

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**EVALUACIÓN POST CONSTRUCCIÓN DE LA CALIDAD DE
MEZCLA ASFÁLTICA, COMO INDICADOR DE LA
SERVICIABILIDAD EN LA CARRETERA DESVÍO YOCARÁ –
CABANA, PUNO.**

TESIS

PRESENTADA POR:

NATALY YULIET GOMEZ CHAGUA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN POST CONSTRUCCIÓN DE LA CALIDAD DE MEZCLA ASFÁLTICA, COMO INDICADOR DE LA SERVICIABILIDAD EN LA CARRETERA DESVÍO YOCARÁ – CABANA, PUNO.

TESIS PRESENTADA POR:

NATALY YULIET GOMEZ CHAGUA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL



APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

:

M.C. EMILIO CASTILLO ARONI

PRIMER MIEMBRO

:

M.Sc. MARIANO ROBERTO GARCÍA LOAYZA

SEGUNDO MIEMBRO

:

M.C. GINO F. LAQUE CÓRDOVA

DIRECTOR / ASESOR

:

Ing. WALTER H. LIPA CONDORI

Tema : Pavimentos Asfálticos

Área : Transportes

Línea de Investigación: Transportes y Gestión Vial

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 28 DE DICIEMBRE DEL 2018

DEDICATORIA

Para mis padres

Geraldina y Genaro

por ser pilar y luz de mi vida

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por todos los aprendizajes del trayecto profesional, por enseñarme que existen caídas, pero que al final de todo siempre hay luz.

A la Universidad Nacional Del Altiplano, en especial a la Escuela de Ingeniería Civil, por los cimientos en mi vida profesional.

A mi Familia, por ser mi mayor motivación.

A mi equipo de trabajo: Yessenia Gómez por hacerme creer en mí misma y creer que siempre puede existir un día mejor.

A mis amigos por las sonrisas y aprendizajes del día a día.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	5
ABSTRACT.....	15
CAPITULO I	16
I. INTRODUCCIÓN	16
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.1.1. Problema General	18
1.1.2. Problemas Específicos	18
1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.3.1. Objetivo General.....	19
1.3.2. Objetivos Específicos.....	20
1.4. HIPÓTESIS	20
1.4.1. Hipótesis General.....	20
1.4.2. Hipótesis Específicas	20
1.5. LIMITACIONES	21
CAPITULO II	22
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	22
2.1. ANTECEDENTES	22
2.2. MARCO TEÓRICO.....	29
2.2.1. Pavimento	29
2.2.1.1. Clasificación de Pavimentos:	29
2.2.1.2. Pavimentos Flexibles	32
2.2.1.3. Comportamiento Estructural del Pavimento Flexible	34
2.2.1.4. Diseño Estructural del Pavimento Flexible	37
2.2.2. Mezcla Asfáltica	39
2.2.2.1. Características y Comportamiento	39
2.2.2.2. Propiedades	40

2.2.3.	Serviciabilidad	45
2.2.3.1.	Rango de Serviabilidad Presente (PSR).....	46
2.2.3.2.	Índice de Serviabilidad Presente (PSI)	46
2.2.3.3.	Índice de Condición Del Pavimento (PCI)	52
2.2.4.	Evaluación de Fallas en el Pavimento	52
2.2.4.1.	Clasificación de Deterioros y/o Fallas	53
2.2.4.2.	Catálogo de Deterioros y/o Fallas:	59
2.2.4.3.	Factores de Origen de Deterioro	68
2.2.4.4.	Requerimiento de Intervención	70
CAPÍTULO III.....		73
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	73
3.1.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	73
3.2.	DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	74
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA.	75
3.3.1.	Población:.....	75
3.3.2.	Muestra:.....	75
3.3.2.1.	Muestra para el Cálculo de PCI.....	75
3.3.2.2.	Muestra para el Cálculo de PSI	78
3.3.2.3.	Muestra Diamantina.....	80
3.4.	TECNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	80
3.4.1.	Normas Técnicas.....	80
3.4.2.	Equipos y Materiales.....	81
3.4.3.	Ficha De Recolección De Datos.....	83
3.5.	PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	88
3.5.1.	Sectorización Preliminar	88
3.5.2.	Inventario de Condición.....	91
3.5.3.	Determinación de Rugosidad	93

3.5.4. Extracción Diamantina.....	96
3.5.5. Resistencia de Mezclas Bituminosas Empleando el Aparato Marshall.....	99
3.5.6. Extracción Cuantitativa de Asfalto en Mezclas para Pavimentos 101	
3.5.7. Aforo Vehicular	104
3.6. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS	104
3.6.1. Calculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI)	104
3.6.2. Calculo del Índice de Serviciabilidad del Pavimento (PSI) ..	110
3.6.3. Resistencia de Mezclas Bituminosas Empleados el Aparato Marshall.....	113
3.6.4. Extracción Cuantitativa de Asfalto dn Mezclas para Pavimentos 117	
3.6.5. Análisis Correlacional De Variables	119
3.6.5.2. Relación entre PCI e Indicadores de Calidad de Mezcla Asfáltica	126
CAPÍTULO IV.....	130
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	130
CAPÍTULO V	136
V. CONCLUSIONES.....	136
CAPÍTULO VI.....	139
VI. RECOMENDACIONES	139
CAPÍTULO VII	140
VII. REFERENCIAS	140
ANEXOS	143
ANEXO 01. Registro de campo PCI digitalizado y cálculos por unidad de muestra, sección I.	
ANEXO 02: Registro de campo PCI digitalizado y cálculos por unidad de muestra, sección II.	

ANEXO 03: Registro de campo PCI digitalizado y cálculos por unidad de muestra, sección III.

ANEXO 04: Tablas de cálculo de PCI y condición por sección.

ANEXO 05: Registro de campo digitalizado del ensayo de Rugosidad Merlín y PSI de cada unidad de muestra, certificado.

ANEXO 06: Registro de campo digitalizado del ensayo Marshall (verificación) y cálculo por muestra, certificado.

ANEXO 07: Registro de campo digitalizado del ensayo de grado de compactación y cálculo por muestra, certificado.

ANEXO 08: Registro de campo digitalizado del ensayo de lavado asfáltico y análisis granulométrico, y calculo por muestra, certificado.

ANEXO 09: Hojas de registro de campo de aforo vehicular digitalizado.

ANEXO 10: Certificados de Calibración de los Equipos usados para la metodología de prueba.

ANEXO 11: Datos de ensayos de evolución durante la etapa de ejecución.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sección de un pavimento flexible.	30
Figura 2. Sección de un pavimento rígido.	31
Figura 3. Sección de un pavimento semi-rígido.	31
Figura 4. Sección de un pavimento artículo.	32
Figura 5. Esquema de la Distribución de Esfuerzos en Pavimentos Típicos.	36
Figura 6. Análisis Deformacional de Estructura Típica.	36
Figura 7. Estructura de evaluación general de un pavimento.	53
Figura 8. Hoja de registro preliminar de fallas en campo.	83
Figura 9. Hoja de registro de nivel de severidad de fallas en campo.	84
Figura 10. Hoja de registro de datos, ensayo Merlín.	85
Figura 11. Formato de Verificación Marshall (Estabilidad y Flujo).	86
Figura 12. Formato de verificación del grado de compactación y espesores.	86
Figura 13. Formato de Lavado Asfáltico.	87
Figura 14. Hoja de registro del aforo vehicular por día.	88
Figura 15. Foto de medición de profundidad de ahuellamiento.	92
Figura 16. Foto de medida de nivel de severidad (ahuellamiento).	92
Figura 17. Foto de medición de profundidad de corrugación.	92
Figura 18. Foto de inicio de medición de rugosidad Km 00+000.	95
Figura 19. Foto de toma de datos de rugosidad, tramo km 00+400 – 00+800.	95
Figura 20. Foto de rugosidad en punto 00+800.	95
Figura 21. Foto de rugosidad en punto 10+000.	96
Figura 22. Fotos del instalado de la perforadora diamantina en el Km. 00+020.	96
Figura 23. Fotos del instalado de la perforadora diamantina y extracción de muestra en el Km. 10+500.	97

