas piel de cocodrilo del nivel L, en un patrón o red de grietas que pueden estar ligeramente descascaradas.

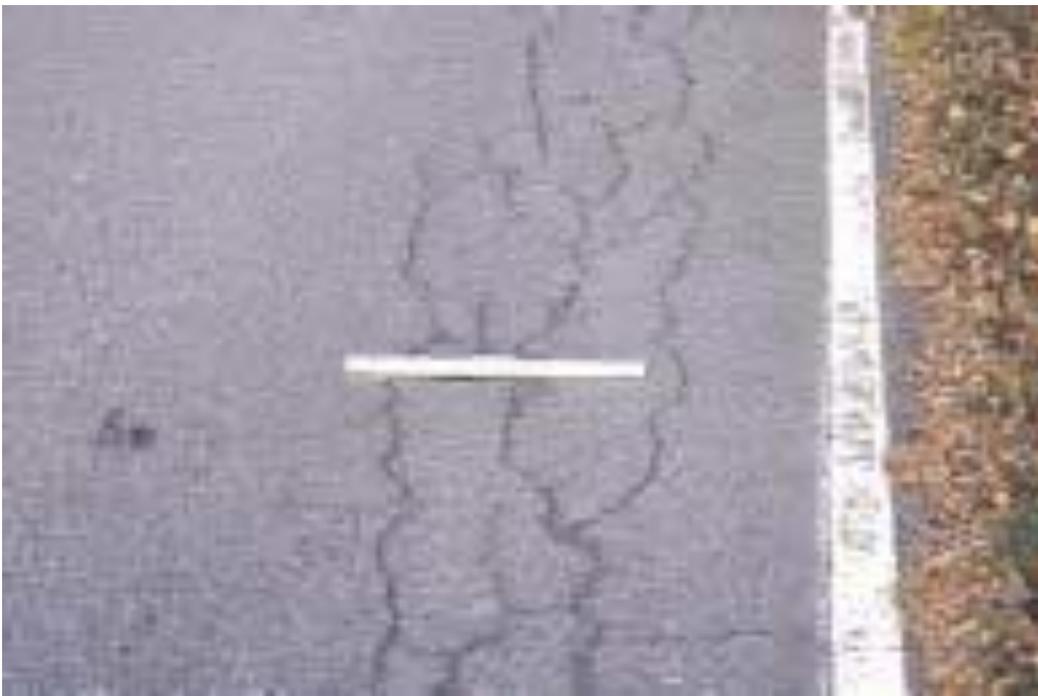


Figura 16. Piel de cocodrilo con nivel de severidad medio (Fuente: Corros, Urbáez y Corredor (2009))

A (Alto): Red o patrón de grietas que ha evolucionado de tal forma que las piezas o pedazos están bien definidos y descascarados los bordes. Algunos pedazos pueden moverse bajo el tránsito.



Figura 17. Piel de cocodrilo con nivel de severidad alto (Fuente: Corros, Urbáez y Corredor (2009))

Medida

Se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. La mayor dificultad en la medida de este tipo de daño radica en que, a menudo, dos o tres niveles de severidad coexisten en un área deteriorada. Si estas porciones pueden ser diferenciadas con facilidad, deben medirse y registrarse separadamente. De lo contrario, toda el área deberá ser calificada en el mayor nivel de severidad presente.

Opciones de reparación

L: No se hace nada, sello superficial. Sobrecarpeta.

M: Parcheo parcial o en toda la profundidad (Full Depth). Sobrecarpeta. Reconstrucción.

A: Parcheo parcial o Full Depth. Sobrecarpeta. Reconstrucción.

2.4.2.27.3. Exudación.

La exudación es una película de material bituminoso en la superficie del pavimento, la cual forma una superficie brillante, cristalina y reflectora que usualmente llega a ser pegajosa.

La exudación es originada por exceso de asfalto en la mezcla, exceso de aplicación de un sellante asfáltico o un bajo contenido de vacíos de aire.

Ocurre cuando el asfalto llena los vacíos de la mezcla en medio de altas temperaturas ambientales y entonces se expande en la superficie del pavimento. Debido a que el proceso

de exudación no es reversible durante el tiempo frío, el asfalto se acumulará en la superficie.

Niveles de severidad

L: La exudación ha ocurrido solamente en un grado muy ligero y es detectable únicamente durante unos pocos días del año. El asfalto no se pega a los zapatos o a los vehículos.



Figura 18. Exudación con nivel de severidad bajo o leve (Fuente: Corros, Urbáez y Corredor (2009))

M: La exudación ha ocurrido hasta un punto en el cual el asfalto se pega a los zapatos y vehículos únicamente durante unas pocas semanas del año.



Figura 19. Exudación con nivel de severidad media (Fuente: Corros, Urbáez y Corredor (2009))

A: La exudación ha ocurrido de forma extensa y gran cantidad de asfalto se pega a los zapatos y vehículos al menos durante varias semanas al año.



Figura 20. Exudación con nivel de severidad alta (Fuente: Corros, Urbáez y Corredor (2009))

- **Medida**

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Si se contabiliza la exudación no deberá contabilizarse el pulimento de agregados.

- **Opciones de reparación**

L: No se hace nada.

M: Se aplica arena / agregados y cilindrado.

H: Se aplica arena / agregados y cilindrado (precalentando si fuera necesario).

2.4.2.27.4. Agrietamiento en bloque

Las grietas en bloque son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares. Los bloques pueden variar en tamaño de 0.30 m x 0.3 m a 3.0 m x 3.0 m. Las grietas en bloque se originan principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios (lo cual origina ciclos diarios de esfuerzo / deformación unitaria). Las grietas en bloque no están asociadas a cargas e indican que el asfalto se ha endurecido significativamente.

Normalmente ocurre sobre una gran porción del pavimento, pero algunas veces aparecerá únicamente en áreas sin tránsito. Este tipo de daño difiere de la piel de cocodrilo en que este último forma pedazos más pequeños, de muchos lados y con ángulos agudos. También, a diferencia de los bloques, la piel de cocodrilo es originada por cargas repetidas de tránsito y, por lo tanto, se encuentra únicamente en áreas sometidas a cargas vehiculares (por lo menos en su primera etapa).

Niveles de severidad

L: Bloques definidos por grietas de baja severidad, como se define para grietas longitudinales y transversales.

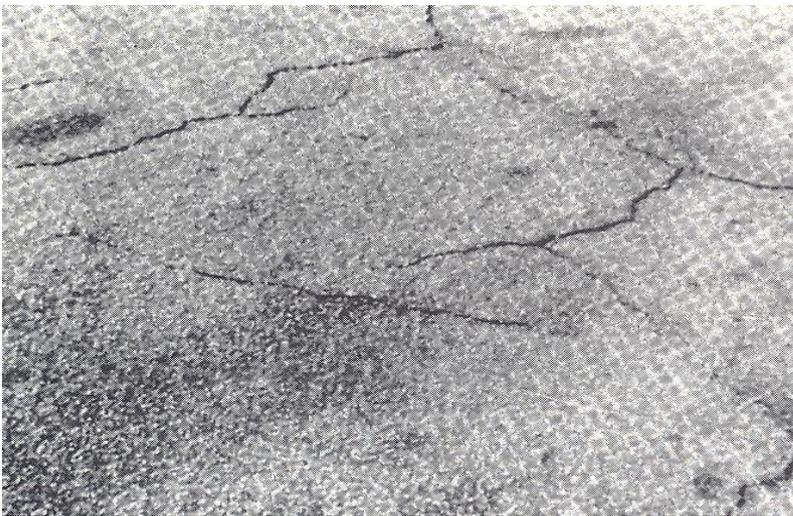


Figura 21. Agrietamiento en bloque con nivel de severidad leve o bajo (Fuente: Corros, Urbáez y Corredor (2009))

M: Bloques definidos por grietas de severidad media.



Figura 22. Agrietamiento en bloque con nivel de severidad media (Fuente: Corros, Urbáez y Corredor (2009))

A: Bloques definidos por grietas de alta severidad.



Figura 23. Agrietamiento en bloque con nivel de severidad alta (Fuente: Corros, Urbáez y Corredor (2009))

Medida

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Generalmente, se presenta un solo nivel de severidad en una sección de pavimento; sin embargo, cualquier área de la sección de pavimento que tenga diferente nivel de severidad deberá medirse y anotarse separadamente.

Opciones de reparación

L: Sellado de grietas con ancho mayor a 3,0 mm. Riego de sello.

M: Sellado de grietas, reciclado superficial. Escarificado en caliente y sobrecarpeta.

A: Sellado de grietas, reciclado superficial. Escarificado en caliente y sobrecarpeta.

2.4.2.27.5. Abultamientos y Hundimientos

Los abultamientos son pequeños desplazamientos hacia arriba localizados en la superficie del pavimento. Se diferencian de los desplazamientos, pues estos últimos son causados por pavimentos inestables. Los abultamientos, por otra parte, pueden ser causados por varios factores, que incluyen:

1. Levantamiento o combadura de losas de concreto de cemento Pórtland con una sobrecarpeta de concreto asfáltico.
2. Expansión por congelación (crecimiento de lentes de hielo).
3. Infiltración y elevación del material en una grieta en combinación con las cargas del tránsito.

Los hundimientos son desplazamientos hacia abajo, pequeños y abruptos, de la superficie del pavimento.

Las distorsiones y desplazamientos que ocurren sobre grandes áreas del pavimento, causando grandes o largas depresiones en el mismo, se llaman “ondulaciones”.

Niveles de severidad

L: Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de baja severidad.



Figura 24. Abultamientos y hundimientos con nivel de severidad bajo o leve (Fuente: Vásquez (2002))

M: Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad media.



Figura 25. Abultamientos y hundimientos con nivel de severidad media (Fuente: Vásquez (2002))

A: Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad alta.



Figura 26. Abultamientos y hundimientos con nivel de severidad alta (Fuente: Vásquez (2002))

Medida

Se miden en pies lineales (o metros lineales). Si aparecen en un patrón perpendicular al flujo del tránsito y están espaciadas a menos de 3,0 m, el daño se llama corrugación. Si el abultamiento ocurre en combinación con una grieta, ésta también se registra.

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Reciclado en frío. Parcheo profundo o parcial.

A: Reciclado (fresado) en frío. Parcheo profundo o parcial. Sobrecarpeta.

2.4.2.27.6. Corrugación

La corrugación (también llamada “lavadero”) es una serie de cimas y depresiones muy próximas que ocurren a intervalos bastante regulares, usualmente a menos de 3.0 m. Las cimas son perpendiculares a la dirección del tránsito. Este tipo de daño es usualmente causado por la acción del tránsito combinada con una carpeta o una base inestables. Si los abultamientos ocurren en una serie con menos de 3.0 m de separación entre ellos, cualquiera sea la causa, el daño se denomina corrugación.

Niveles de severidad

L: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de baja severidad.



Figura 27. Corrugación con nivel de severidad bajo o leve (Fuente: Corros, Urbáez y Corredor (2009))

M: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de mediana severidad.



Figura 28. Corrugación con nivel de severidad media (Fuente: Corros, Urbáez y Corredor (2009))

A: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de alta severidad.

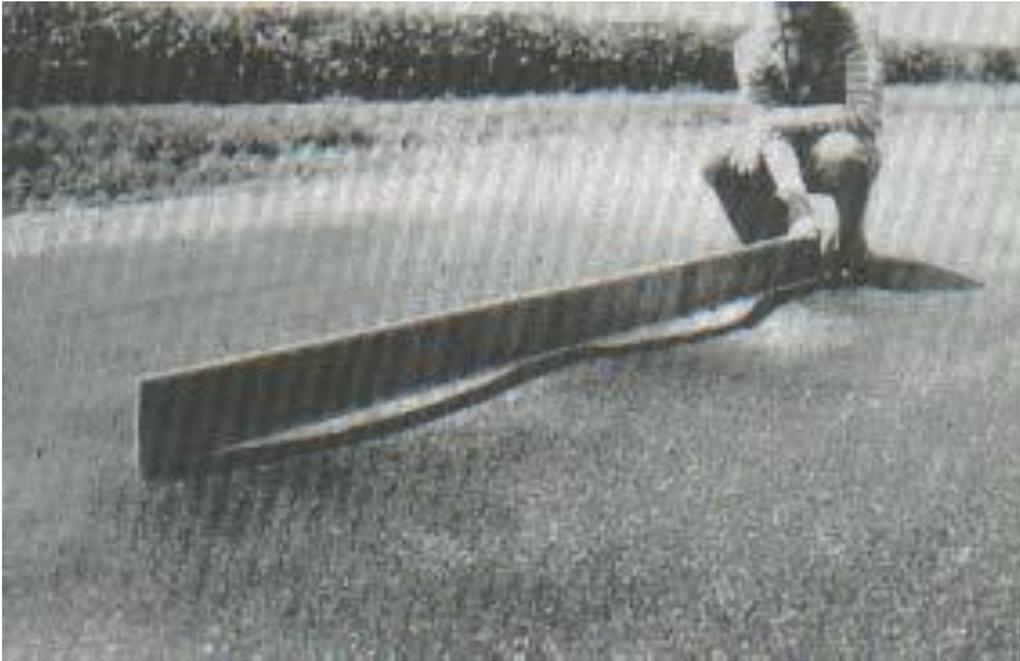


Figura 29. Corrugación con nivel de severidad media (Fuente: Corros, Urbáez y Corredor (2009))

Medida

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada.

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Reconstrucción.

A: Reconstrucción.

2.4.2.27.7. Depresión

Son áreas localizadas de la superficie del pavimento con niveles ligeramente más bajos que el pavimento a su alrededor. En múltiples ocasiones, las depresiones suaves sólo son visibles después de la lluvia, cuando el agua almacenada forma un “baño de pájaros” (bird bath).

En el pavimento seco las depresiones pueden ubicarse gracias a las manchas causadas por el agua almacenada.

Las depresiones son formadas por el asentamiento de la subrasante o por una construcción incorrecta. Originan alguna rugosidad y cuando son suficientemente profundas o están llenas de agua pueden causar hidropneumático.

Los hundimientos a diferencia de las depresiones, son las caídas bruscas del nivel.

Niveles de severidad.