Figura 24. Fotos del instalado de la perforadora diamantina y extracción de muestra en el Km. 16+200.....	97
Figura 25. Foto en el proceso de perforado de puntos de fijación del equipo de extracción.	98
Figura 26. Foto durante la ubicación de equipo de extracción en el punto de toma de muestra.	98
Figura 27. Foto del equipo de trabajo, durante la obtencion de muestra diamantina.....	98
Figura 28. Foto durante la preparación del material asfáltico para la reposición del material extraído.....	99
Figura 29. Foto durante de toma de pesos al aire de las muestras diamantina.	100
Figura 30. Foto durante de toma de pesos, al aire y al agua, de las muestras diamantina.....	100
Figura 31. Foto del Baño maría a 60°C, de las muestras diamantina.	100
Figura 32. Foto del instante de rotura Marshall.	101
Figura 33. Foto del proceso de lavado asfáltico de muestras.....	102
Figura 34. Foto durante el tamizado granulométrico para registro de pesos retenidos.....	103
Figura 35. Foto durante el registro de trafico, en el punto inicial y punto final.	104
Figura 36. Curva de valor deducido para asfalto, falla: ahuellamiento...	105
Figura 37. Curva de valor deducido para asfalto, falla: corrugación.	105
Figura 38. Ajuste del numero de valores deducidos.....	106
Figura 39. Curva de corrección para pavimentos de asfalto.	107
Figura 40. 200 Datos de la muestra 1, KM 0+000 AL 0+400 (I).	111
Figura 41. Hstograma de distribucion de frecuencias de la muestra 1, KM 0+000 AL 0+400 (I).	111
Figura 42. Representacion Gráfica de lacurva granulometrica por tamices, y delimitación de especificaciones de la muestra 1.....	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento.	42
Tabla 2. Causas y efectos de una poca durabilidad en el pavimento.	42
Tabla 3. Causas y efectos de la permeabilidad.....	43
Tabla 4. Causas y efectos de problemas en la trabajabilidad.....	43
Tabla 5. Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga.	45
Tabla 6. Causas y efectos de la poca resistencia al deslizamiento.	45
Tabla 7. Escala de Índice de Serviciabilidad.....	48
Tabla 8. Descripción de la escala de clasificación de serviciabilidad.....	48
Tabla 9. Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi) Según Rango de Tráfico... ..	49
Tabla 10. Índice de Serviciabilidad Final (Pt) Según Rango de Tráfico... ..	50
Tabla 11. Análisis Combinado de Resultados de Evaluación.....	56
Tabla 12. Deterioros y/o fallas de los pavimentos asfaltados.	59
Tabla 13. Reparaciones y procedimiento preventivo para pavimento flexible	71
Tabla 14. Cálculo de tamaño de muestra e intervalo de espaciamiento. ...	77
Tabla 15. Datos para cálculo de muestra estratificada	79
Tabla 16. Datos de verificación preliminar, SECCIÓN I (parte 1).....	89
Tabla 17. Datos de verificación preliminar, SECCIÓN I (parte 2).....	89
Tabla 18. Datos de verificación preliminar, SECCIÓN II (parte 1).....	90
Tabla 19. Datos de verificación preliminar, SECCIÓN II (parte 2).	90
Tabla 20 Datos de verificación preliminar, SECCIÓN III.	91
Tabla 21. Datos obtenidos en laboratorio para la verificación Marshall. .	101
Tabla 22. Calculo de porcentaje de asfalto por muestra.	102
Tabla 23. Peso retenido por tamiz, de la muestras extraídas.	103
Tabla 24. Cálculo de Valor deducido para la Unidad de muestra UIII- 07.	106
Tabla 25. Cálculo de valor deducido corregido.....	107
Tabla 26. Rangos de Clasificación del PCI.	107

Tabla 27. Cálculo de valor PCI sección III.	108
Tabla 28. Verificación de cantidad de unidades de muestra.	109
Tabla 29. Factor de corrección y D corregido.	111
Tabla 30. Factores de Estabilidad de Correlación.	113
Tabla 31. Requisitos para mezcla de concreto bituminoso.	114
Tabla 32. Calculo de 03 muestras, verificación Marshall.	116
Tabla 33. Resúmen de cálculo de ensayo de grado de compactación.	116
Tabla 34. Análisis granulometrico y contenido de asfalto de la muestra 1.	118
Tabla 35. Matriz de correlación simple (Rij) PSI – Mezcla Asfáltica	122
Tabla 36. Coeficientes de correlación multiple y de determinación entre el PSI y Estabilidad.	123
Tabla 37. Coeficientes de correlación multiple y de determinación entre el PSI y Flujo.	123
Tabla 38 Coeficientes de correlación multiple y de determinación entre el PSI y % de Compactación.	124
Tabla 39. Coeficientes de correlación multiple y de determinación entre el PSI y % de Contenido de Asfalto.	124
Tabla 40. Coeficientes de correlación multiple y de determinación entre el PSI y Proporción Filler/Asfalto.	125
Tabla 41. Matriz de correlación simple (Rij) PCI – Mezcla Asfáltica.	126
Tabla 42. Coeficientes de correlación multiple y de determinación entre el PCI y Estabilidad.	126
Tabla 43. Coeficientes de correlación multiple y de determinación entre el PCI y Flujo.	126
Tabla 44. Coeficientes de correlación multiple y de determinación entre el PCI y % de Compactación.	127
Tabla 45. Coeficientes de correlación multiple y de determinación entre el PCI y % de contenido de asfalto.	128
Tabla 46. Coeficientes de correlación multiple y de determinación entre el PCI y Proporción Filler/Asfalto.	128

Tabla 47. Resultados promedios y/o característicos de serviciabilidad por sección.	130
Tabla 48. Resultados de serviciabilidad por unidad muestral de de modelo de correlación.	130
Tabla 49. Resultados de indicadores de calidad de mezcla ásfaltica por unidad muestral de modelo de correlación.	131
Tabla 50. Resumen de grados de correlación, inidcadores de calidad de mezcla asfáltica vs métodos de serviciabilidad.	131

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la influencia de la calidad de mezcla asfáltica en la serviciabilidad, dicha evaluación tendrá como población la carretera Desvío Yocará – Cabana. Se busca fomentar un modelo de evaluación de referencia de condición de vía, que considere la calidad de mezcla asfáltica como indicador en la serviciabilidad. Para obtener los resultados y/o conclusiones, se aplicó la siguiente metodología: Se tiene que a 1.5 años de puesta en servicio de la carretera Desvío Yocará– Cabana (Puno), con base teórica de la consideración de los principales factores de causas de deterioro: Aspectos Climatológicos, Solicitaciones del tránsito, Historial de Mantenimiento y Factores de Diseño y Ejecución; se evaluará la incidencia de la calidad de mezcla asfáltica (Factor ejecución), mediante una sectorización inicial de condición de la carpeta asfáltica, para la evaluación de Serviciabilidad, mediante los métodos Índice de serviciabilidad Presente (PSI) y Índice de Condición de Pavimento (PCI), así como la extracción de muestra diamantina, para la evaluación de comportamiento de la carpeta asfáltica respecto a los parámetros encontrados para la caracterización de la mezcla asfáltica; así mismo la respectiva verificación de parámetros en la mezcla ejecutada respecto a los márgenes establecidos. Finalmente se analizaron los resultados y se concluye que: la Carretera Desvío Yocara Cabana a 1.5 años de servicio ya cuenta con fallas; al evaluarse ambos métodos de serviciabilidad PCI y PSI, se concluye que la serviciabilidad guarda relación con los indicadores de calidad de la mezcla asfáltica. Así mismo por el tipo de fallas y niveles de severidad encontrados, tras un análisis cualitativo se descarta causales estructurales; teniéndose como indicador inicial de reducción de serviciabilidad causales superficiales atribuibles a la carpeta asfáltica.

Palabras Clave: Serviciabilidad, mezcla asfáltica, calidad, carreteras.

ABSTRACT

The objective of the present investigation is to evaluate the influence of asphalt mix quality in the serviceability, this evaluation will have as a population the Yocara - Cabana. Looking to promote a model of reference evaluation of condition of track, that considers asphalt mix quality as an indicator in the serviceability. To obtain the results and / or conclusions, the following methodology was applied: After 1.5 years of commissioning of the Yocar-Cabana Detour Road (Puno), with theoretical basis of the consideration of the main factors of causes of deterioration: Climatological Aspects, Traffic Requests, Maintenance History and Factors of Design and Execution; will be evaluated the incidence of the quality of asphalt mix (execution factor), through an initial sectorization of the condition of the asphalt folder, for the evaluation of Serviceability, by means of the Present Index of Serviceability (PSI) and Pavement Condition Index (PCI) methods, as well as the extraction of diamond sample, for the evaluation of behavior from the asphaltic folder with respect to the parameters found for the asphalt mixture; likewise the respective check of the mixture executed respect to the established margins. Finally, the results were analyzed and it is concluded that: Carretera detour Yocara Cabana to 1.5 years of service already has flaws; when evaluating the PCI and PSI service methods, it is concluded that the service is maintained with the quality indicators of the asphalt mixture. Also, by the type of faults and levels of severity, after a qualitative analysis found it discards structural causes; having as initial indicator of superficiality reduction causes attributable to the asphalt folder.