Máxima profundidad de la depresión:

L: 13,0 a 25,0 mm.



Figura 30. Depresión con nivel de severidad bajo o leve (Fuente: Vásquez (2002))

M: 25,0 a 51,0 mm.

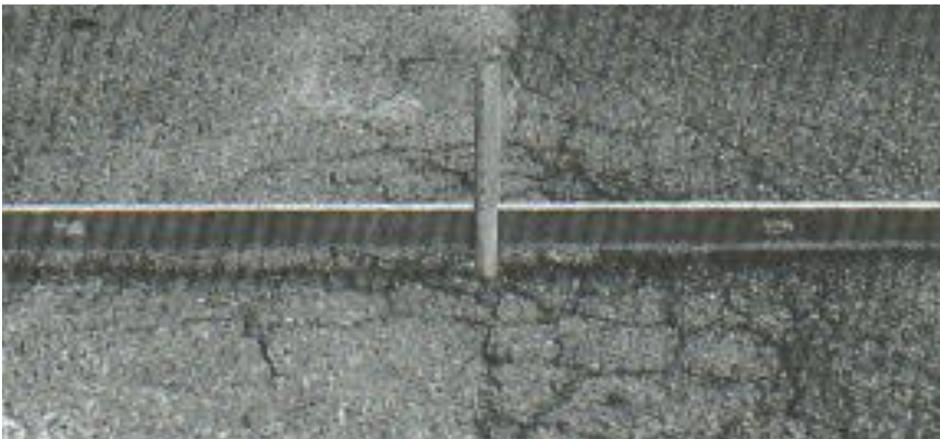


Figura 31. Depresión con nivel de severidad media (Fuente: Vásquez (2002))

A: Más de 51,0 mm.

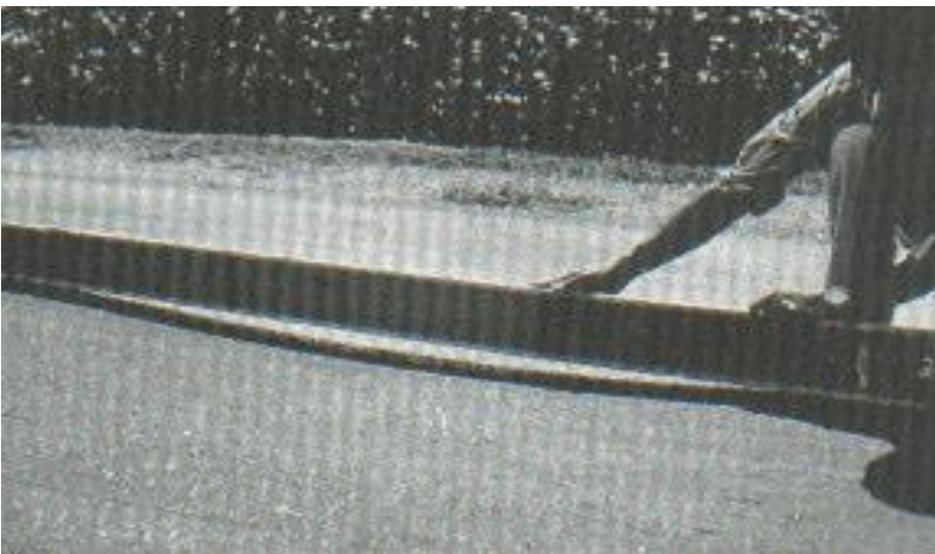


Figura 32. Depresión con nivel de severidad alta (Fuente: Vásquez (2002))

Medida

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) del área afectada.

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Parcheo superficial, parcial o profundo.

A: Parcheo superficial, parcial o profundo.

2.4.2.27.8. Grieta de borde

Las grietas de borde son paralelas y, generalmente, están a una distancia entre 0.30 y 0.60 m del borde exterior del pavimento. Este daño se acelera por las cargas de tránsito y puede originarse por debilitamiento, debido a condiciones climáticas, de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento. El área entre la grieta y el borde del pavimento se clasifica de acuerdo con la forma como se agrieta (a veces tanto que los pedazos pueden removerse).

Niveles de severidad.

L: Agrietamiento bajo o medio sin fragmentación o desprendimiento.



Figura 33. Grieta de borde con nivel de severidad bajo o leve (Fuente: Vásquez (2002))

M: Grietas medias con algo de fragmentación y desprendimiento.



Figura 34. Grieta de borde con nivel de severidad media (Fuente: Vásquez (2002))

A: Considerable fragmentación o desprendimiento a lo largo del borde.



Figura 35. Grieta de borde con nivel de severidad alta (Fuente: Vásquez (2002))

Medida

La grieta de borde se mide en pies lineales (o metros lineales).

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Sellado de grietas con ancho mayor a 3 mm.

M: Sellado de grietas. Parcheo parcial - profundo.

A: Parcheo parcial – profundo.

2.4.2.27.9. Grieta de reflexión de junta (de losas de concreto de cemento Pórtland)

Este daño ocurre solamente en pavimentos con superficie asfáltica construidos sobre una losa de concreto de cemento Pórtland. No incluye las grietas de reflexión de otros tipos de base (por ejemplo, estabilizadas con cemento o cal). Estas grietas son causadas principalmente por el movimiento de la losa de concreto de cemento Pórtland, inducido por temperatura o humedad, bajo la superficie de concreto asfáltico. Este daño no está relacionado con las cargas; sin embargo, las cargas del tránsito pueden causar la rotura del concreto asfáltico cerca de la grieta. Si el pavimento está fragmentado a lo largo de la grieta, se dice que aquella está descascarada. El conocimiento de las dimensiones de la losa subyacente a la superficie de concreto asfáltico ayuda a identificar estos daños.

Niveles de severidad

L: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10,0 mm; o
2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).

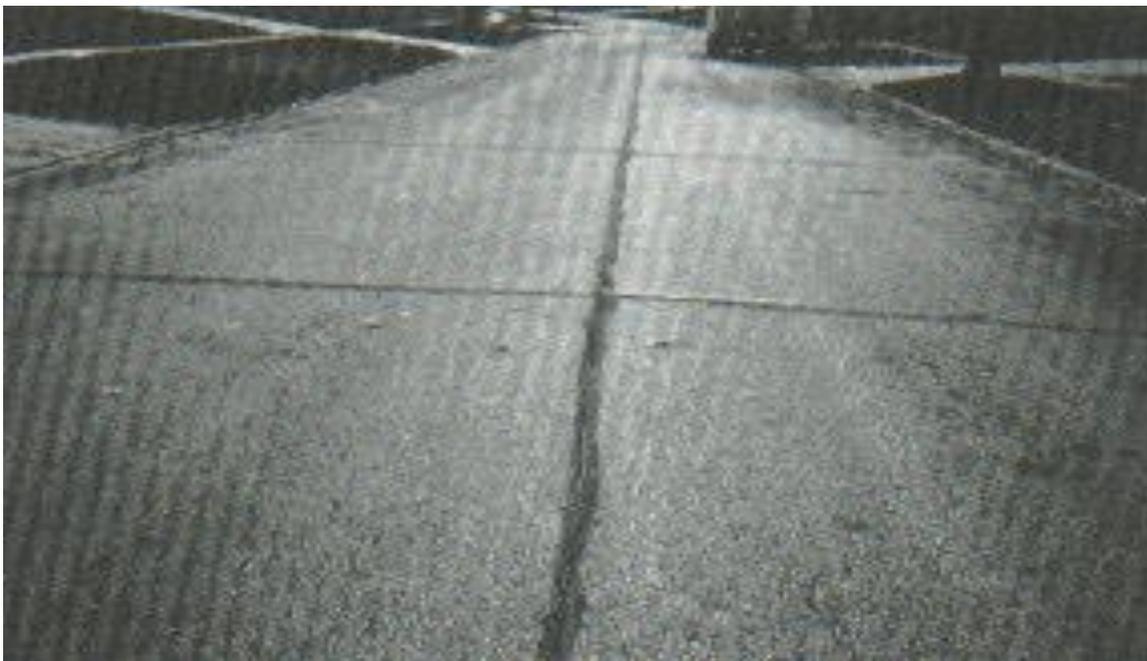


Figura 36. Grieta de reflexión de junta con nivel de severidad bajo o leve (Fuente: Vásquez (2002)).

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno con ancho entre 10,0 mm y 76,0 mm.
2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76,0 mm rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.
3. Grieta rellena de cualquier ancho rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.

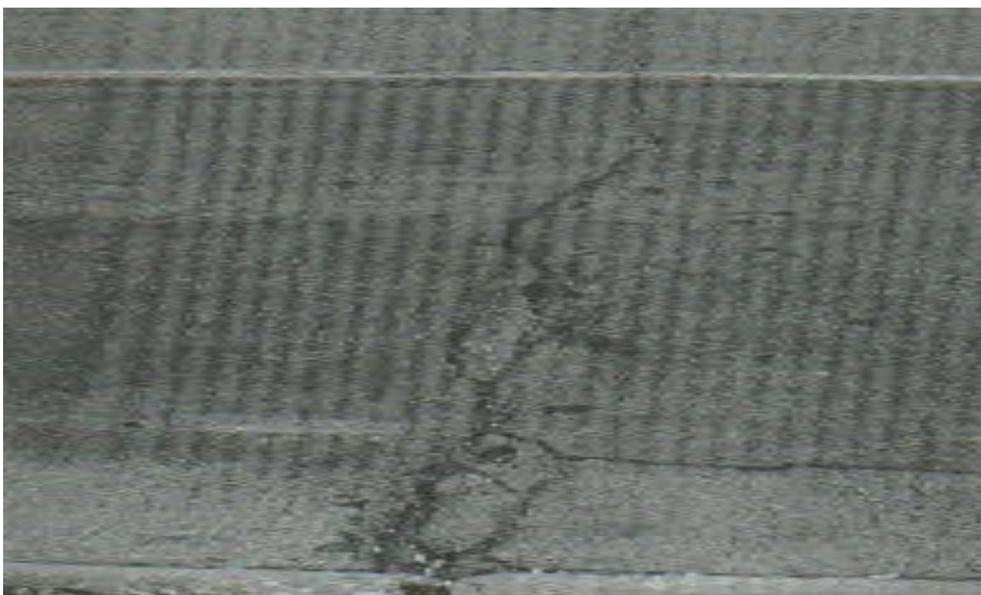


Figura 37. Grieta de reflexión de junta con nivel de severidad mediaM (Fuente: Vásquez (2002))

A: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de un agrietamiento aleatorio de media o alta severidad.
2. Grietas sin relleno de más de 76,0 mm.
3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas (la grieta está severamente fracturada).



Figura 38. Grieta de reflexión de junta con nivel de severidad alta (Fuente: Vásquez (2002))

Medida

La grieta de reflexión de junta se mide en pies lineales (o metros lineales). La longitud y nivel de severidad de cada grieta debe registrarse por separado. Por ejemplo, una grieta de 15,0 m puede tener 3,0 m de grietas de alta severidad; estas deben registrarse de forma separada. Si se presenta un abultamiento en la grieta de reflexión este también debe registrarse.

Opciones de Reparación.

L: Sellado para anchos superiores a 3,00 mm.

M: Sellado de grietas. Parcheo de profundidad parcial.

A: Parcheo de profundidad parcial. Reconstrucción de la junta.

2.4.2.27.10. Desnivel carril/berma

El desnivel carril / berma es una diferencia de niveles entre el borde del pavimento y la berma. Este daño se debe a la erosión de la berma, el asentamiento berma o la colocación de sobre carpetas en la calzada sin ajustar el nivel de la berma.

Niveles de severidad

L: La diferencia en elevación entre el borde del pavimento y la berma está entre 25,0 y 51,0 mm.



Figura 39. Desnivel carril/berma con nivel de severidad bajo o leve (Fuente: Vásquez (2002))

M: La diferencia está entre 51,0 mm y 102,0 mm.



Figura 40. Desnivel carril/berma con nivel de severidad media (Fuente: Vásquez (2002))

A: La diferencia en elevación es mayor que 102,00 mm.

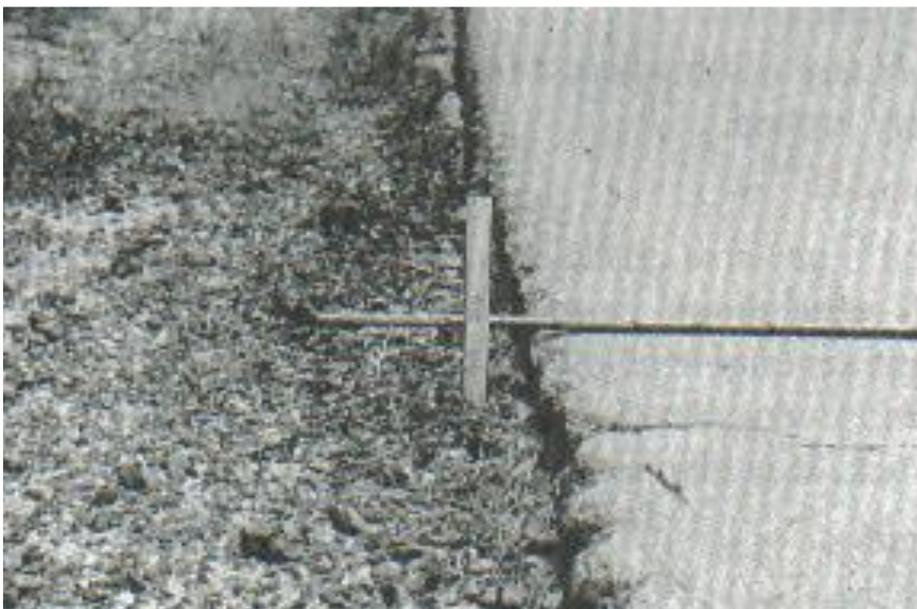


Figura 41. Desnivel carril/berma con nivel de severidad alta (Fuente: Vásquez (2002))
Medida

El desnivel carril / berma se miden en pies lineales (o metros lineales).

Opciones de reparación

L, M, H: Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.

2.4.2.27.11. Grietas longitudinales y transversales

Las grietas longitudinales son paralelas al eje del pavimento o a la dirección de construcción y pueden ser causadas por:

1. Una junta de carril del pavimento pobremente construida.
2. Contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al endurecimiento del asfalto o al ciclo diario de temperatura.
3. Una grieta de reflexión causada por el agrietamiento bajo la capa de base, incluidas las grietas en losas de concreto de cemento Pórtland, pero no las juntas de pavimento de concreto.

Las grietas transversales se extienden a través del pavimento en ángulos aproximadamente rectos al eje del mismo o a la dirección de construcción. Usualmente, este tipo de grietas no está asociado con carga.

Niveles de severidad

L: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10,0 mm.
2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).



Figura 42. Grietas longitudinales y transversales con nivel de severidad bajo o leve (Fuente: Vásquez (2002))

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho entre 10,0 mm y 76,0 mm.
2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76,0 mm, rodeada de grietas aleatorias pequeñas.

3. Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas aleatorias pequeñas.



Figura 43. Grietas longitudinales y transversales con nivel de severidad media (Fuente: Vásquez (2002))

A: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas aleatorias pequeñas de severidad media o alta.
2. Grieta sin relleno de más de 76,0 mm de ancho.
3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas.



Figura 44. Grietas longitudinales y transversales con nivel de severidad alta (Fuente: Vásquez (2002))

Medida

Las grietas longitudinales y transversales se miden en pies lineales (o metros lineales). La longitud y severidad de cada grieta debe registrarse después de su identificación. Si la grieta no tiene el mismo nivel de severidad a lo largo de toda su longitud, cada porción de la grieta con un nivel de severidad diferente debe registrarse por separado. Si ocurren abultamientos o hundimientos en la grieta, estos deben registrarse.

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Sellado de grietas de ancho mayor que 3,0 mm.

M: Sellado de grietas.

A: Sellado de grietas. Parcheo parcial.

2.4.2.27.12. Parcheo y acometidas de servicios públicos

Un parche es un área de pavimento la cual ha sido remplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente. Un parche se considera un defecto no importa que tan bien se comporte (usualmente, un área parchada o el área adyacente no se comporta tan bien como la sección original de pavimento). Por lo general se encuentra alguna rugosidad asociada con este daño.

Niveles de severidad.

L: El parche está en buena condición buena y es satisfactorio. La calidad del tránsito se califica como de baja severidad o mejor.



Figura 45. Parcheo y acometidas de servicio con nivel de severidad bajo o leve (Fuente: Vásquez (2002))

M: El parche está moderadamente deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de severidad media.



Figura 46. Parcheo y acometidas de servicio con nivel de severidad media (Fuente: Vásquez (2002))

A: El parche está muy deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de alta severidad. Requiere pronta sustitución.



Figura 47. Parcheo y acometidas de servicio con nivel de severidad alta (Fuente: Vásquez (2002))

Medida.

Los parches se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Sin embargo, si un solo parche tiene áreas de diferente severidad, estas deben medirse y registrarse de forma separada. Por ejemplo, un parche de 2,32 m² puede tener 0,9 m² de severidad media y 1,35 m² de baja severidad. Estas áreas deben registrarse separadamente. Ningún otro daño (por ejemplo, desprendimiento y agrietamiento) se registra dentro de un parche; aún si el material del parche se está desprendiendo o agrietando, el área se califica únicamente como parche. Si una cantidad importante de pavimento ha sido reemplazada, no se debe registrar como un parche sino como un nuevo pavimento (por ejemplo, la sustitución de una intersección completa).

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Sustitución del parche.

A: Sustitución del parche.

2.4.2.27.13. Pulimento de agregados

Este daño es causado por la repetición de cargas de tránsito. Cuando el agregado en la superficie se vuelve suave al tacto, la adherencia con las llantas del vehículo se reduce considerablemente. Cuando la porción de agregado que está sobre la superficie es pequeña, la textura del pavimento no contribuye de manera significativa a reducir la velocidad del vehículo. El pulimento de agregados debe contarse cuando un examen revela que el agregado que se extiende sobre la superficie es degradable y que la superficie del mismo es suave al tacto. Este tipo de daño se indica cuando el valor de un ensayo de resistencia al deslizamiento es bajo o ha caído significativamente desde una evaluación previa.

Niveles de severidad

No se define ningún nivel de severidad. Sin embargo, el grado de pulimento deberá ser significativo antes de ser incluido en una evaluación de la condición y contabilizado como defecto.



Figura 48. Pulimento de agregados (Fuente: Vásquez (2002))

Medida

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Si se contabiliza exudación, no se tendrá en cuenta el pulimento de agregados.

Opciones de reparación

L, M, A: No se hace nada. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Fresado y sobrecarpeta.

2.4.2.27.14. Huecos

Los huecos son depresiones pequeñas en la superficie del pavimento, usualmente son diámetros menores que 0,90 m y con forma de tazón. Por lo general presentan bordes aguzados y lados verticales en cercanías de la zona superior. El crecimiento de los huecos se acelera por la acumulación de agua dentro del mismo. Los huecos se producen cuando el tráfico arranca pequeños pedazos de la superficie del pavimento. La desintegración del pavimento progresa debido a mezclas pobres en la superficie, puntos débiles de la base o la subrasante, o porque se ha alcanzado una condición de piel de cocodrilo de severidad alta.

Con frecuencia los huecos son daños asociados a la condición de la estructura y no deben confundirse con desprendimiento o meteorización. Cuando los huecos son producidos por piel de cocodrilo de alta severidad deben registrarse como huecos, no como meteorización.

Niveles de severidad

Los niveles de severidad para los huecos de diámetro menor que 762 mm están basados en la profundidad y el diámetro de los mismos, como se detalla en el cuadro siguiente.

Si el diámetro del hueco es mayor que 762 mm, debe medirse el área en pies cuadrados (o metros cuadrados) y dividida entre 5 pies² (0,47m²) para hallar el número de huecos

equivalentes. Si la profundidad es menor o igual que 25,0 mm, los huecos se consideran como de severidad media. Si la profundidad es mayor que 25,0 mm la severidad se considera como alta.

Tabla 9

Niveles de severidad para huecos

Profundidad máxima del hueco (mm)	Diámetro medio (mm)		
	102 a 103	203 a 457	457 a 762
12,7 a 25,4	L	L	M
> 25,4 a 50,8	L	M	A
> 50,8	M	M	A

Fuente: Vásquez (2002).



Figura 49. Huecos con nivel de severidad baja o leve (Fuente: Vásquez (2002))



Figura 50. Huecos con nivel de severidad media (Fuente: Vásquez (2002))



Figura 51. Huecos con nivel de severidad alta (Fuente: Vásquez (2002))

Medida

Los huecos se miden contando aquellos que sean de severidad baja, media y alta, y registrándolos separadamente.

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Parcheo parcial o profundo.

M: Parcheo parcial o profundo.

A: Parcheo profundo.

2.4.2.27.15. Cruce de vía férrea

Los defectos asociados al cruce de vía férrea son depresiones o abultamientos alrededor o entre los rieles.

Niveles de severidad

L: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de baja severidad.



Figura 52. Cruce de vía férrea con nivel de severidad bajo o leve (Fuente: Vásquez (2002))

M: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad media.



Figura 53. Cruce de vía férrea con nivel de severidad media (Fuente: Vásquez (2002))

A: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad alta.



Figura 54. Cruce de vía férrea con nivel de severidad alta (Fuente: Vásquez (2002))

Medida

El área del cruce se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Si el cruce no afecta la calidad de tránsito, entonces no debe registrarse. Cualquier abultamiento considerable causado por los rieles debe registrarse como parte del cruce.

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Parcheo superficial o parcial de la aproximación. Reconstrucción del cruce.

A: Parcheo superficial o parcial de la aproximación. Reconstrucción del cruce.

2.4.2.7.16. Ahuellamiento

El ahuellamiento es una depresión en la superficie de las huellas de las ruedas. Puede presentarse el levantamiento del pavimento a lo largo de los lados del ahuellamiento, pero, en muchos casos, éste sólo es visible después de la lluvia, cuando las huellas estén llenas de agua. El ahuellamiento se deriva de una deformación permanente en cualquiera de las capas del pavimento o la subrasante, usualmente producida por consolidación o movimiento lateral de los materiales debidos a la carga del tránsito. Un ahuellamiento importante puede conducir a una falla estructural considerable del pavimento.

Niveles de severidad

Profundidad media del ahuellamiento:

L: 6,0 a 13,0 mm.

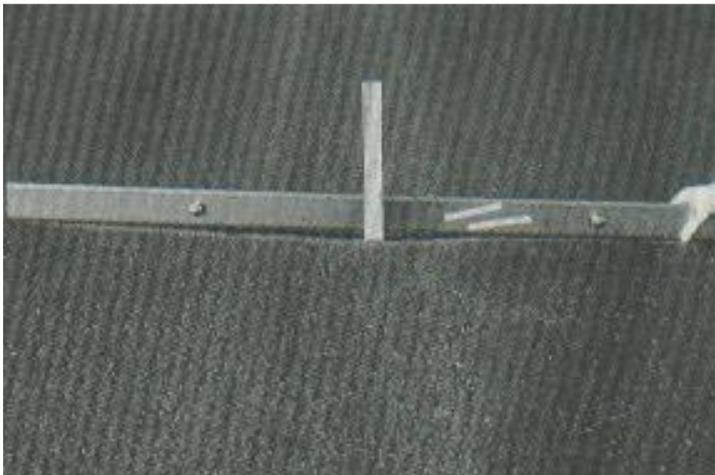


Figura 55. Ahuellamiento con nivel de severidad bajo o leve (Fuente: Vásquez (2002))

M: >13,0 mm a 25,0 mm.



Figura 56. Ahuellamiento con nivel de severidad media (Fuente: Vásquez (2002))

A: > 25,0 mm.



Figura 57. Ahuellamiento con nivel de severidad alta (Fuente: Vásquez (2002))

Medida

El ahuellamiento se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada y su severidad está definida por la profundidad media de la huella. La profundidad media del ahuellamiento se calcula colocando una regla perpendicular a la dirección del mismo, midiendo su profundidad, y usando las medidas tomadas a lo largo de aquel para calcular su profundidad media.

Opciones de reparación

- L: No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta.
- M: Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobrecarpeta.
- A: Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobrecarpeta.

2.4.2.27.17. Desplazamiento

El desplazamiento es un corrimiento longitudinal y permanente de un área localizada de la superficie del pavimento producido por las cargas del tránsito. Cuando el tránsito empuja contra el pavimento, produce una onda corta y abrupta en la superficie. Normalmente, este daño sólo ocurre en pavimentos con mezclas de asfalto líquido inestables (cutback o emulsión).

Los desplazamientos también ocurren cuando pavimentos de concreto asfáltico confinan pavimentos de concreto de cemento Pórtland. La longitud de los pavimentos de concreto de cemento Pórtland se incrementa causando el desplazamiento.

Niveles de severidad

- L: El desplazamiento causa calidad de tránsito de baja severidad.



Figura 58. Desplazamiento con nivel de severidad leve (Fuente: Vásquez (2002))

M: El desplazamiento causa calidad de tránsito de severidad media.



Figura 59. Desplazamiento con nivel de severidad media (Fuente: Vásquez (2002))

A: El desplazamiento causa calidad de tránsito de alta severidad.



Figura 60. esplazamiento con nivel de severidad alta (Fuente: Vásquez (2002))

Medida

Los desplazamientos se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Los desplazamientos que ocurren en parches se consideran para el inventario de daños como parches, no como un daño separado.

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Fresado.

M: Fresado. Parcheo parcial o profundo.

A: Fresado. Parcheo parcial o profundo.

2.4.2.27.18. Grietas parabólicas

Las grietas parabólicas por deslizamiento (slippage) son grietas en forma de media luna creciente. Son producidas cuando las ruedas que frenan o giran inducen el deslizamiento o la deformación de la superficie del pavimento. Usualmente, este daño ocurre en presencia de una mezcla asfáltica de baja resistencia, o de una liga pobre entre la superficie y la capa siguiente en la estructura de pavimento. Este daño no tiene relación alguna con procesos de inestabilidad geotécnica de la calzada.

Nivel de severidad

L: Ancho promedio de la grieta menor que 10,0 mm.



Figura 61. Grietas parabólicas con nivel de severidad bajo o leve (Fuente: Vásquez (2002))

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Ancho promedio de la grieta entre 10,0 mm y 38,0 mm.
2. El área alrededor de la grieta está fracturada en pequeños pedazos ajustados.



Figura 62. Grietas parabólicas con nivel de severidad media (Fuente: Vásquez (2002))

A: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Ancho promedio de la grieta mayor que 38,0 mm.
2. El área alrededor de la grieta está fracturada en pedazos fácilmente removibles.



Figura 63. Grietas parabólicas con nivel de severidad alta (Fuente: Vásquez (2002))

Medida

El área asociada con una grieta parabólica se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) y se califica según el nivel de severidad más alto presente en la misma.

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Parcheo parcial.

M: Parcheo parcial.

A: Parcheo parcial.

2.4.2.27.19. Hinchamiento

El hinchamiento se caracteriza por un pandeo hacia arriba de la superficie del pavimento – una onda larga y gradual con una longitud mayor que 3,0 m. El hinchamiento puede estar acompañado de agrietamiento superficial. Usualmente, este daño es causado por el congelamiento en la subrasante o por suelos potencialmente expansivos.

Nivel de severidad

L: El hinchamiento causa calidad de tránsito de baja severidad. El hinchamiento de baja severidad no es siempre fácil de ver, pero puede ser detectado conduciendo en el límite de velocidad sobre la sección de pavimento. Si existe un hinchamiento se producirá un movimiento hacia arriba.

M: El hinchamiento causa calidad de tránsito de severidad media.

A: El hinchamiento causa calidad de tránsito de alta severidad.



Figura 64. Hinchamiento. El nivel de severidad se basa en el criterio de la calidad de tránsito (Fuente: Vásquez (2002))

Medida

El hinchamiento se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada.

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Reconstrucción.

A: Reconstrucción.

2.4.2.27.20. Meteorización/Desprendimiento de agregados

La meteorización y el desprendimiento son la pérdida de la superficie del pavimento debida a la pérdida del ligante asfáltico y de las partículas sueltas de agregado. Este daño indica que, o bien el ligante asfáltico se ha endurecido de forma apreciable, o que la mezcla presente es de pobre calidad.