Keywords: Serviceability, quality, asphalt mix, roads.

CAPITULO I

I. INTRODUCCIÓN

El deterioro de una carretera asfáltica tiene como posibles causales 04 factores: Aspectos Climatológicos, Solicitaciones del tránsito, Historial de Mantenimiento y Factores de Diseño y Ejecución; dichos factores requieren ser evaluados para la determinación de su incidencia en la condición actual de una vía. En el ámbito de construcción de pavimentos asfálticos no se viene realizando la etapa de evaluación post construcción, siendo necesario un modelo de evaluación por factor indicador de deterioro. Se pretende para tal efecto fomentar un modelo de evaluación del factor mezcla asfáltica, como indicador en la serviciabilidad.

A un año y medio de puesta en servicio la carretera Desvío Yocará–Cabana, no tiene un estudio de referencia de condición de la vía que considere aspectos críticos hipotéticos de la etapa de ejecución que repercutan en la serviciabilidad (para el presente el factor: calidad de mezcla asfáltica), para así poder evaluar el comportamiento del pavimento en estudio, registrándose como antecedente para la etapa de Post Inversión (Mantenimiento y Operación). La proyección de curva de deterioro (serviciabilidad/año) no parte en el punto óptimo deseado ya que diversos aspectos en el proceso constructivo no se realizan al 100% de eficiencia, contándose ya con antecedentes de deficiencia incluso al inicio de la curva de deterioro.

Así mismo se impulsa a realizar estudios similares, que puedan actuar como indicadores de control de calidad en la etapa de ejecución de los factores incidentes en la serviciabilidad; contribuyendo significativamente en la proyección de mantenimiento, e incluso el análisis de resultados de puntos críticos en la carpeta asfáltica podrán quedar como referente para la ejecución de una nueva obra vial.

La presente evaluación tiene como fin: Analizar la serviciabilidad de la carpeta asfáltica por sectores, mediante los métodos: PCI y PSI; establecer una correlación entre las características de la mezcla asfáltica real y el deterioro (disminución de serviciabilidad), por sector; e identificar la variación de condición actual de serviciabilidad, respecto al óptimo.

La presente se ciñe bajo la siguiente estructura:

- **CAPÍTULO I: Generalidades:** Presenta el problema de investigación, la justificación, los objetivos y las hipótesis.
- **CAPÍTULO II: Revisión de Literatura:** Comprende los antecedentes, y el marco teórico.
- **CAPÍTULO III: Materiales y Métodos:** El cual comprende la metodología, los ensayos y los materiales que se usaron para la investigación.
- **CAPÍTULO IV: Resultados y Discusión:** Se presenta la información lograda.
- **CAPÍTULO V: Conclusiones:** Se presenta la respuesta afirmativa o negativa de los objetivos e hipótesis planteadas.

CAPÍTULO VI: Recomendaciones: Sugerencias a futuro, a raíz de la presente investigación.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad no se realiza estudios que muestre la relación causa – falla, para percibir la dependencia de la serviciabilidad de una carretera respecto a los factores de deterioro. Al estar la serviciabilidad íntimamente relacionada con la capa superficial (carpeta asfáltica) del pavimento por ser esta la proyección final del comportamiento del pavimento ante la percepción de los usuarios; se considera a la mezcla asfáltica un factor

preferente a evaluar. Por tal la presente investigación busca analizar la presencia de fallas a corto plazo; identificar la relación de métodos de Serviciabilidad: PCI y PSI, respecto a los indicadores de calidad de mezcla asfáltica evaluados (Estabilidad, flujo, %compactación, %contenido de asfalto, proporción filler/asfalto); determinar la reducción de serviciabilidad respecto a un punto óptimo inicial y finalmente evaluar los factores causa de la condición actual de la carpeta asfáltica. Para tal se eligió como población la carretera Desvío Yocará – Cabana puesta a servicio en marzo del año 2016, siendo una carretera que actualmente cuenta con un corto tiempo de servicio (1.5 años) y por las condiciones presentadas permite centralizar la investigación en aspectos característicos de la mezcla asfáltica.

1.1.1. Problema General

¿Cuál es la influencia de la calidad de la mezcla asfáltica en la serviciabilidad de la carretera Desvío Yocará – Cabana- 2018?

1.1.2. Problemas Específicos

- A 1.5 años de servicio ¿Existen fallas en la carretera Desvío Yocará -Cabana?
- ¿Cómo se relaciona el Índice de Condición del Pavimento y los indicadores de calidad de mezcla asfáltica en la carretera Desvío Yocará -Cabana?
- ¿Cómo se relaciona el Índice de Serviciabilidad Presente y los indicadores de calidad de mezcla asfáltica en la carretera Desvío Yocará -Cabana?
- ¿Cuál es la reducción de serviciabilidad a 1.5 años de puesta en servicio, respecto a un punto óptimo inicial en la carretera Desvío Yocará -Cabana?
- ¿Qué factores causan la condición actual de la carpeta asfáltica de la carreta Desvío Yocará – Cabana?

1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En el ámbito de construcción de pavimentos asfálticos no se ha venido realizando la etapa de evaluación post construcción, siendo necesario un modelo de evaluación por factor indicador de deterioro. Se pretende para tal efecto fomentar un modelo de evaluación del factor mezcla asfáltica como indicador en la serviciabilidad. La proyección de curva de deterioro (serviciabilidad/año) no parte en el punto óptimo deseado ya que diversos aspectos en el proceso constructivo no se realizan al 100% de eficiencia. A un año de puesta en servicio la carretera Desvío Yocará–Cabana, no tiene un estudio de referencia de condición de la vía, en el que se pueda evidenciar aspectos críticos de la etapa de ejecución que repercutan en la serviciabilidad, para tal efecto la presente tiene como fin evaluar el comportamiento del pavimento en estudio, para registro de antecedentes para la etapa de Post Inversión (Mantenimiento y Operación), contribuyendo al curso de transición: culmino de ejecución – inicio de mantenimiento, en el marco de la gestión vial. Así mismo se impulsa a realizar estudios similares, que puedan actuar como indicadores de control de calidad de los factores incidentes en la serviciabilidad; y a proyección futura contribuir en la programación adecuada de mantenimiento, e incluso el análisis de resultados de puntos críticos en la carpeta asfáltica podrán quedar como referente para la ejecución de una nueva obra vial.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la influencia de la calidad de mezcla asfáltica en la serviciabilidad de la carretera Desvío Yocará – Cabana.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Analizar fallas de una carpeta asfáltica con corto tiempo de servicio, para centrar la evaluación en factores del aspecto constructivo (diseño, componentes y proceso) de la carpeta asfáltica.
- Identificar la relación del Índice de Condición del Pavimento (PCI) respecto a los indicadores de calidad de mezcla asfáltica evaluados. Considerándose el método PCI un procedimiento óptimo de evaluación de serviciabilidad de una carretera.
- Identificar la relación del Índice de Serviciabilidad presente (PSI) respecto a los indicadores de calidad de mezcla asfáltica evaluados. Considerándose el método PSI a través del cálculo mecánico de rugosidad, uno de los métodos frecuentes de uso en evaluación de serviciabilidad de una carretera.
- Determinar la reducción de serviciabilidad acorto plazo (1.5 años) de puesta en servicio, respecto a un punto óptimo inicial.
- Evaluar los factores causa de la condición actual de la carpeta asfáltica de la carretera Desvío Yocará – Cabana.

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis General

Una deficiente calidad de mezcla asfáltica reduce prematuramente la serviciabilidad en carreteras.

1.4.2. Hipótesis Específicas

- La carretera Desvío Yocará -Cabana, ya presenta fallas en la carpeta asfáltica.