Además, el desprendimiento puede ser causado por ciertos tipos de tránsito, por ejemplo, vehículos de orugas. El ablandamiento de la superficie y la pérdida de los agregados debidos al derramamiento de aceites también se consideran como desprendimiento.

Niveles de severidad

L: Han comenzado a perderse los agregados o el ligante. En algunas áreas la superficie ha comenzado a deprimirse. En el caso de derramamiento de aceite, puede verse la mancha del mismo, pero la superficie es dura y no puede penetrarse con una moneda.



Figura 65. Meteorización y/o desprendimiento de agregados con nivel de severidad bajo o leve (Fuente: Vásquez (2002))



Figura 66. Meteorización y/o desprendimiento de agregados con nivel de severidad media (Fuente: Vásquez (2002))

M: Se han perdido los agregados o el ligante. La textura superficial es moderadamente rugosa y ahuecada. En el caso de derramamiento de aceite, la superficie es suave y puede penetrarse con una moneda.

A: Se han perdido de forma considerable los agregados o el ligante. La textura superficial es muy rugosa y severamente ahuecada. Las áreas ahuecadas tienen diámetros menores que 10,0 mm y profundidades menores que 13,0 mm; áreas ahuecadas mayores se consideran huecos. En el caso de derramamiento de aceite, el ligante asfáltico ha perdido su efecto ligante y el agregado está suelto.



Figura 67. Meteorización y/o desprendimiento de agregados con nivel de severidad alta (Fuente: Vásquez (2002))

Medida

La meteorización y el desprendimiento se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada.

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Sello superficial. Tratamiento superficial.

M: Sello superficial. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta.

A: Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.

Para los niveles M y H, si el daño es localizado, por ejemplo, por derramamiento de aceite, se hace parcheo parcial.

2.4.2.28. Mantenimiento y rehabilitación de pavimentos

Existen distintos niveles de intervención en la conservación vial, estos se clasifican en función a la magnitud de los trabajos necesarios, desde una intervención simple hasta una

intervención más complicada y por ende más costosa.

El mantenimiento reduce la velocidad del deterioro del pavimento corrigiendo pequeños defectos antes de que ellos empeoren y conduzcan a deterioros mayores. Buscando recuperar el deterioro de la capa de rodadura ocasionados por el tránsito y por los efectos del clima. Más allá de cierto punto, el simple mantenimiento no es suficiente y se requieren obras de rehabilitación que conducen a un mejoramiento en la condición del pavimento, recuperando las condiciones iniciales de la vía.

Las actividades de mantenimiento se agrupan en dos categorías, las cuales son: preventivas y correctivas. El mantenimiento preventivo incluye aquellas actividades realizadas para proteger el pavimento y reducir su tasa de deterioro. Por su parte el mantenimiento correctivo consiste en aquellas actividades ejecutadas para corregir fallas específicas del pavimento o áreas deterioradas. En el siguiente cuadro se relacionan los rangos de PCI de un pavimento flexible a la categoría de acción a utilizar.

Tabla 10

Correlación de categoría de acción con un rango de PCI

Rango de PCI	Categoría de acción
100 a 85	Mantenimiento preventivo mínimo
85 a 60	Mantenimiento preventivo rutinario y/o periódico
60 a 40	Mantenimiento correctivo
40 a 25	Rehabilitación - refuerzo estructural
Menor a 25	Rehabilitación - reconstrucción

Fuente: Medina y De La Cruz (2015)

2.4.2.29. Metodología para la determinación de la rugosidad

2.4.2.29.1. Determinación de la rugosidad

La determinación de la rugosidad de un pavimento se basa en el concepto de usar la distribución de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio. La siguiente figura ilustra como el Merlín mide el desplazamiento vertical entre la superficie del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante. El desplazamiento es conocido como “la desviación respecto a la cuerda promedio”.

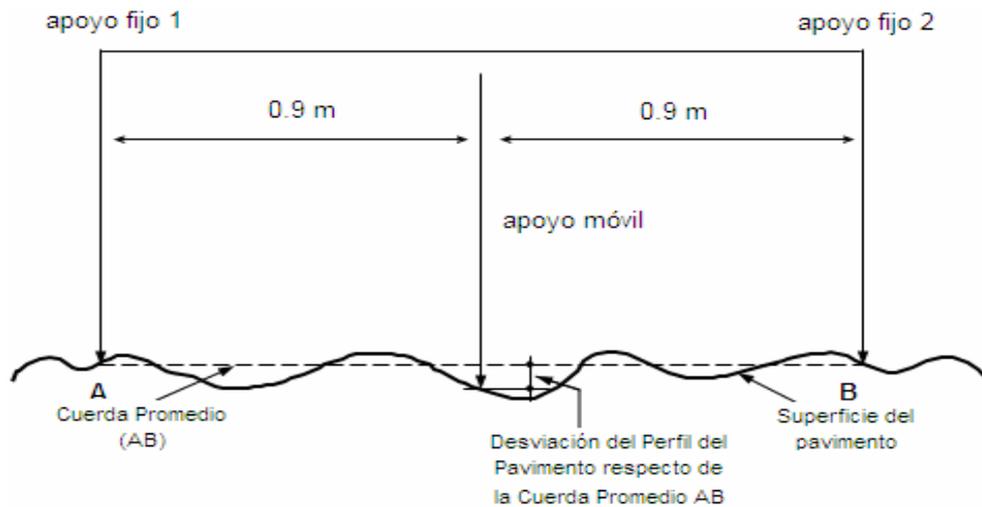


Figura 68. Medición de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto de la cuerda promedio. (Fuente: Del Águila (1999))

La longitud de la cuerda promedio es 1,80 m, por ser la distancia que proporciona los mejores resultados en las correlaciones. Asimismo, se ha definido que es necesario medir 200 desviaciones respecto de la cuerda promedio, en forma consecutiva a lo largo de la vía y considerar un intervalo constante entre cada medición. Para dichas condiciones se tiene que, a mayor rugosidad de la superficie mayor es la variabilidad de los desplazamientos. Si se define el histograma de la distribución de frecuencias de las 200 mediciones, es posible medir la dispersión de las desviaciones y correlacionarla con la escala estándar de la rugosidad, como se muestra en la siguiente figura. El parámetro estadístico que establece la magnitud de la dispersión es el Rango de la muestra (D), determinado luego de efectuar una depuración del 10% de observaciones (10 datos en cada cola del histograma). El valor D es la rugosidad del pavimento en “unidades Merlin”.

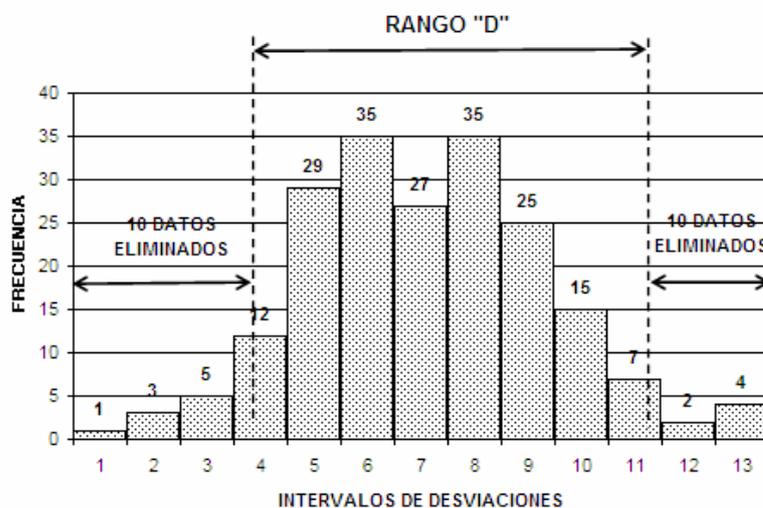


Figura 69. Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva. (Fuente: Del Águila (1999))

2.4.2.29.2. Correlaciones D versus IRI

Para relacionar la rugosidad determinada con el MERLIN con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), que es el parámetro utilizado para uniformizar los resultados provenientes de la gran diversidad de equipos que existen en la actualidad, se utilizan las siguientes expresiones:

a. Cuando $2,4 < \text{IRI} < 15,9$, entonces $\text{IRI} = 0,593 + 0,0471 D$ (1)

b. Cuando $\text{IRI} < 2,4$, entonces $\text{IRI} = 0,0485 D$ (2)

La expresión 1 es la ecuación original establecida mediante simulaciones computarizadas. La ecuación de correlación establecida es empleada para la evaluación de pavimentos en servicio, con superficie de rodadura asfáltica, granular o de tierra, siempre y cuando su rugosidad se encuentre comprendida en el intervalo indicado.

La expresión 2 es la ecuación de correlación establecida de acuerdo a la experiencia peruana y luego de comprobarse, después de ser evaluados más de 3 000 km de pavimentos.

2.4.2.29.3. El rugosímetro Merlín

El rugosímetro MERLIN, es un instrumento versátil, sencillo y económico, pensado especialmente para uso en países en vías de desarrollo. Fue introducido en el Perú por iniciativa personal del Ing. Pablo Del Águila Rodríguez en 1993, existiendo en junio del año 1999 más de 15 unidades pertenecientes a otras tantas empresas constructoras y consultoras.

De acuerdo con la clasificación del Banco Mundial, los métodos para la medición de la rugosidad se agrupan en 4 clases:

Clase 1: Son los más exactos (Mira y Nivel, TRRL Beam, perfilómetros estáticos).

Clase 2: Agrupa a los métodos que utilizan los perfilómetros estáticos y dinámicos, pero que no cumplen con los niveles de exactitud que son exigidos para la Clase 1.

Clase 3: Estos métodos utilizan ecuaciones de correlación para derivar sus resultados a la escala del IRI (Bump integrator, Mays meter).

Clase 4: Permiten obtener resultados referenciales y se emplean cuando se requieren únicamente estimaciones gruesas de la rugosidad.

El método de medición que utiliza el MERLIN, por haber sido diseñado este equipo como una variación de un perfilómetro estático y debido a la gran exactitud de sus resultados, califica como un método Clase 1.

La correlación de los resultados obtenidos con el MERLIN, con la escala del IRI, tiene un coeficiente de determinación prácticamente igual a la unidad ($R^2=0.98$). Por su gran exactitud, sólo superado por el método topográfico (mira y nivel), algunos fabricantes de equipos tipo respuesta (Bump Integrator, Mays Meter, etc.) lo recomiendan para la calibración de sus rugosímetros.

El Merlín es un equipo de diseño simple. En las siguientes figuras se presenta un esquema ilustrativo del instrumento. Consta de un marco formado por dos elementos verticales y uno horizontal.

Para facilidad de desplazamiento y operación el elemento vertical delantero es una rueda, mientras que el trasero tiene adosados lateralmente dos soportes inclinados, uno en el lado derecho para fijar el equipo sobre el suelo durante los ensayos y otro en el lado izquierdo para descansar el equipo.

El elemento horizontal se proyecta, hacia la parte trasera, con dos manijas que permiten levantar y movilizar el equipo, haciéndolo rodar sobre la rueda en forma similar a una carretilla.

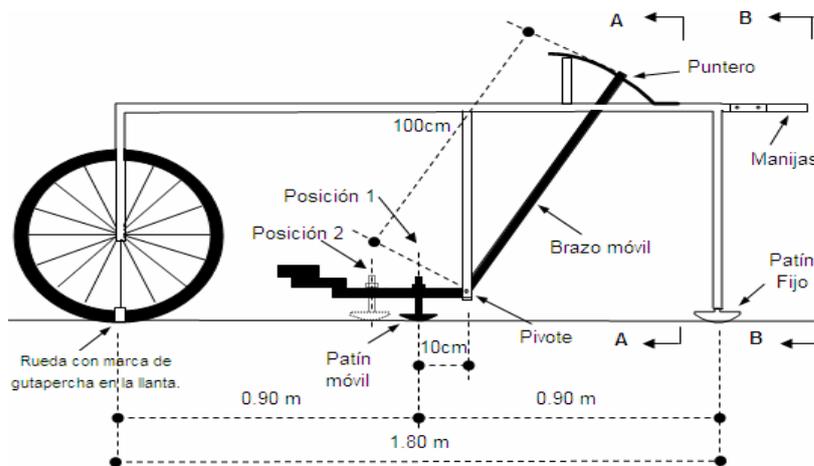


Figura 70. Vista frontal del Rugosímetro Merlín .(Fuente: Del Águila (1999))

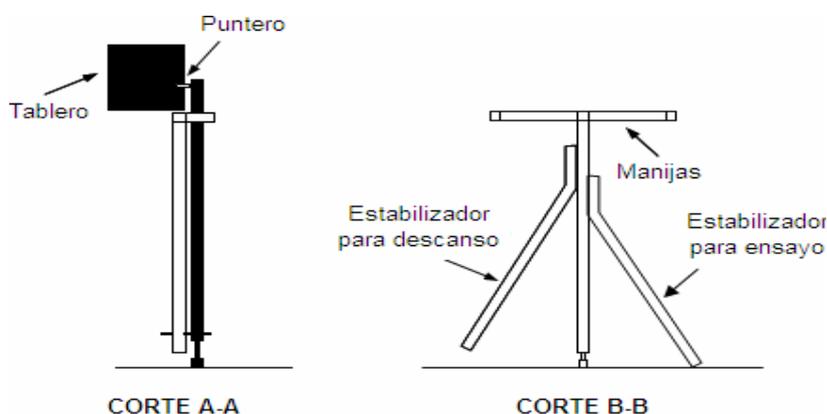


Figura 71. Vista en corte del Rugosímetro Merlín (Fuente: Del Águila (1999))

Aproximadamente en la parte central del elemento horizontal, se proyecta hacia abajo una barra vertical que no llega al piso, en cuyo extremo inferior pivotea un brazo móvil. El extremo inferior del brazo móvil está en contacto directo con el piso, mediante un patín empernado y ajustable, el cual se adecua a las imperfecciones del terreno, mientras que el extremo superior termina en un puntero o indicador que se desliza sobre el borde de un tablero, de acuerdo a la posición que adopta el extremo inferior del patín móvil al entrar en contacto con el pavimento.