- Existe relación entre el valor del Índice de Condición del Pavimento y los indicadores de calidad de mezcla asfáltica evaluados. Los tramos con parámetros de mezcla asfáltica fuera de los márgenes establecidos presentan mayor reducción de PCI en la carretera Desvío Yocará -Cabana,
- Existe relación entre el valor del Índice de Serviciabilidad presente y los indicadores de calidad de mezcla asfáltica evaluados. Los tramos con parámetros de mezcla asfáltica fuera de los márgenes establecidos presentan mayor reducción de PSI en la carretera Desvío Yocará -Cabana,
- Existe una reducción de serviciabilidad acorto plazo (1.5 años) de puesta en servicio, respecto a un punto óptimo inicial.
- La evaluación de indicadores de la mezcla asfáltica y la serviciabilidad permiten plantear factores de causa de comportamiento.

1.5. LIMITACIONES

Los ensayos de caracterización de calidad de mezcla asfáltica usados en la metodología presente (Ensayo Marshall y Lavado Asfáltico) requieren de la extracción de muestras diamantinas de la carpeta asfáltica en la carretera en estudio, por ser esta una muestra destructiva existe limitación en la autorización de dicho muestreo. Las autoridades del distrito de Cabana autorizaron la extracción de solo 01 muestra por sector expuesto (con un total de 03 muestras). Limitándose por tal la correlación de variables (cantidad óptima de muestras de variable dependiente: serviciabilidad, y cantidad insuficiente de muestras de variable independiente: Calidad de mezcla asfálticas).

CAPITULO II

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

En la actualidad aún se presentan deficiencias en la gestión vial como conjunto, considerándose parte fundamental: la transición culmino de ejecución – inicio de mantenimiento, sin embargo, en los últimos años se ha venido presentando mayores investigaciones y/o evaluaciones referentes a la condición de calidad de servicio brindado por un pavimento, así como la evaluación de la calidad de mezcla asfáltica, en algunos casos relacionándose ambos conceptos y en otros, evaluados independientemente. Se tiene como precedentes a la presente investigación, los siguientes antecedentes y sus respectivas conclusiones:

Hidalgo (2006) realizó la investigación denominada: “Evaluación del sistema de gestión de pavimentos flexibles en el Perú”, proyecto de tesis pregrado presentado en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), dentro de los objetivos relacionados del proyecto se planteó: Realizar un análisis crítico de la gestión de pavimentos en el país, evaluando la eficiencia de la misma. Así también reconocer las variables que inciden en el deterioro de los pavimentos flexibles. Para tales fines se empleó una metodología que incluye: Recopilación de información referente a los sistemas de gestión; identificación de variables de deterioro para la predicción de comportamiento de los pavimentos; modelación de deterioros: modelo HDM4 vía peruana y modelo HDM4 vía EE. UU. (LTPP); análisis de consistencia de los datos (análisis de costos); propuesta de actividades de conservación dentro de la gestión de pavimentos. Finalmente, Hidalgo llega a las siguientes conclusiones afines al presente:

- El desarrollo del deterioro depende no solamente de los factores climáticos y de las cargas de tránsito sino también de la calidad o performance que presente el pavimento al inicio, esto a su vez está relacionado al buen diseño del pavimento y su buena construcción para lo que se requiere de una mayor inversión inicial, pero que convendrá a largo plazo al invertir menos en el mantenimiento o rehabilitación. Esto se corrobora al comparar los costos obtenidos de los pavimentos peruano y estadounidense para las diferentes estrategias de mantenimiento.
- Hay que poner especial atención al desarrollo del IRI, es éste el que está directamente relacionado al buen o mal servicio del pavimento, además, define la aplicación de actividades de mantenimiento severas y por lo tanto de mayor costo. Entonces, se debe poner en servicio las vías con un valor de IRI bajo, con estos valores se logra que la performance del pavimento se mantenga, ya que mientras más alto es el IRI inicial mayor es la pendiente de su progresión.
- Con el desarrollo de esta tesis se puede afirmar que el SGP (Sistemas de Gestión de Pavimentos) del Perú se encuentra planteado entre las estrategias I y II (Escenario de mantenimiento rutinario y la combinación con el Escenario de mantenimiento periódico I), es decir no hay un abandono total de los pavimentos, pero tampoco existe un monitoreo y actuación de mantenimiento oportuna.

Auccahuaqui y Corahua (2016), realizan la investigación: “Evaluación del sistema de pavimentos flexibles en la prolongación de la Av. La Cultura tramo (4to paradero de San Sebastián – grifo MOBIL de San Jerónimo)”, proyecto de tesis pregrado presentado en la Universidad Andina del Cusco (Cusco - Perú), la que tiene por objetivo: Evaluar el estado actual del pavimento flexible del tramo en mención, donde se ha observado un gran número de deformaciones (Ahuellamiento) de su carpeta de rodadura. La carretera en estudio ha presentado diversas fallas, donde el ahuellamiento es el predominante, por

tal se realizaron los ensayos: de CBR in situ (resistencia al corte), Marshall (fluidez y estabilidad), contenido de asfalto; y el recálculo del ESAL, para determinar el motivo de sus deformaciones. En dicho proyecto se llega a las siguientes conclusiones afines al presente:

- La resistencia de la estructura del pavimento de la Av. La Cultura tramo (4to paradero de San Sebastián - grifo MOBIL de San Jerónimo) está sub dimensionada para las condiciones actuales de servicio de la vía, se tiene que el ensayo CBR in situ nos da como resultado CBRs muy bajos tanto para la base (promedio 30%) y sub base (promedio 7%), comparando con los valores establecidos por el MANUAL DE CARRETERAS (Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG – 2013) se tiene que para la base el CBR debe ser como mínimo 80% y para la sub base debe ser como mínimo 40% respectivamente llegando a la conclusión de que son bajas para las condiciones actuales de servicio de la vía.
- Mediante un inventario vial se logró identificar todas las fallas existentes demostrándose que la falla más presente es el ahuellamiento con un valor máximo de 180 mm y mínimo de 7 mm, llegándose a la conclusión que el ahuellamiento si afecta a la transitabilidad el cual no permite una buena calidad de rodaje de las ruedas de los vehículos y dificultad del paso peatonal.
- Mediante el ESAL calculado que es de $1.17 \cdot 10^7$ y se puede verificar que para un ESAL mayor a 7'000,000 el espesor de la carpeta asfáltica es de 4"; se comprobó que el espesor tanto calculado y el que presenta el tramo en estudio, así como los indicados en el expediente técnico son iguales estos y si cumple para las cargas que transitan actualmente.

Padilla (2004), realiza la investigación: “Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista”, tesina presentado en la Universidad Politécnica de Cataluña Barcelona, España. Dentro de los objetivos relacionados, se planteó Identificar los principales factores que ocasionan las deformaciones plásticas permanentes en los pavimentos; así también se busca identificar posibles soluciones y proporcionar recomendaciones para prevenir el problema de las deformaciones plásticas permanentes en los pavimentos. Incluyéndose un análisis para describir el comportamiento de las mezclas densas mexicanas ante las deformaciones plásticas, se podrán observar la influencia que tiene el tipo de asfalto, la granulometría, el contenido de asfalto en la mezcla, las cargas por eje equivalente en la susceptibilidad a la formación de las roderas. Finalmente, con base en el análisis de resultados del trabajo presentado, se pudo concluir que la formación de roderas en las capas de rodadura de un pavimento flexible se debe principalmente a:

- El tipo y contenido de ligante asfáltico: entre más duro es el asfalto, mayor es la resistencia de la mezcla ante la formación de roderas. Además, al hacer una variación en el contenido de asfalto, de 4,75% a 4,25%, se observó una mejora notable de la resistencia a la deformación plástica durante el Ensayo de Pista.
- Composición granulométrica y características de los agregados pétreos: la curva granulométrica Superior, es decir, con mayor contenido de finos, se comportó mejor que la mezcla fabricada con la curva granulométrica Inferior, con menos contenido de finos.

- Contenido de Vacíos en la Mezcla Asfáltica: se debe controlar el porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica a través del diseño Marshall y con esto se asegura la resistencia ante la formación de las roderas.
- Relación Filler/Asfalto: este compuesto tiene importancia fundamental en la impermeabilidad, y durabilidad de la mezcla asfáltica. entre mayor sea la relación filler/asfalto, mayor es la resistencia a la deformación plástica en el Ensayo de Pista.
- Cargas por Eje Equivalente: la velocidad de deformación aumenta a medida que las cargas por Eje Equivalente aumentan, es decir, las deformaciones plásticas se presentan con mayor severidad en las mezclas asfálticas que están sometidas a una mayor carga.
- Temperatura: la temperatura de servicio de un pavimento en ambientes cálidos elevados afecta desfavorablemente la resistencia de la mezcla asfáltica a la formación de roderas, debido a que la mezcla presenta un comportamiento muy viscoso, que la hace fluir y desplazarse con mucha facilidad.
- Compactación de la mezcla asfáltica: la mayor estabilidad y la deformación aceptable en las mezclas asfálticas obtenidas durante el ensayo Marshall, no son parámetros confiables para evaluar la resistencia a la deformación plástica de las mezclas con el Ensayo de Pista. Por lo tanto, no existe compatibilidad entre estos dos ensayos en la evaluación de las deformaciones plásticas de las mezclas.

El Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (2010), evalúa: “Deterioros prematuros de la mezcla asfáltica en la Concesión de la Carretera San José-Caldera”, y presenta el Informe de Asesoría: INF-PITRA-003-2010 ante el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, por solicitud de la misma. El Objetivo de este informe fue establecer las posibles causas técnicas por las

cuales se han presentado fallas de la mezcla asfáltica en algunas secciones de la carretera; adicionalmente establecer si los deterioros continuaran presentándose en el proyecto. Mediante evaluaciones de los antecedentes (informes pasados) y los ensayos de Índice de Rugosidad Superficial (IRI); inventariado de: ahuellamiento, agrietamiento, desprendimiento de áridos y baches abiertos; resistencia al deslizamiento. Se resalta las conclusiones de dicho informe por ser un modelo de evaluación requerida en las vías de nuestro País, sea a las concesionarias o a las entidades públicas a cargo de las carreteras, para la mejor programación de mantenimiento en el marco del cumplimiento de estándares de servicio. Las observaciones y/o conclusiones fueron:

- Se evidenció la variabilidad en la producción de la mezcla asfáltica, apuntada en el informe anterior de evaluación mediante los resultados de los ensayos realizados a la mezcla asfáltica por parte del autocontrol del Concesionario.
- Se pudo evidenciar el incumplimiento del contrato de concesión, esto en cuanto a la pérdida de agregado; así como deterioros prematuros de la estructura de pavimento colocada en el proyecto relacionados con dosificaciones bajas de ligante asfáltico y también con altos contenidos de relleno mineral.
- Los incumplimientos encontrados provocan una rigidización de la mezcla, mayor susceptibilidad a la fatiga, una reducción de la durabilidad, además de una mayor susceptibilidad al daño por humedad.
- Se pudo evidenciar la necesidad de realizar una intervención de la capa de ruedo del proyecto concesionado a fin de cumplir con lo establecido en el contrato, así como garantizar la seguridad de los usuarios de la vía.
- El presente estudio se realizó inspeccionando primordialmente la capa superior (de ruedo) de la estructura del pavimento de la vía principal, por lo que corresponde a la

Supervisión del proyecto que, como lo ha venido haciendo, detalle y cuantifique los deterioros que se presenten, comunicándolos oportuna y diligentemente a la gerencia de proyecto. Así como extenderlo a rampas y rutas marginales que pertenecen al proyecto y/o que fueron construidas por el Concesionario.

- Existen tramos de carretera donde se manifiesta deficiencias en el desempeño de la estructura, produciéndose deterioros acelerados que afectan al usuario de la vía. Estos tramos deben ser estudiados por el Concesionario a fin de valorar la mejor forma de intervenirlos para eliminarlos o al menos minimizarlos, y así restituir la condición planteada en los diseños y especificaciones del proyecto.
- Los deterioros presentados significan una reducción importante de la vida útil de las estructuras, por lo que la sociedad Concesionaria debe garantizar mediante los trabajos que realice la solución efectiva y duradera de los problemas en la carretera concesionada.
- De no atenderse pronto el problema, es probable que se sigan presentando deterioros prematuros de la capa de ruedo. Esto provocará que la sociedad Concesionaria caiga en graves incumplimientos del contrato en lo que referente a parámetros de calidad del pavimento. Esto repercutirá en molestias a los usuarios en el corto plazo y altos costos futuros de reparación para la Concesionaria.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Pavimento

Montejo (2006) refiere:

Un pavimento es una estructura que está constituida por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento. (p. 1)

Y se refiere que un pavimento debe reunir los siguientes requisitos:

Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tráfico. Ser resistente ante los agentes de intemperismo. Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos (...). Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto de las llantas de los vehículos, así como contar con un diseño geométrico acorde a la zona. Debe presentar una regularidad tanto transversal como longitudinal que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación. Debe ser durable. Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje. Debe ser económico. Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito. (Montejo, 2006, p.2)

2.2.1.1. Clasificación de Pavimentos:

A. PAVIMENTO FLEXIBLE:

American Association of State and Transportation Highway Officials (1993), refiere:

Los pavimentos flexibles generalmente están constituidos de un suelo de fundación preparado (subrasante), subyacente a las capas de subbase, base y superficie de rodadura. En algunos casos la subbase y/o base se estabilizan para maximizar el uso de los materiales locales. (p. 23)

American Association of State and Transportation Highway Officials (como se citó en Aucchahuaqui y Corahua, 2016) dice que el pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un período de vida de entre 10 y 15 años, pero tiene la desventaja de requerir mantenimiento periódico para cumplir con su vida útil. (p. 18)

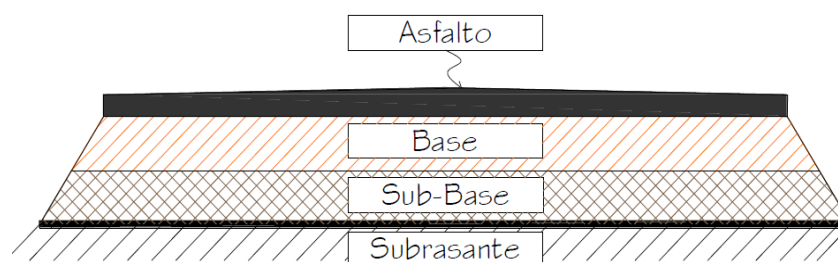


Figura 1. Sección de un pavimento flexible.
Fuente: Armijos 2009.

B. PAVIMENTO RÍGIDO:

American Association of State and Transportation Highway Officials (1993), refiere:

Los pavimentos rígidos generalmente consisten de una subrasante subyacente, una capa de subbase y una losa de pavimento. La subbase puede ser estabilizada o sin estabilizar. En los casos de diseño de caminos con bajos volúmenes de tránsito, donde el tráfico de camiones es bajo, la capa de subbase puede no ser necesaria entre la subrasante y la losa del pavimento. (p. 31)

American Association of State and Transportation Highway Officials (como se citó en Aucchahuaqui y Corahua, 2016) refiere: “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” (p. 18).

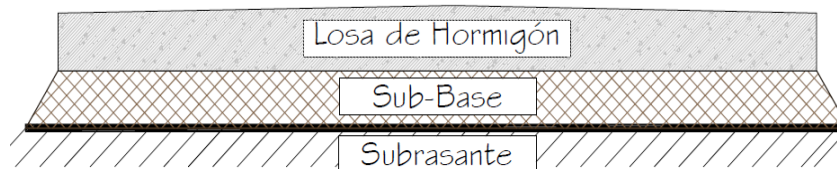


Figura 2. Sección de un pavimento rígido.

Fuente: Armijos 2009.

C. PAVIMENTOS SEMI-RÍGIDOS

“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” (Armijos, 2009, p. 11).

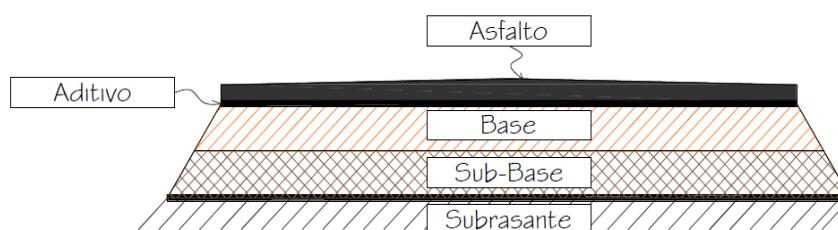


Figura 3. Sección de un pavimento semi-rígido.

Fuente: Armijos 2009.