La relación de brazos entre los segmentos extremo inferior del patín móvil-pivote y pivote-puntero es 1 a 10, de manera tal que un movimiento vertical de 1 mm, en el extremo inferior del patín móvil, produce un desplazamiento de 1 cm del puntero. Para registrar los movimientos del puntero, se utiliza una escala gráfica con 50 divisiones, de 5 mm de espesor cada una, que va adherida en el borde del tablero sobre el cuál se desliza el puntero, tal como se muestra en la siguiente figura.

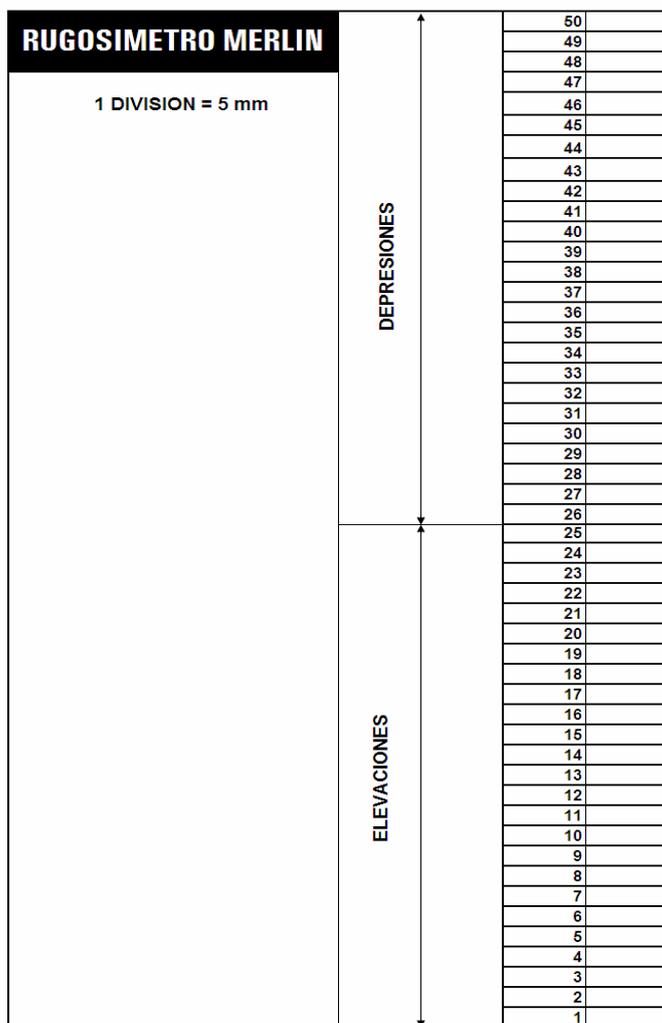


Figura 72. Escala para determinar la dispersión de las desviaciones de la superficie de pavimento respecto del nivel de referencia o cuerda promedio (Fuente: Del Águila (1999))

2.4.2.29.4. Ejecución de ensayos

Para la ejecución de los ensayos se requiere de dos personas que trabajan conjuntamente, un operador que conduce el equipo y realiza las lecturas y un auxiliar que las anota. Asimismo, debe seleccionarse un trecho de aproximadamente 400 m de longitud, sobre un determinado carril de una vía. Las mediciones se efectúan siguiendo la huella exterior del tráfico.

Para determinar un valor de rugosidad se deben efectuar 200 observaciones de las irregularidades que presenta el pavimento (desviaciones relativas a la cuerda promedio), cada una de las cuáles son detectadas por el patín móvil del Merlín, y que a su vez son indicadas por la posición que adopta el puntero sobre la escala graduada del tablero, generándose de esa manera las lecturas.

Las observaciones deben realizarse estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2m de distancia; en la práctica esto se resuelve tomando como referencia la circunferencia de la rueda del Merlín, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al cabo de una vuelta de la rueda.

En cada observación el instrumento debe descansar sobre el camino apoyado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo (Figura 68, Corte B-B). La posición que adopta el puntero corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en un formato de campo, tal como se muestra en la siguiente figura.

ENSAYOS PARA MEDICION DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN											
(HOJA DE CAMPO)											
PROYECTO :	_____				OPERADOR :	_____					
SECTOR :	_____				SUPERVISOR :	_____					
TRAMO :	_____				FECHA :	_____					
CARRIL :	_____										
ENSAYO N°	<input type="text"/>	KM	<input type="text"/>	+	HORA	<input type="text"/>	:	<input type="text"/>			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1											TIPO DE PAVIMENTO :
2											AFIRMADO <input type="checkbox"/>
3											BASE GRANULAR <input type="checkbox"/>
4											BASE IMPRIMADA <input type="checkbox"/>
5											TRAT. BICAPA <input type="checkbox"/>
6											CARPETA EN FRIO <input type="checkbox"/>
7											CARP. EN CALIENTE <input type="checkbox"/>
8											RECAPEO ASFALTICO <input type="checkbox"/>
9											SELLO <input type="checkbox"/>
10											OTROS <input type="checkbox"/>
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
OBSERVACIONES : _____											

Figura 73. Formato para la recolección de datos de campo (Fuente: Del Águila (1999))

El proceso de medición es continuo y se realiza a una velocidad promedio de 2 km/h. La prueba empieza estacionando el equipo al inicio del trecho de ensayo, el operador espera que el puntero se estabilice y observa la posición que adopta respecto de la escala colocada sobre el tablero, realizando así la lectura que es anotada por el auxiliar.

Paso seguido, el operador toma el instrumento por las manijas, elevándolo y desplazándolo la distancia constante seleccionada para usarse entre un ensayo y otro (una vuelta de la rueda). En la nueva ubicación se repite la operación explicada y así sucesivamente hasta completar las 200 lecturas. El espaciado entre los ensayos no es un factor crítico, pero es recomendable que las lecturas se realicen siempre estacionando la rueda en una misma posición, para lo cual se pone una señal o marca llamativa sobre la llanta, la que debe quedar siempre en contacto con el piso. Ello facilita la labor del operador quién, una vez hecha la lectura, levanta el equipo y controla que la llanta gire una vuelta haciendo coincidir nuevamente la marca sobre el piso.

2.4.2.30. Método para el cálculo de la rugosidad

2.4.2.30.1. Cálculo del rango “D”

Para la generación de los 200 datos que se requieren para determinar un valor de rugosidad, se emplea una escala arbitraria de 50 unidades colocada sobre el tablero del rugosímetro, la que sirve para registrar las doscientas posiciones que adopta el puntero del brazo móvil. La división 25 debe ser tal que corresponda a la posición central del puntero sobre el tablero cuando el perfil del terreno coincide con la línea o cuerda promedio. En la medida que las diversas posiciones que adopte el puntero coincidan con la división 25 o con alguna cercana (dispersión baja), el ensayo demostrará que el pavimento tiene un perfil igual o cercano a una línea recta (baja rugosidad). Por el contrario, si el puntero adopta repetitivamente posiciones alejadas a la división 25 (dispersión alta), se demostrará que el pavimento tiene un perfil con múltiples inflexiones (rugosidad elevada).

La dispersión de los datos obtenidos con el Merlín se analiza calculando la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones adoptadas por el puntero, la cual puede expresarse, para fines didácticos, en forma de histograma (Figura 66). Posteriormente se establece el Rango de los valores agrupados en intervalos de frecuencia (D), luego de descartarse el 10% de datos que correspondan a posiciones del puntero poco representativas o erráticas. En la práctica se elimina 5% (10 datos) del extremo inferior del histograma y 5% (10 datos) del extremo superior.

Efectuado el descarte de datos, se calcula el “ancho del histograma” en unidades de la escala, considerando las fracciones que pudiesen resultar como consecuencia de la eliminación de los datos. El Rango D determinado se debe expresar en milímetros, para lo cual se multiplica el número de unidades calculado por el valor que tiene cada unidad en milímetros.

2.4.2.30.2. Factor de corrección para el ajuste de “D”

Las ecuaciones 1 y 2 representan correlaciones entre el valor D y la rugosidad en unidades IRI, las cuales han sido desarrolladas para una condición de relación de brazos del rugosímetro de 1 a 10 (Figura 70). Esta relación en la práctica suele variar, y depende del desgaste que experimenta el patín del brazo móvil del instrumento. En consecuencia, para corregir los resultados se verifica la relación de brazos actual del instrumento, y, se determina un factor de corrección que permita llevar los valores a condiciones estándar.

Para determinar el factor de corrección se hace uso de un disco circular de bronce de aproximadamente 5 cm de diámetro y 6 mm de espesor, y se procede de la siguiente manera:

Se determina el espesor de la pastilla, en milímetros, utilizando un calibrador que permita una aproximación al décimo de mm. El espesor se calculará como el valor promedio considerando 4 medidas diametralmente opuestas.

Se coloca el rugosímetro sobre una superficie plana y se efectúa la lectura que corresponde a la posición que adopta el puntero cuando el patín móvil se encuentra sobre el piso (por ejemplo, lectura=25). Se levanta el patín y se coloca la pastilla de calibración debajo de él, apoyándola sobre el piso. Se deberá encontrar un factor de corrección usando la siguiente expresión:

$$FC = (EP \times 10) / [(LI-LF) \times 5]$$

Donde:

FC = factor de corrección

EP = espesor de la pastilla.

LI = posición inicial del puntero.

LF = posición final del puntero.

2.4.2.30.3. Cálculo del rango “D” corregido

El valor del rango “D”, deberá modificarse considerando el Factor de Corrección definido.

El valor D corregido será la multiplicación del factor de corrección con el valor del rango “D”. Este valor llevado a condiciones estándar es la rugosidad en “unidades Merlín”.

2.4.2.30.4. Determinación de la rugosidad en la escala de IRI

Para transformar la rugosidad de unidades MERLIN a la escala del IRI, se usa las expresiones (1) y (2).

2.4.2.31. Límites de la rugosidad para el control de calidad de pavimentos

La rugosidad o regularidad superficial se deberá controlar calculando el parámetro denominado IRI característico, el cuál es definido por la siguiente expresión:

$$IRI_c = IRI_p + 1,645 \sigma$$

Donde:

IRI_c = IRI característico

IRI_p = IRI promedio

σ = Desviación estándar

2.4.2.32. Escala y características del IRI

La escala y características involucradas en el IRI son las siguientes:

1. Las unidades están en mm/m, m/km o in/mi.
2. El rango de la escala del IRI para un camino pavimentado es de 0 a 12 m/km (0 a 760 in/mi), donde 0 es una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable.

En la siguiente figura se presentan las características de los pavimentos dependiendo del valor del IRI, según las experiencias recogidas por el Banco Mundial en diversos países.

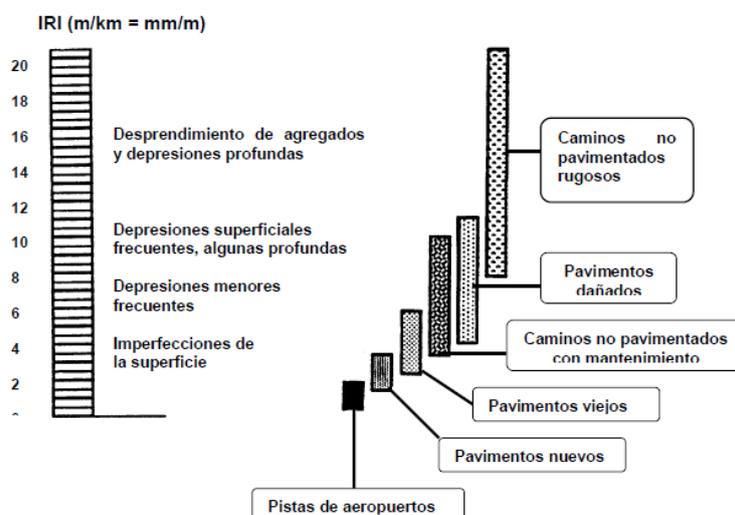


Figura 74. Escala de valores del IRI y las características de los pavimentos (Fuente: Arriaga, Garnica y Rico (1998))

2.4.3. Marco conceptual: terminología básica

Pavimento

Es una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: base, subbase y capa de rodadura.

Pavimento flexible

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

Patologías en pavimentos

Se consideran patologías constructivas las diferentes lesiones patológicas habituales en la construcción, que se clasifican según su causa o agente causante. Éstas lesiones pueden ser, según su origen: lesiones físicas, causadas por la humedad, la suciedad, la erosión; lesiones mecánicas, sus causas se deben a un factor mecánico, grietas, fisuras, deformaciones, desprendimientos y erosión debida a esfuerzos mecánicos; lesiones químicas, previamente a su aparición interviene un proceso químico (oxidación, corrosión, eflorescencias, organismos vivos, entre otros).

Pavement Condition Index (PCI)

Es una clasificación numérica de la condición del pavimento que oscila entre 0 y 100, siendo 0 la peor condición posible y 100 la mejor condición posible

Calificación de la condición del pavimento

Es una descripción verbal de la condición del pavimento como una función del valor PCI, que varía de fallado a excelente.

Fallas del pavimento

Indicadores externos del deterioro del pavimento causado por la carga, factores ambientales, deficiencias de construcción, o una combinación de los mismos. Las fallas y/o daños típicos son las grietas, rutting y meteorización de la superficie del pavimento.

Unidad de muestra

Subdivisión de una sección de pavimento, inspeccionada para la determinación de la condición del pavimento.

Unidad de muestra adicional

Unidad de muestra inspeccionada además de las unidades de muestra aleatoria para incluir unidades de muestra no representativas en la determinación de la condición de pavimento. Esto incluye muestras muy pobres o excelentes que no son típicas de las unidades de sección y muestra, las cuales contienen una incomodidad inusual, tal como un corte de utilidad. Si se elige aleatoriamente una unidad de muestra que contiene una anomalía inusual, ésta se contará como una unidad de muestra adicional y se elegirá otra unidad de muestra aleatoria. Si se examina cada unidad de muestra, entonces no hay unidades de muestra adicionales.

Muestra aleatoria

Una unidad de muestra de la sección de pavimento seleccionada para la inspección mediante técnicas de muestreo aleatorio, como una tabla de números aleatorios o un procedimiento aleatorio sistemático

Sección de pavimento

Área contigua de pavimento con construcción uniforme, mantenimiento, historia de uso y condición. Una sección debe tener el mismo volumen de tráfico y la misma intensidad de carga.

2.4.4. Marco histórico

El PCI es un indicador numérico que valora la condición superficial del pavimento y proporciona una medida de la condición presente del pavimento basada en las fallas observadas en su superficie. El PCI también indica la integridad estructural y condición operacional de la superficie como rugosidad localizada y seguridad.

No puede medir la capacidad estructural ni la medida directa de la resistencia al deslizamiento o rugosidad. Proporciona una base objetiva y racional para determinar la necesidad de conservación y reparación y sus prioridades. El monitoreo continuo del PCI es usado para establecer la tasa de deterioro del pavimento, que permite una identificación prematura sobre la necesidad de una rehabilitación mayor. El PCI brinda información sobre el comportamiento del pavimento para su validación o mejoramiento del diseño existente y procedimientos de conservación.

Este método fue elaborado por el cuerpo de ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. Inicialmente fue desarrollado para pavimentos de aeropuertos, en la Norma ASTM D5340 y posteriormente, ampliado para vías, calles y estacionamientos de pavimentos asfálticos y de concreto de cemento Portland (simples y armados), en la Norma ASTM D6433, con sus variantes, de acuerdo al año de publicación.

2.5. Hipótesis a demostrar

Para el desarrollo de este proyecto de investigación, nos plantearemos la siguiente hipótesis: Mediante el diagnóstico de las patologías del pavimento flexible se podrá determinar la condición en la que se encuentra el pavimento flexible.

CAPÍTULO III

MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Materiales

Para el presente trabajo se ha hecho uso de lo siguiente:

3.1.1. Recursos Humanos

Tesistas

Asesor

Técnico de Laboratorio de Mecánica de Suelos

Digitador

Ayudantes

3.1.2. Recursos Materiales y servicios

Ensayos de Laboratorio

Material bibliográfico

Material de escritorio

Movilidad y viáticos

3.1.3. Recursos de Equipos

01 Computadora

01 Estación Total, marca TOPCON, modelo GPT-3005 LW, completos.

01 Nivel Topográfico, marca TOPCON, modelo AT-G7, Completos.

02 GPS GARMIN.

3.2. Metodología de la Investigación

3.2.1. Universo y/o Muestra

Universo: Está conformada por las diferentes patologías que conforman el pavimento flexible de las cuadras calles Jr. San Pablo de la Cruz cuadra 1, 2 y 3, Jr. Leoncio Prado, Jr. Alfonso Ugarte, Jr. Alfonso Ugarte, Jr. Manuel Arevalo Orbe, Jr. Daniel Alcides Carrion, Jr. Nicolas de Pierola, Jr. Juan de la Riva Vasquez, Jr. Miguel Grau, Jr. Saposo, Jr. Manco Capac, Jr. Lamas, Jr. Antonio Raymond, Jr. Ramirez Hurtado, Jr. Martinez de Compañon, Jr. Miraflores, Jr. Prolongacion Libertad, Jr. Miraflores, Jr. Maynas, Jr. Augusto B. Leguia y Jr. Victor M. Arevalo Delgado pavimento flexible y rigido .

Población: La población del presente estudio fueron los parámetros evaluados como las patologías encontradas, el análisis de suelos y el ensayo de rugosidad.

Muestra: La muestra para el presente proyecto de investigación son las veintiún cuadras, jurisdicción del Barrio Centro, en el distrito de Tarapoto, provincia de San Martín, región San Martín.

Para probar la Hipótesis planteada, será necesario obtener los siguientes datos:

Variable Independiente:

Estudio de patologías (área, profundidad y severidad de las patologías)

Variabes Dependientes:

Estudio de patologías (área, profundidad y severidad de las patologías)

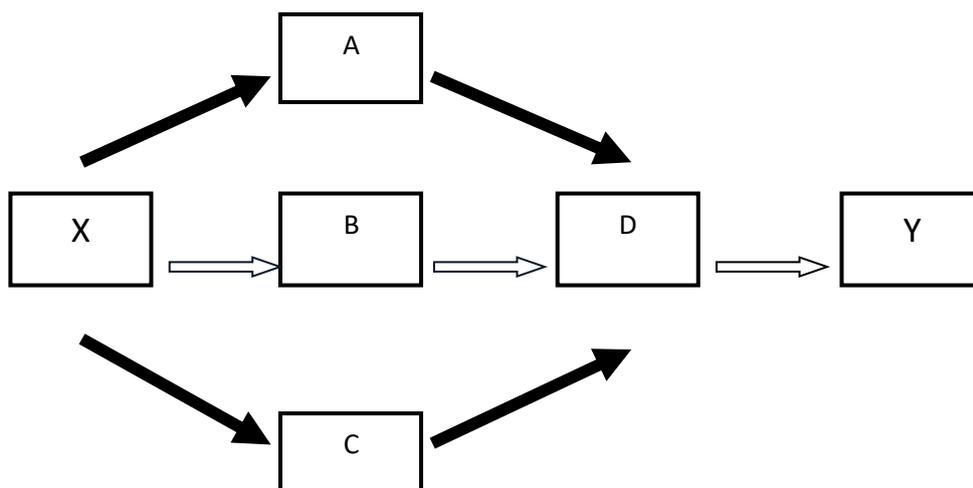
Índice de Condición (rangos de clasificación).

3.1.1. Tipos y Nivel de la Investigación

Tipo: investigación aplicada

Nivel: Básico

3.2.2.1. Diseño del Método de la Investigación



X: Situación inicial problematizada que requiere la intervención de estudio.

A: Estudio Topográfico.

B: Estudio de Mecánica de Suelos.

C: Estudio de Tráfico.

D: Estudios de compatibilidad de procesos y alternativas que respaldan la toma de decisión para definir la alternativa de solución.

Y: Resultado de la intervención que presenta la alternativa de solución del diseño del pavimento a nivel de afirmado.

3.1.2. Diseño de Instrumentos

El levantamiento topográfico del Camino Vecinal será utilizado en la elaboración de los planos de planta, perfil y secciones del tramo en estudio.

3.2.3.1. Fuentes Técnicas e Instrumentos de Selección de Datos

Se utilizará Bibliografía Variada y adecuada para la Investigación, las cuáles se detallan en el marco teórico y en las referencias bibliográficas.

3.1.3. Procesamiento de la Información

Los Procesamientos y presentación de Datos se realizará de acuerdo a las Normas Técnicas Peruanas de Diseño de Carreteras, y utilizando cálculos estadísticos adecuados con la finalidad de obtener resultados satisfactorios.

Con respecto al estudio de suelos realizado se utilizará el CBR en el diseño del espesor del pavimento y la calidad del agregado en la conformación de la subrasante y afirmado, los cuales se presentan en los diferentes anexos del presente estudio.

3.1.4. Análisis e Interpretación de Datos y Resultados

El análisis se hará a través del Manual para el Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito”, aprobado con Resolución Ministerial N* 303-2008-MTC/02 del 04/04/2008, así como la interpretación de los distintos ensayos a realizarse, se utilizará las Normas ASTM.

MÉTODO DEL NAASRA:

Según **OZROADS**, señala que NAASRA hoy Austroads “es el órgano principal en Australia para el transporte por carretera. Austroads produce los estándares de Australia para la construcción de carreteras y el diseño, así como directrices para la planificación urbana.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Procesamiento de la información

4.1.1. Ubicación

La vía involucrada en la presente Tesis son las cuadras calles Jr. San Pablo de la Cruz cuadra 1, 2 y 3, Jr. Leoncio Prado, Jr. Alfonso Ugarte, Jr. Alfonso Ugarte, Jr. Manuel Arevalo Orbe, Jr. Daniel Alcides Carrion, Jr. Nicolas de Pierola, Jr. Juan de la Riva Vasquez, Jr. Miguel Grau, Jr. Saposoa, Jr. Manco Capac, Jr. Lamas, Jr. Antonio Raymond, Jr. Ramirez Hurtado, Jr. Martinez de Compañon, Jr. Miraflores, Jr. Prolongacion Libertad, Jr. Miraflores, Jr. Maynas, Jr. Augusto B. Leguia y Jr. Victor M. Arevalo Delgado del barrio Centro Tarapoto.



Figura 75. Ubicación de las calles del estudio (Fuente: Google Maps)

4.1.2. Altitud

El distrito de Tarapoto está situado a 350 msnm.

4.1.3. Condiciones climáticas

Por su altura y las montañas que rodea la ciudad, Tarapoto tiene un clima más fresco que las otras ciudades principales de la amazonia peruana. La temperatura promedio diario es 28 °C con una variación de 18 a 34 °C. Durante septiembre y octubre es cuando se alcanzan las mayores temperaturas, que generan sensaciones térmicas cercanas a los 40 °C. Las temporadas secas son de junio hasta octubre y diciembre hasta febrero y las temporadas de lluvias desde febrero hasta mayo y octubre hasta diciembre con las mayores lluvias en marzo y abril y la época más seca en julio, agosto y septiembre.

4.1.4. Características de la zona

La vía evaluada recorre zonas de comercio vecinal, comercio zonal y Instituciones Publicas Instituciones Educativas privadas, bodegas, viviendas de 2 y 3 pisos entre unifamiliares y multifamiliares, restaurantes, etc.

Se muestran algunas tomas fotográficas que evidencian lo mencionado anteriormente.

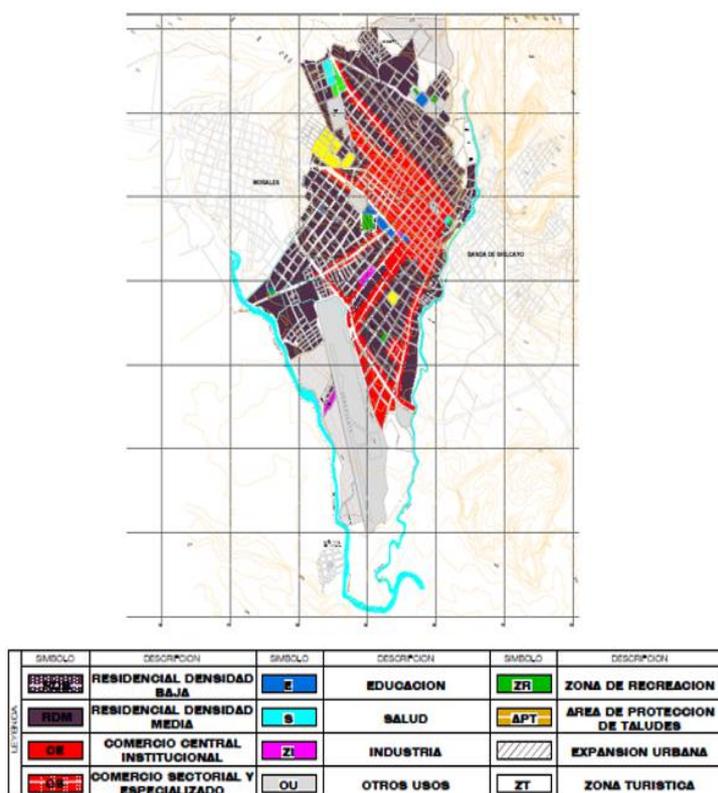


Figura 76. Plano de uso de suelos del distrito de Tarapoto (Fuente: Municipalidad Provincial de San Martín)

4.2. Procesamiento de la información

Los tipos de vehículos que transitan en esta determinada vía son los siguientes: Motocar, motos lineales, autos, camionetas, combis y camiones.

Para nuestro conteo diario no se tomó en cuenta los siguientes vehículos: Motocar y motos lineales, ya que no se consideran como carga pesada.

El estudio de tráfico nos arrojó los datos siguientes:

Tabla 11
Características del tránsito

- Un solo sentido - cuadra n° 01								
Marzo 2019								
Tipo de vehículo	Sentido	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Automóvil	Ida	277	110	208	129	146	356	96
Camión	Ida							
Camioneta	Ida	15	12	14	10	12	18	11

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12
Características del tránsito

- Un solo sentido - cuadra n° 07								
Marzo 2019								
Tipo de vehículo	Sentido	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Automóvil	Ida	250	140	195	140	135	321	85
Camión	Ida							
Camioneta	Ida	22	24	16	14	20	35	26

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13
Características del tránsito

- un solo sentido - cuadra n° 16								
enero 2017								
tipo de vehículo	sentido	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado	domingo
automóvil	ida	60	132	85	126	115	149	63
camión	ida	12	10	11	8	13	8	2
camioneta	ida	58	48	52	46	51	55	56

Fuente: Elaboración propia.

Se ha dividido el tramo a evaluar de la siguiente manera:

Primero evaluación tráfico de la calle Jr. San Pablo de la Cruz cuadra 1, 2 y 3, Luego se evaluaron en conjunto las otras calles que a continuación se detallan:

Jr. Leoncio Prado, Jr. Alfonso Ugarte, Jr. Alfonso Ugarte, Jr. Manuel Arevalo Orbe, Jr. Daniel Alcides Carrion, Jr. Nicolas de Pierola, Jr. Juan de la Riva Vasquez, Jr. Miguel Grau, Jr. Saposoa, Jr. Manco Capac, Jr. Lamas, Jr. Antonio Raymond, Jr. Ramirez Hurtado, Jr. Martinez de Compañon, Jr. Miraflores, Jr. Prolongacion Libertad, Jr. Miraflores, Jr, Maynas, Jr. Augusto B. Leguia y Jr. Victor M. Arevalo Delgado

Los días sábados son los más transitados durante la semana como lo podemos observar en las tablas 3, 4 y 5 del Jr. San Pablo de la Cruz presentadas, en la sección 01; así mismo en la sección 2 tenemos más presencia los sábados y los lunes; por último en la sección 3, también el mayor es el día sábado.

4.2.1. Características de las calles en estudio.

Debido al tiempo transcurrido, desde su ejecución, el pavimento flexible y el pavimento rígido), sufrió fallas superficiales, así como estructurales, presuntamente por el tráfico constante de vehículos, así como por la falta de mantenimiento de la vía, además de las constantes precipitaciones pluviales intensas que se dan con frecuencia en la zona, situaciones que posiblemente pudieron hacer evidencia de fallas existentes en el pavimento, y vinieron acumulándose con el pasar de los años.