D. PAVIMENTOS ARTICULADOS

Los pavimentos articulados son pavimentos cuyas capas de rodadura se encuentran conformadas por bloques de concreto prefabricado, que se denominan adoquines, son iguales entre sí 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. (Armijos, 2009, p. 11)

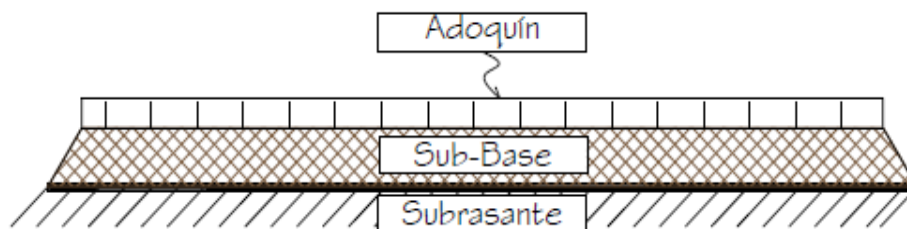


Figura 4. Sección de un pavimento artículo.
Fuente: Armijos 2009.

2.2.1.2. Pavimentos Flexibles

La presente evaluación tiene como unidad de estudio un pavimento asfáltico de tal forma se busca profundizar conceptos referidos:

A. SUB RASANTE

Capa sobre la que se coloca el pavimento, Montejo (2006) refiere:

De la calidad de esta capa depende, en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas del tránsito. Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen, hinchamiento – retracción. (p. 9)

B. SUB BASE

“Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua” (MTC - Suelos y Pavimentos, 2014, p. 25). Así mismo Montejo (2006) refiere sobre sus funciones:

(...) La subbase bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante y por otra parte actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen menoscabando su

calidad (...). Algunos cambios volumétricos de la capa subrasante, generalmente asociados a cambios en su contenido de agua (expansiones), o a cambios extremos de temperatura (heladas), pueden absorberse con la capa subbase, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento (...). La subbase debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos, a través de las capas superiores y transmitidos a un nivel adecuado a la subrasante (...). En muchos casos la subbase debe drenar el agua, que se introduzca a través de la carpeta o por las bermas, así como impedir la ascensión capilar. (p. 4)

C. BASE

“Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito” Sección Suelos y Pavimentos (MTC - Suelos y Pavimentos, 2014, p. 25). “(...) La función fundamental de la base granular de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la subbase y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada” (Montejo, 2006, p. 4).

D. CARPETA DE RODADURA

En la Sección Suelos y Pavimentos emitido por el MTC - Suelos y Pavimentos (2014) conceptualiza a la carpeta de rodadura como “la parte superior de un pavimento (...) cuya función es sostener directamente el tránsito” (p. 25). Así mismo Aucchahuqui y Corahua (2016) refieren que:

En una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas: Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el desempeño de la misma como pavimento terminado (p.80).

Montejo (2006) describe acerca de las funciones de la carpeta asfáltica que:

La carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito (...). Hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento (...). Su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento. (P. 4,5).

2.2.1.3. Comportamiento Estructural del Pavimento Flexible

Se pretende desarrollar teorías correspondientes al aporte por capas dado en un pavimento flexible. Como principio se tiene según Montejo (2006) que: “la magnitud de las solicitaciones debe ser menor que la capacidad estructural de las capas que componen el pavimento” (p.129); así mismo Minaya y Ordoñez (2006) afirman que: “(...) el objetivo es distribuir las cargas provenientes del tránsito, de manera que las presiones verticales a nivel de fundación sean menores a las admisibles por la estructura del pavimento” (p. 9).

A. ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN EL PAVIMENTO

Ya que la duración del pavimento está íntimamente asociada a la magnitud de las deformaciones y esfuerzos presentados en la estructura de pavimentos, se requiere conocer conceptos referidos. Se tiene que, para realizar la evaluación de esfuerzos y deformaciones, se clasifica al pavimento flexible como un sistema elástico de múltiples capas, Minaya y Ordoñez (2006) refieren al respecto que: “El sistema elástico de múltiples capas está compuesto por el sistema de n-capas en coordenadas cilíndricas, la capa n-ésima es de espesor infinito. Para cada capa se debe conocer su módulo de elasticidad E y su relación de Poisson” (p. 10).

Darles solución a sistemas elásticos de múltiples capas es tarea difícil, para ello se usan herramientas como los programas de cómputo. En el medio hay diferentes programas entre ellos el Programa Kenlayer de la Universidad de Kentucky, este programa puede ser aplicado sólo en problemas de pavimentos asfálticos. (Minaya y Ordoñez, 2006, p. 11)

La evaluación de esfuerzo deformación del sistema multicapa es reflejado en el diseño mediante los coeficientes de capa (a_1 , a_2 , a_3), usados en la determinación de espesores de capas del pavimento: carpeta asfáltica, base y subbase. Así como lo señalan Minaya y Ordoñez (2006):

Los coeficientes de capa dependen del módulo resiliente del suelo (MR), se determinan empleando los conceptos esfuerzo-deformación de un sistema multicapa. Los coeficientes de capa usados en la pista de prueba AASHO son:

- Concreto asfáltico superficial, a_1 0.40 - 0.44 pulg-1,
- Base de piedra chancada, a_2 0.10 - 0.14 pulg-1,
- Sub base de grava arenosa, a_3 0.06 - 0.10 pulg-1. (p. 107)

B. MODELO DE EVALUACIÓN DEFORMACIONAL

Existen programas de modelamiento de análisis elástico multicapas Minaya y Ordoñez (2006) muestran una distribución de esfuerzos por capas para el que se empleó el programa Kenlayer del Dr. Huang de la Universidad de Kentucky.

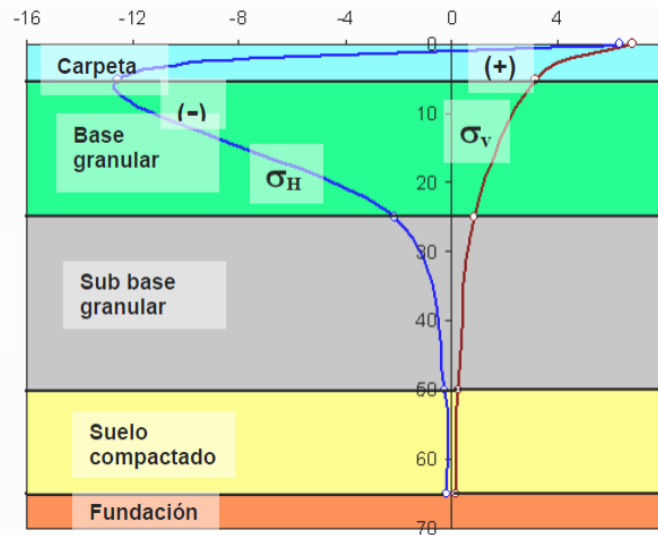


Figura 5. Esquema de la Distribución de Esfuerzos en Pavimentos Típicos.
Fuente: Minaya y Ordoñez 2006.

Así también Minaya y Ordoñez (2006), presentan un modelo de evaluación de estructuras típicas, conformada por carpeta asfáltica, base y subbase granulares, suelo compactado y fundación; cuyas condiciones de análisis son las mismas, sólo se variará el espesor de la carpeta asfáltica, ésta será de 2, 4 y 6 pulgadas.

CAPA DE PAVIMENTO		CARACTERÍSTICAS
Carpeta asfáltica	Variable	2, 4 y 6"
Base granular	20 cm	Mr=450,000 psi v=0.35
Sub base granular	25 cm	Mr=30,000 psi CBR=100% v=0.35
Suelo compactado	15 cm	Mr=17,500 psi CBR=40% v=0.35
Fundación		Mr=12,000 psi CBR=20% v=0.35
TIPO DE EJE		SIMPLE STANDARD
RADIO DE CONTACTO		4.52 PULG
PRESION DE CONTACTO		5 kg/cm ²

Figura 6. Análisis Deformacional de Estructura Típica.
Fuente: Minaya y Ordoñez 2006.

Complementariamente Minaya y Ordoñez (2006) muestran la variación de los esfuerzos verticales o de compresión en estructuras típicas; y afirma que:

El mayor porcentaje de los esfuerzos verticales son asumidos por la carpeta asfáltica y base granular. Al nivel de fundación, para cualquier configuración, llega el mismo

nivel de esfuerzos, esto indica que incrementando el espesor de la carpeta asfáltica no se reducen las deformaciones en la fundación. (p. 137)

2.2.1.4. Diseño Estructural del Pavimento Flexible

A. FUNDAMENTO DEL DISEÑO SEGÚN AASHTO 93

El método AASHTO es un método de regresión basado en resultados empíricos de la carretera de prueba AASHO construida en los años 50. Los procedimientos involucrados en el actual método de diseño versión 1993, están basados en las ecuaciones originales de la AASHO, que datan de 1961. La versión de 1986 y la actual de 1993 se han modificado para incluir factores o parámetro de diseño que no habían sido considerados y que son producto de la experiencia adquirida por ese organismo entre el método original y su versión más moderna. El procedimiento de diseño se realiza suponiendo un número estructural del pavimento efectuando tanteos analíticamente hasta equilibrar la expresión de diseño a través de nomogramas. El número estructural de un pavimento se obtiene del producto de ciertos coeficientes de resistencia relativa de cada una de sus capas constituyentes, de acuerdo con el tipo de material. (Arapa y Almonte, 2008).