Asimismo cuenta con dos carriles con anchos variables, no cuenta con bermas de estacionamiento, y si, en algunas cuadras las tiene, están deterioradas y cuentan con anchos variables.

4.2.2. Muestreo y unidades de muestreo

Anteriormente, la vía en evaluación, se ha dividido en tres secciones, de acuerdo a la función del tráfico, ancho de calzada, entre otras características. Cada sección debió ser dividida en unidades de muestra, las cuales deben tener áreas de 290.83 m². Se realizó el levantamiento de las fallas de las 42 unidades de muestreo, por lo cual no tendremos que hacer uso de las fórmulas para hallar el número mínimo de unidades de muestreo, ni el intervalo de muestreo, ni desviación estándar, ni muestras adicionales según la teoría descrita anteriormente.

4.2.3. Levantamiento de fallas

Para el levantamiento de fallas se usó todas las indicaciones descritas en la Norma ASTM D6433 – 07: Standard Practice for Roads and Parking Lots Condition Index Surveys y el Manual: Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.

A continuación se muestra a manera de ejemplo las hojas de registro 01 de la sección 1, Unidad de muestra U1, y la hoja de registro 01, formatos en los que se hacían el levantamiento de fallas, ya que nos permite de manera ordenada y didáctica registrar la información. La hoja de registro 01 fue hecha a mano en cada visita a campo realizada, luego se recurrió al programa Excel para su elaboración, asimismo, para las fallas y/o deterioros, se realizó el dibujo en el software AutoCAD para apreciarlo en limpio.

Tabla 14 -
(Hoja de registro 01 para la unidad de muestra U1.

HOJA DE REGISTRO DE UNIDAD DE MUESTREO									
METODO PCI- INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO EN VIAS DEL PAVIMENTO FLEXIBE									
NOMBRE DE LA VIA JR. JORGE CHAVEZ			SECCION 1			UNIDAD DE MUESTRO U1			
EJECUTADO POR: FERNANDO PAREDES VELA JORGE JERSSON DELGADO MEGO			FECHA: 14/01/2019			AREA (M2) 261.10			

N°	Daño	N°	Daño	N°	Daño		
1	Piel de cocodrila - Alligator Cracking (m2)	7	Grieta de borde - Edge Cracking (ml)	13	Huecos - Potholes (unidades)		
2	Exudacion - Bleeding (m2)	8	Grieta de Reflexion de junta - Joint Reflectian Cracking (ml)	14	Cruce de via ferrea - Railroad Crossing (m2)		
3	Agrietamiento en bloque - Block Cracking (m2)	9	Desnivel carri/berma - lamed/Shoulder Drop off (m2)	15	Abuelamiento - rutting (m2)		
4	Abultamientos y hundimientos - Bumps and Sags (ml)	10	Grietas longitudinales y transversales - Longitudinal & Transversal Cracking (m2)	16	Desplazamiento - showing (m2)		
5	Corrugacion - Corrugation (m2)	11	Parqueo y acometidas de servicios - patching & Utilty Patching (m2)	17	Grieta parabolica o por deslizamiento - Slippage Cracking (m2)		
6	Depresion - Depression (m2)	12	Pulimento de agregados - polished Aggregates (m2)	18	Hinchamiento - Swell (m2)		
NIVELES DE SEVERIDAD:			(S) SEVERO	(M) MODERADO	(L) LEVE	19	Meteorizacion / Desprendimiento de agregados - Wesatering /Raveling(m2)

Código de Daño	Daños y/o Fallas	Severidad	Cantidad				Total	Densidad	Valor Reducido
10	Grietas Longitudinales y Transversales	M	2.660	3.080			5.740	2.20%	5.47
11	Parqueo y Acometidas de Servicio	M	1.870	0.756	0.242		2.868	1.10%	10.00
13	Huecos	S	2.000	4.000	2.000	2.000	10.000	3.83%	79.24

Fuente: Elaboración propia.

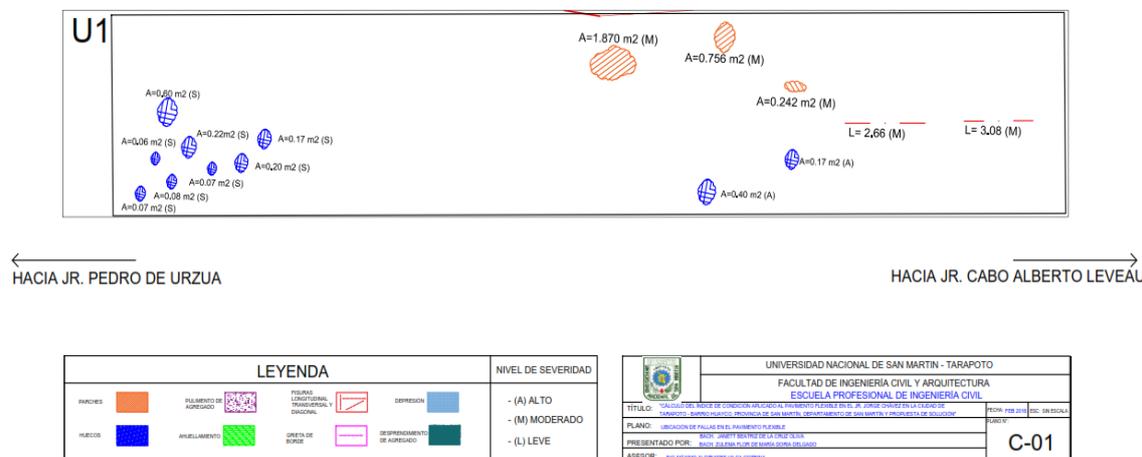


Figura 77. Hoja de registro 02 para la unidad de muestra U1 (Fuente: Elaboración propia)

En los anexos están siendo adjuntadas las hojas de registro 01 y 02, para todas las unidades de muestreo de la vía evaluada.

4.2.3. Cálculo del índice de condición (PCI)

Se realizará a manera de ejemplo el cálculo del PCI de unidad de muestra U1 perteneciente a la Sección 01. Utilizaremos la tabla de la hoja de registro 01, unidad de muestra U1, donde están los resultados de densidad y el valor deducido de cada tipo de falla y nivel de severidad. Para hallar el valor de la densidad del daño y/o falla, se divide el metrado total, que no es más que la suma de fallas por cada tipo encontrada en campo clasificada de acuerdo a la severidad de la misma, luego la dividimos entre el total del área de la muestra, multiplicado por 100.

Para éste caso nos ubicamos en la tercera fila en la que encontramos la cantidad de 04 tipos de Baches (Huecos), de severidad Alta a las cuales las sumamos y obtenemos un total de 10 unidades, a éste total lo dividimos entre el total del área de la muestra que es 290.88.

Luego para hallar el valor deducido de la primera falla seleccionada, utilizaremos la curva de valor deducido para asfalto correspondiente a la falla Baches (Huecos), entonces ingresamos a ésta gráfica con la densidad de 3,83% para el nivel de severidad Alto, obteniendo como valor deducido 79,24.

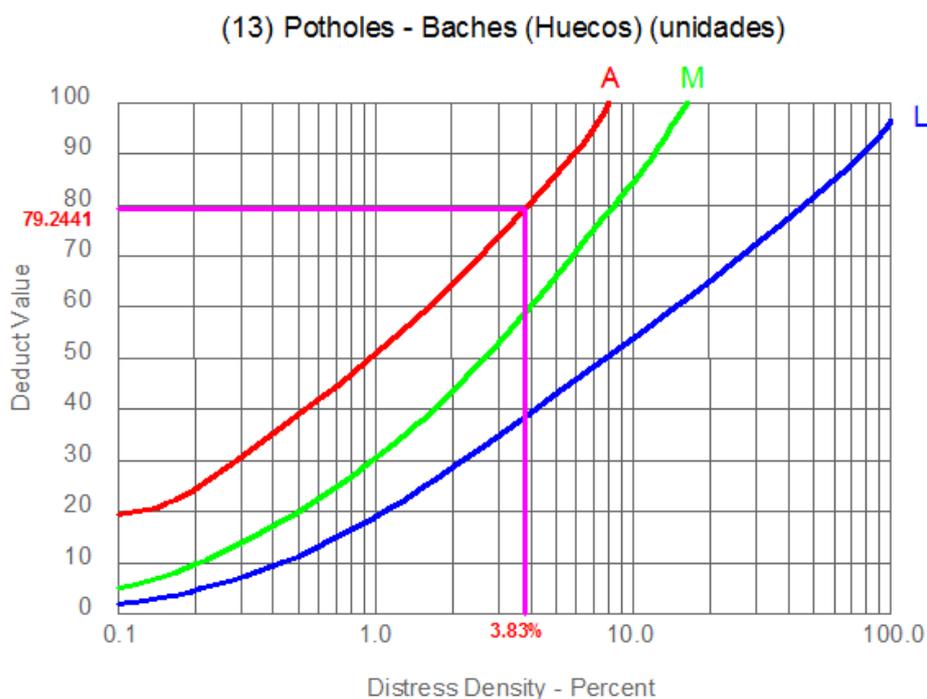


Figura 78. Curvas para Baches (Huecos) con niveles de severidad leve, medio y alto.

El mismo procedimiento se aplica a todas las fallas señaladas por cada unidad de muestra, de acuerdo a la información recolectada de campo. A continuación procederemos a calcular el número de valores deducidos “m”, para lo cual podemos hacer uso de fórmula o gráfica. Luego se procede a seleccionar el máximo valor deducido, el cual para nuestro ejemplo de desarrollo tiene un valor de 79,24 correspondiente a la falla Baches (Huecos) con severidad Alta, 5,47 para la falla de Grietas Longitudinales y Transversales, con un nivel de severidad medio y de 10,00 para la falla de Parcheos y Acometidas de Servicio, con un nivel de severidad medio.

Por último hacemos uso de la fórmula mostrada, contando con el máximo valor deducido, de 79,24; correspondiente a la falla de Baches (Huecos), con un nivel de severidad alto, de donde obtenemos como resultado $m = 2,9$, tal como se muestra a continuación. Es recomendable el uso de la fórmula ya que el uso de la gráfica no nos da una precisión exacta. Fórmula para el cálculo de valores deducidos “m” para el máximo valor deducido de 79,24:

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right)(100 - MaxDV)$$

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right)(100 - 57.88)$$

$$m = 4.9$$

Se procede a ordenar de menor a mayor los 3 valores deducidos mayores, tal como se muestra en la siguiente tabla. Luego de ordenar los tres primeros valores deducidos se sumarán y se ingresarán en la gráfica valores deducidos corregidos para pavimentos asfálticos, para el primer caso $q=3$ ya que contamos con 3 valores deducidos en un inicio, entonces seguimos el orden de mayor a menor y primero va 79,24 como primer valor deducido, luego 10,00 y para el menor número se multiplica los siguientes valores, 0,9 que es la diferencia de $m - m(\text{valor entero})$ por 5,47 que es el valor mínimo deducido lo que obtenemos un producto igual a 4,96.

Tabla 15

Cálculo del máximo valor deducido corregido de la unidad de muestra U1.

CÁLCULO DEL PCIDE LA UNIDAD DE MUESTRA U1					m= 2.9	
N°	VALOR DEDUCIDO			TOTAL	q	CDV
1	79.24	10.00	4.96	94.20	3	56.20
2	79.24	10.00	2	91.25	2	61.09
3	79.24	2	2	83.24	1	78.26
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Se suman los valores deducidos.

Se va cambiando el último valor deducido sucesivamente.

El valor de "q" disminuye de 1 en 1, hasta que sea igual a 1.

Teniendo los 3 valores en la primera fila y luego de haber completado la segunda fila, como resalta la teoría, se procede a sumar los valores, y el valor de q, se va completando restando de 1 en 1 hasta llegar a la 1, luego procederemos a encontrar los valores deducidos corregidos, correspondiente a cada valor de q, por ejemplo: 94,20 con q=3, 91,25 con q=2 y 83,24 con q=1, en el gráfico de curvas que se muestra a continuación, correspondiente al valor deducido corregido CDV.

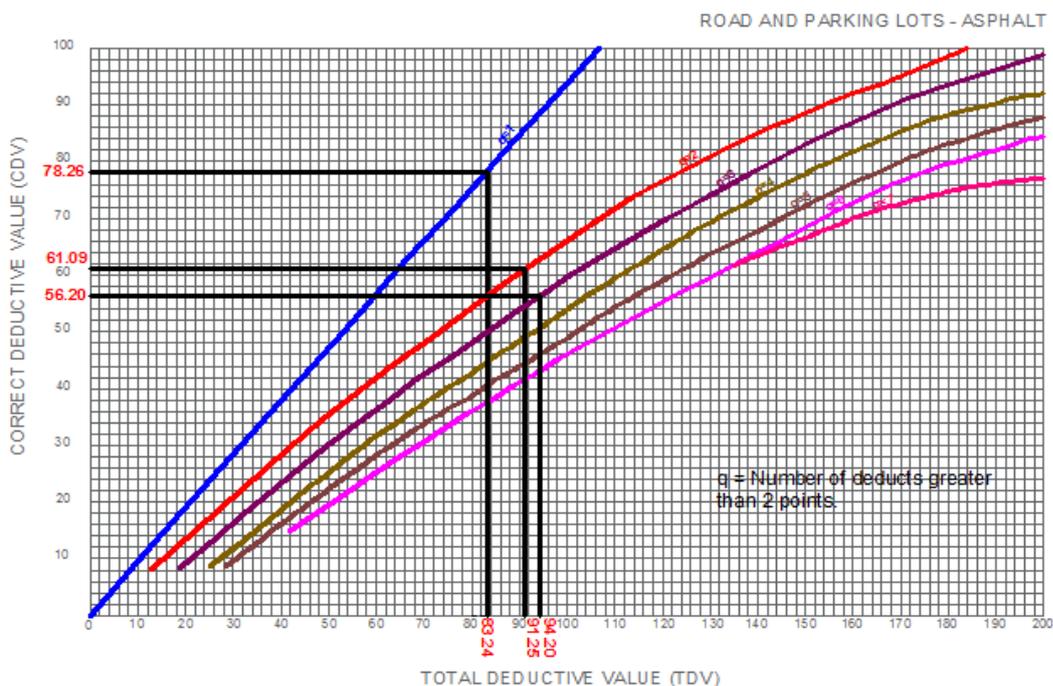


Figura 79. Curvas para valores deducidos corregidos de la unidad de muestra U1 (Fuente: Elaboración propia)

Luego de calcular todos los valores deducidos corregidos se escoge el mayor para el cálculo del PCI de la unidad de muestra, haciendo uso descrita en la teoría, calculamos de la siguiente manera:

$$PCI = 100 - \text{Máx. CDV}$$

$$PCI = 100 - 78,26$$

$$PCI = 21,74$$

Obtenemos como resultado $PCI = 21,74$; de acuerdo a la clasificación nos corresponde a una calificación de MUY MALO, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 16
PCI de la unidad de muestra U1.