La ecuación básica de diseño propuesta por AASHTO 93 es:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Donde:

SN : número estructural requerido por la sección de carretera

W18z : número de ejes equivalentes de 80 kN (18,000 lb), en el período de diseño.

ZR : desviación estándar normal (depende de la confiabilidad, R, de diseño).

So : error estándar por efecto del tráfico y comportamiento.

ΔPSI : variación del índice de serviciabilidad.

MR : módulo resiliente de la subrasante medido en psi.

B. FUNDAMENTO DEL DISEÑO SEGÚN LA METODOLOGÍA EMPÍRICO MECANÍSTICO

Acerca Minaya y Ordoñez (2006) refieren:

Actualmente, la mayoría de los métodos de diseño de pavimentos no consideran la contribución de cada capa en la resistencia a la fatiga, asentamientos permanentes y el de agrietamiento por temperatura, más aún, cuando cada capa del pavimento tiene una función propia. Los métodos denominados empíricos – mecánicos pueden considerar la contribución estructural de las diferentes capas de un pavimento flexible, lo que no ocurre, por ejemplo, con el método AASHTO 1993. Recientemente la incorporación de los conceptos de la mecánica estructural denominados “conceptos mecánicos” es utilizada en el análisis, diseño y refuerzo de la estructura de los pavimentos. (p. 68)

Además:

El método empírico mecánico se basa en la aplicación de la mecánica estructural, que permite determinar la respuesta de los elementos estructurales que compone el pavimento, tales como esfuerzos, deformaciones y desplazamientos, debido a las cargas aplicadas por las ruedas, utilizando los fundamentos y el modelamiento que permite la teoría elástica (...). AASHTO 2002, por lo tanto, ya no utiliza una ecuación de regresión para el diseño, sino recomienda la aplicación de la teoría

elástica, modelando el medio mediante múltiples capas horizontales, homogéneas, con comportamiento elástico en el caso de la subrasante y bases granulares y comportamiento viscoelástico en el caso de los materiales asfálticos. (Minaya y Ordoñez, 2006, p. 123)

2.2.2. Mezcla Asfáltica

Se pretende conocer información referente a las características, comportamiento y propiedades de la mezcla asfáltica **caliente**, siendo este el tipo de mezcla usada para la construcción del pavimento evaluado.

2.2.2.1. Características y Comportamiento

Asphalt Institute (1982) presenta cuatro características de la mezcla, y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla:

- **Densidad de la mezcla:** la densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario. La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m³). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio;
- **Vacíos de aire, o simplemente vacíos:** los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada; es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios adonde pueda fluir el asfalto durante su compactación adicional; el porcentaje permitido de vacíos (en muestras de

laboratorio) para capas de base y capas superficiales está entre 3 y 5 por ciento, dependiendo del diseño específico.

- **Vacíos en el agregado mineral:** Los vacíos en el agregado mineral (VMA) son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto; el VMA representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde en el agregado) y el volumen de vacíos necesario en la mezcla.
- **Contenido de asfalto.** La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra; el contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado tales como la granulometría y la capacidad de absorción (...); entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y, mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas; la relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto es más pronunciada cuando hay relleno mineral; los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral pueden absorber, literalmente, gran parte del contenido de asfalto, resultando en una mezcla inestable y seca; las pequeñas disminuciones tienen el efecto contrario: poco relleno mineral resulta en una mezcla muy rica (húmeda). (p. 57,58,60)

2.2.2.2. Propiedades

Referente a las propiedades de una mezcla asfáltica, Asphalt Institute (1982) enuncia que:

Las buenas mezclas asfálticas en caliente trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas.

Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas en caliente, estas incluyen: la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento. (p. 60)

Para la **estabilidad** en un asfalto se refiere que:

(...) es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito; un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura durante el paso de cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para acomodar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de lo que exijan las condiciones de tránsito. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado. La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. En términos generales, entre más angular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla. La fuerza ligante de la cohesión aumenta con aumentos en la frecuencia de carga (tráfico). La cohesión también aumenta a medida que la viscosidad del asfalto aumenta, o a medida que la temperatura del pavimento disminuye. Adicionalmente, y hasta cierto nivel, la cohesión aumenta con aumentos en el contenido de asfalto. Cuando se sobrepasa este nivel, los aumentos en el contenido de asfalto producen una película demasiado gruesa sobre las partículas de agregado, lo cual resulta en pérdida de fricción entre partículas.

Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en el pavimento. (Asphalt Institute, 1982, p. 61)

Tabla 1. Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento.

CAUSAS	EFFECTOS
Exceso de asfalto en la mezcla.	Ondulaciones, ahuellamientos, afloramiento o exudación.
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla.	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente, durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación.
Agregado redondeado sin o con pocas superficies trituradas.	Ahuellamiento y canalización.

Fuente: Asphalt Institute 1982.

Para la **durabilidad** en un asfalto se refiere que:

La durabilidad de un pavimento es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos. Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad (...). La resistencia de una mezcla a la separación puede ser mejorada, bajo ciertas condiciones, mediante el uso de compuestos adhesivos, o rellenos como la cal hidratada. (Asphalt Institute, 1982, p. 62)

Tabla 2. Causas y efectos de una poca durabilidad en el pavimento.

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfaltos.	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida del agregado.
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación.	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración.
Agregado susceptible al agua (Hidrofilitos).	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado.

Fuente: Asphalt Institute 1982.

Para la **Impermeabilidad** en un asfalto se refiere que:

La impermeabilidad de un pavimento es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relaciona con impermeabilidad.

(Asphalt Institute, 1982, p. 62)

Tabla 3. Causas y efectos de la permeabilidad.

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfaltos.	Las películas delgadas de asfalto causarán tempranamente un envejecimiento y una desintegración de la mezcla.
Alto contenido de vacios en la mezcla de diseño.	El agua y el aire pueden entrar facilmente en el pavimento, causando oxidación. Y desintegración de la mezcla.
Compactación inadecuada.	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y baja estabilidad.

Fuente: Asphalt Institute 1982.

Para la **Trabajabilidad** en un asfalto se refiere que:

Es la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría. (Asphalt Institute, 1982, p. 63)

Tabla 4. Causas y efectos de problemas en la trabajabilidad.

CAUSAS	EFFECTOS
Tamaño máximo de partícula grande.	Superficie áspera, difícil de colocar.
Demasiado agregado grueso.	Puede ser difícil de compactar.
Temperatura muy baja de mezcla.	Agregado sin revestir, mezcla poco durable superficie aspera, difícil de compactar.
Demasiada arena de tamaño medio.	La mezcla se desplaza bajolacompactadora y permanece tierna o blanda.
Bajo contenido de relleno mineral.	Mezcla tierna, altamente permeable.
Alto contenido de relleno mineral.	Mezcla muy vizcosa, difícil de manejar, poco durable.

Fuente: Asphalt Institute 1982.

Para la **Flexibilidad** en un asfalto se refiere que:

La flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo). Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada e bajo contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos. (Asphalt Institute, 1982, p. 64)

Para la **Resistencia a la fatiga** en un asfalto se refiere que:

(...) es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento. (El periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga. Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la subrasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito. (Asphalt Institute, 1982, p. 64)

Tabla 5. Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga.

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfalto.	Agrietamiento por fatiga.
Vacíos altos de diseño.	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por el agrietamiento por fatiga.
Falta de compactación.	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por el agrietamiento por fatiga.
Espesor inadecuado de pavimento.	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga.

Fuente: Asphalt Institute 1982.

Para la **Resistencia al deslizamiento** en un asfalto se refiere que:

(...) es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esta mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento (hidroplaneo). La resistencia al deslizamiento se mide en terreno con una rueda normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie del pavimento, y a una velocidad de 65 km/hr (40 mi/hr). (Asphalt Institute, 1982, p. 65)

Tabla 6. Causas y efectos de la poca resistencia al deslizamiento.