MÁX CDV =	78,26
PCI =	21,74
RATING =	MUY MALO

Tabla 17*Rango de calificación para el índice de condición (PCI).*

ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO FLEXIBLE - PAVEMENT CONDITION						
INDEX (PCI)						
FALLADO	MUY MALO	MALO	REGULAR	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
0-10	11-25	26-40	41-55	56-70	71-85	86-100

Fuente: Elaboración propia.

Para obtener el PCI de una sección completa de acuerdo a nuestra distribución tenemos como ejemplo lo siguiente:

Evaluaremos la sección 01 para éste caso mostramos el siguiente cuadro en la que el cálculo, se encuentra de forma resumida:

Tabla 18*Cálculo del PCI de una sección.*

CALLES EVALUADAS				
DIRECCION /CALLES	CUADRA	LARGO	ANCHO	AREA
PAVIMENTO FLEXIBLE				207.94
1 Jr. San Pablo de la Cruz	3	3.00	1.60	4.80
2 Jr. Ramirez Hurtado	2	5.00	3.10	15.50
		2.50	2.50	6.25
3 Jr. Martinez de Compañon	2	1.90	1.60	3.04
		0.50	0.50	0.25
4 Jr. Martinez de Compañon	4	23.00	4.00	92.00
5 Jr. Miraflores	5	3.50	2.30	8.05
		2.70	0.70	1.89
6 Jr. Prolongacion Libertad	1	4.60	2.40	11.04
7 Jr. Ricardo Palma	5	2.80	2.00	5.60
		1.40	1.20	1.68
8 Jr. Maynas	4	3.80	1.50	5.70
		4.80	1.00	4.80
9 AV. Via de Evitamiento	9	1.70	1.60	2.72
		1.90	1.10	2.09
10 Jr. Pedro de Urzua	1	4.30	3.20	13.76
11 Jr. Augusto B. Leguia	13	3.50	3.20	11.20
12 Jr. Augusto B. Leguia	14	3.70	1.20	4.44
13 Jr. Victor M. Arevalo Delgado	1	2.00	1.00	2.00
		2.10	5.30	11.13

PAVIMENTO RIGIDO					59.95
1	Jr. San Pablo de la Cruz	2	0.80	0.70	0.56
2	Jr. San Pablo de la Cruz	4	3.50	0.75	2.63
			0.95	1.70	1.62
3	Jr. Leoncio Prado	3	2.50	0.80	2.00
			0.50	0.40	0.20
4	Jr. Alfonso Ugarte	1	2.10	2.00	4.20
5	Jr. Alfonso Ugarte	2	4.50	1.50	6.75
6	Jr. Manuel Arevalo Orbe	2	4.00	0.80	3.20
7	Jr. Daniel Alcides Carrion	1	1.60	0.80	1.28
8	Jr. Nicolas de Pierola	1	0.50	2.60	1.30
9	Jr. Juan de la Riva Vasquez	3	3.30	0.80	2.64
10	Jr. Miguel Grau	5	1.60	0.90	1.44
11	Jr. Saposoa	2	1.70	1.50	2.55
			1.00	1.90	1.90
12	Jr. Manco Capac	1	2.70	1.80	4.86
13	Jr. Manco Capac	4	0.60	1.10	0.66
14	Jr. Lamas	3	1.70	1.80	3.06
			0.90	0.80	0.72
16	Jr. Antonio Raymond y	4	1.90	1.60	3.04
			5.50	2.50	13.75
			1.60	1.00	1.60

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19

Unidad de muestra y área de muestra x PCI

SECCIÓN	CUADRA	UNIDAD DE MUESTRA	ÁREA	PCI	CALIFICACIÓN	ÁREA DE MUESTRA X PCI	PCI PONDERADO	CALIFICACIÓN
1	01	U1	261.10	21.7	MUY MALO	5676.31	58.85	BUENO
	01	U2	259.20	42.9	REGULAR	11114.50		
	02	U3	263.21	56.1	BUENO	14771.35		
	02	U4	259.20	37.4	MALO	9701.86		
	03	U5	255.60	83.4	MUY BUENO	21304.26		
	03	U6	259.80	77	MUY BUENO	20012.39		
	04	U7	247.88	56.7	BUENO	14062.23		
	04	U8	255.61	60.6	BUENO	15492.52		
	05	U9	251.33	55	REGULAR	13830.69		
	05	U10	251.33	68.5	BUENO	17211.08		
	06	U11	288.89	59.4	BUENO	17165.84		
	06	U12	281.31	85.8	MUY BUENO	24130.77		
	SUMATORIA		3134.46		SUMATORIA	184473.80		

Fuente: Elaboración propia

Se tiene todas las unidades de muestra de la sección 1, las cuales son doce unidades de muestra distribuidas como se indica en el cuadro 1. Luego, se procede a sumar el área total de las doce unidades de muestra cuyo resultado es 134,46 m² que será el área de la sección

01; de la misma se tiene cada unidad de muestra con su respectivo resultado de PCI, entonces se multiplicará el área de cada muestra por el PCI correspondiente, así como se muestra, dichos resultados fueron sumados y así se obtuvo el valor de 473,80 m². Luego este resultado se divide entre el área total de la sección, obteniendo el valor de 59.

El PCI resultante obtiene una calificación de Bueno. El mismo procedimiento se realiza para el cálculo del PCI de la sección 02 y 03. En los anexos se adjuntan las tablas correspondientes al cálculo del PCI para cada unidad de muestra.

CONCLUSIONES

Concluimos que el pavimento flexible es el más económico, de acuerdo a presupuesto elaborado por el tesista, por lo tanto, es el que tiene mayor probabilidad de propuesta para los proyectos de pavimentación de vías urbanas, esto debido a los escasos recursos públicos, se trata de hacer más con menos.

Concluimos también que el pavimento flexible tiene un menor tiempo de ejecución de las partidas contractuales, considerando las características y procedimientos constructivos de los materiales empleados, a diferencia del concreto rígido que necesitamos más tiempo en la ejecución, esto se puede observar en la programación Gantt elaborado por el tesista.

Podemos concluir también que, de acuerdo al periodo de diseño, los pavimentos rígidos son los de mayor vida útil, esto se puede apreciar visualmente en la ciudad de Tarapoto ya que tenemos pavimentos alrededor de la Plaza de Armas con 50 años de servicio aproximadamente y que todavía están funcionando.

También podemos concluir indicando que, el pavimento rígido es el que requiere menor costo de mantenimiento durante su vida útil.

Al realizar el estudio de mecánica de suelos se obtuvo un CBR= 12.00%, por lo que se concluye el terreno posee una capacidad portante de regular a mala, y debido a esto el terreno de fundación va tener que ser mejorado.

La topografía de la zona en estudio es plana y alineada, lo cual constituye una ventaja para el diseño geométrico vial, de acuerdo a la norma E-010 de Pavimentos Urbanos.

Concluimos finalmente, que los valores de espesores de las diferentes capas obtenidos en los diseños, tanto para pavimento rígido y flexible, están dentro de los parámetros que manejamos en la zona del proyecto.

RECOMENDACIONES

De acuerdo al conteo vehicular, tenemos una incidencia muy alta de motos lineales y mototaxis, la recomendación es no incluirles en el conteo para la proyección de tráfico y por consiguiente en el diseño ya que distorsionarían el cálculo, su impacto en el pavimento es mínimo debido a que son vehículos muy livianos.

Se recomendaría un pavimento rígido debido a que su periodo de su vida útil (40 años) duplica al pavimento flexible, y lo otro es que tiene un bajo costo de mantenimiento; lo que sí estaría condicionado a la inversión inicial de dinero, que corresponde según nuestro estudio a un 34% más de presupuesto inicial.

Se recomienda a los Proyectistas a evaluar muy bien las alternativas propuestas en los proyectos de inversión pública, ya que estos constituyen el planteamiento inicial para poder llegar a un diseño adecuado a la realidad. En la región actualmente se plantea los pavimentos rígidos en zonas rurales y los pavimentos flexibles en zonas a la planta de asfalto

Se recomienda también a las autoridades políticas de nuestra región, a tomar conciencia de las decisiones que van a tomar en lo que respecta a la elección del tipo de pavimento ya que esto constituye un hecho fundamental para realizar una buena inversión.

Se recomienda también investigar respecto a los derivados del petróleo en este caso del asfalto, ya que según se indica en algunos estudios, cada vez existen máquinas más sofisticadas para este proceso y que los asfaltos son menos viscosos en la actualidad.

Se recomienda también a la Municipalidad Provincial de San Martín y demás empresarios del rubro a renovar la planta de asfalto porque ya cumplió su ciclo de vida, por lo que la producción no es eficiente, a parte la maquinaria y equipos del rubro también son obsoletos, esto aumentado a una escasa capacitación técnica del personal de producción, sin duda influyen en la producción del asfalto y colocación del asfalto en pista, y esto se puede notar en la ciudad de Tarapoto en varias calles que se están deteriorándose precozmente sin cumplir su periodo de diseño.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burgos, B. (2014). *“Análisis Comparativo Entre Un Pavimento Rígido y un Pavimento Flexible para la Ruta S/R: Santa Elvira – El Arenal, en la Comuna de Valdivia”*. Universidad Austral de Chile, Valdivia – Chile.
- Hurtado, R. (2016). *“Análisis comparativo entre pavimento flexible y rígido para uso en ruta cantonal de El Guarco”*. (Proyecto final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción). Instituto Tecnológico De Costa Rica Escuela De Ingeniería En Construcción.
- Ramírez, W. y Zavaleta R. (2017). *“Estudio Comparativo del Diseño del Pavimento Rígido, Semirrígido Con Adoquines de Concreto y Flexible para las Calles Del Sector Vi C-El Milagro- Trujillo- La Libertad”*. Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo.
- Ruiz, M. y Rodríguez, J. (2016). *“Comparación Técnico-Económica del uso e Pavimento Rígido Y Pavimento Flexible En Nicaragua. Estudio de caso: Tramo Unikwas-Mulukuku”*. Universidad Nacional Autónoma De Nicaragua Unan-Managua, Nicaragua.
- Salazar, A. (1998). *“Guía para el Diseño y construcción de pavimentos Rígidos”* (1ra. Edición). Mexico D.F. C.P. 01030.
- Torres, R. (2007). *“Análisis Comparativo De Costos entre el Pavimento Flexible y El Pavimento Rígido”*. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Anexos



Fuente: Propia

Vista, toma de apuntes en el tramo del Jr. Ramírez Hurtado



Fuente: Propia

Vista, toma de apuntes en el tramo del Jr. Ramírez Hurtado



Fuente: Propia

Vista, toma de apuntes en el tramo del Jr. San Pablo de la Cruz



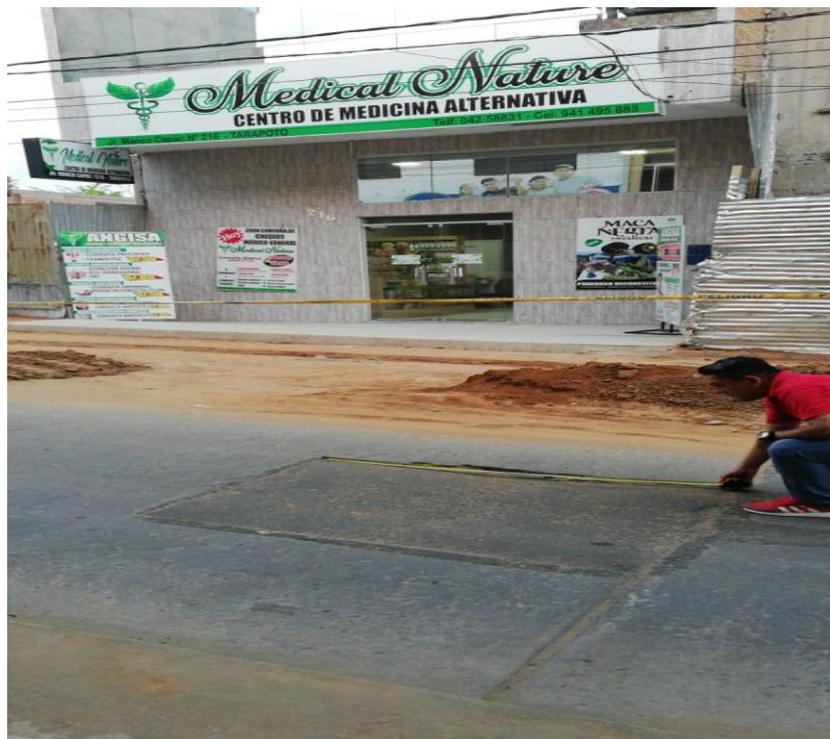
Fuente: Propia

Vista, toma de apuntes en el tramo del Jr. San Pablo de la Cruz



Fuente: Propia

Vista, toma de apuntes en el tramo del Jr. Bolognesi cdra: 10.



Fuente: Propia

Vista, toma de apuntes en el tramo del Jr. Bolognesi cdra: 10.



Fuente: Propia

Vista, toma de apuntes en el tramo del Jr. Bolognesi cdra: 10.



Fuente: Propia

Vista, toma de apuntes en el tramo del Jr. Bolognesi cdra: 10.