CAUSAS	EFFECTOS
Exceso de asfalto.	Exudación por resistencia al deslizamiento.
Agregado mal graduado o con mala textura.	Pavimento liso, posibilidad de hidroplaneo.
Agregado pulido en la mezcla.	Poca resistencia al deslizamiento.

Fuente: Asphalt Institute 1982.

2.2.3. Serviciabilidad

“La serviciabilidad es la percepción que tienen los usuarios del nivel de servicio del pavimento” (Sachún, 2016, p.41).

Existen diferentes maneras de establecer el grado de serviciabilidad del pavimento, desde una simple inspección visual realizada por uno o más ingenieros experimentados que en base a las fallas encontradas y su apreciación personal

estiman la serviciabilidad presente, hasta e uso de equipos sofisticados que permiten cuantificar las deformaciones longitudinales que se presentan en la vía. Se menciona tres indicadores para medir la serviciabilidad de un pavimento según la metodología seguida. (Chang, 2012, p. 74)

Tal como lo menciona Chang se desarrollan 03 métodos para determinar el grado de serviciabilidad:

2.2.3.1. Rango de Serviciabilidad Presente (PSR)

El rango de serviciabilidad presente (Present Serviciabilidad Rating PSR), el cual establece la condición funcional actual del pavimento (transitabilidad) en base a la opinión de un observador sobre la capacidad o habilidad del pavimento para servir al tránsito que se considera debe soportar, siguiendo los criterios desarrollados en él. Según el experimento Vial AASHO. La escala de calificación subjetiva empleada varía desde 0 (esencialmente impasible) a 5 (excelente). (Chang, 2012, p. 74)

2.2.3.2. Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

Chang (2012) refiere que el: “Índice de serviciabilidad presente (Present Serviciability Index PSI), es la medida de la serviciabilidad empleando medios mecánicos. Para su estimación la tendencia más difundida es la determinación de la rugosidad o deformación longitudinal del pavimento” (p. 74).

Por otro lado el MTC - Suelos y Pavimentos (2014) refiere que:

AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials), fue la primera en sistematizar un procedimiento objetivo para establecer el nivel de deterioro de los pavimentos, procurando relacionar la condición funcional con la

estructural. Para el efecto introdujo el concepto de Present Serviciability Index (PSI), que fue derivado de una encuesta efectuada en la década del 60 entre usuarios de carreteras en los Estados Unidos. (p. 156,157)

Referente a la forma de cálculo se tiene:

El concepto de serviciabilidad está estrechamente relacionado con el concepto de rugosidad. A menor irregularidad de la superficie de rodadura la rugosidad será menor y por consiguiente la vía estará en capacidad de proporcionar un mejor nivel de serviciabilidad. En caso opuesto, cuanto más irregular es la superficie de rodadura, la rugosidad será mayor y la vía no estará en condiciones de brindar un adecuado nivel de serviciabilidad. Finalmente, estos parámetros se traducen en costos de operación vehicular costos de transporte de los usuarios y costos de mantenimiento de la vía (Chang, 2012, p.68).

Chang (2012): Se han desarrollado para la determinación del PSI, fórmulas matemáticas diversas que combinan distintos parámetros de deterioro. Para el cálculo de PSI se tiene la expresión aproximada establecida por Sayers que relaciona la rugosidad con el índice de serviciabilidad, siendo esta la formula con más aceptación y con la que se viene trabajando actualmente.

$$PSI = \frac{5}{EXP\left(\frac{IRI}{5.5}\right)}$$

Referente a los parámetros establecidos para PSI:

El Present Serviciability Index o la serviciabilidad fue definida como la capacidad de un pavimento para servir al tránsito para el cual fue diseñado. Los pavimentos fueron calificados con notas cuyos valores extremos variaban desde 0, para un

camino intransitable, hasta 5 para una superficie en perfectas condiciones (situación ideal). (MTC - Suelos y Pavimentos, 2014, p. 157)

Tabla 7. Escala de Índice de Serviciabilidad.

ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD	CALIDAD
5	
4	Muy buena
3	Buena
2	Regular
1	Mala
0	Pésima

Fuente: Guía AASHTO.

Tabla 8. Descripción de la escala de clasificación de serviciabilidad.

Calificación Numérica	Condición	Descripción
De 0.0 a 1.0	Muy mala	Los pavimentos en esta categoría se encuentran en una situación de extremo deterioro. Los caminos se pueden pasar a velocidades reducidas y son considerables problemas de manejo. Existen grandes baches y grietas profundas. El deterioro ocurre en un 75% o más de la superficie.
De 1.0 a 2.0	Mala	Los pavimentos en esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde pueden afectar la velocidad de tránsito de flujo libre. Los pavimentos flexibles pueden tener grandes baches y grietas profundas. El deterioro incluye desconcho de juntas, escalonamiento, parches, agrietamiento y bombeo.
De 2.0 a 3.0	Regular	En esta categoría la calidad de manejo es notable inferior a la de los pavimentos nuevos y puede presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales en pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamientos, parches agrietamiento. Los pavimentos rígidos pueden incluir fallas en las juntas, agrietamiento, escalonamiento y bombeo.

De 3.0 a 4.0	Buena	Los pavimentos de esta categoría si bien no son tan suaves como los "Muy buenos", entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden estar comenzando a mostrar signos de ahuellamiento y figuración aleatoria. Los pavimentos rígidos suelen estar empezando a mostrar evidencias de un leve deterioro superficial, como desconches y fisuras menores.
De 4.0 a 5.0	Muy buena	Solo los pavimentos nuevos (o casi nuevos) son lo suficientemente suaves y sin deterioro para clasificar dentro de esta categoría. La mayor parte de los pavimentos construidos o recapeados durante el año de inspección normalmente se clasifican como muy buenos.

Fuente: Gestión de infraestructura Vial.

Existen parámetros márgenes para la aceptabilidad del Psi; para Chang (2012) “Usualmente en los proyectos viales se solicita que la serviciabilidad inicial P_i sea de 4.2 o 4.0 dependiendo del grado de importancia del proyecto y la serviciabilidad final P_t sea de 2.0 o 2.5” (p.72). Por otro lado, el MTC - Suelos y Pavimentos (2014) presenta valores de P_i y P_t según el tráfico, dicho valores son los usados en el diseño, pudiéndose aplicar para el control posterior del elemento.

“**Serviciabilidad Inicial (P_i):** la Serviciabilidad Inicial (P_i) es la condición de una vía recientemente construida”. (MTC-Suelos y Pavimentos, 2014, p. 126)

Tabla 9. Índice de Serviciabilidad Inicial (P_i) Según Rango de Tráfico.

TIPOS DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (P_o)
Caminos de bajo volumen de tránsito.	Tp0	75,000	150,000	3.80
	Tp1	150,001	300,000	3.80
	Tp2	300,001	500,000	3.80
	Tp3	500,001	750,000	3.80
	Tp4	750,001	1,000,000	3.80
Resto de caminos	Tp5	1,000,001	1,500,000	4.00
	Tp6	1,500,001	3,000,000	4.00
	Tp7	3,000,001	5,000,000	4.00
	Tp8	5,000,001	7,500,000	4.00

Tp9	7,500,001	10,000,000	4.00
Tp10	10,000,001	12,500,000	4.00
Tp11	12,500,001	15,000,000	4.00
Tp12	15,000,001	20,000,000	4.20
Tp13	20,000,001	25,000,000	4.20
Tp14	25,000,001	30,000,000	4.20
Tp15	> 30,000,000		4.20

Fuente: MTC – Suelos y Pavimentos 2014.

“**Serviciabilidad Final o Terminal (PT):** la Serviciosabilidad Terminal (Pt) es la condición de una vía que ha alcanzado la necesidad de algún tipo de rehabilitación o reconstrucción” (MTC-Suelos y Pavimentos, 2014, p. 126).

Tabla 10. Índice de Serviciosabilidad Final (Pt) Según Rango de Tráfico.

TIPOS DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS	ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (Pt)	
Caminos de bajo volumen de tránsito.	Tp0	75,000	150,000	2.00
	Tp1	150,001	300,000	2.00
	Tp2	300,001	500,000	2.00
	Tp3	500,001	750,000	2.00
	Tp4	750,001	1,000,000	2.00
Resto de caminos	Tp5	1,000,001	1,500,000	2.50
	Tp6	1,500,001	3,000,000	2.50
	Tp7	3,000,001	5,000,000	2.50
	Tp8	5,000,001	7,500,000	2.50
	Tp9	7,500,001	10,000,000	2.50
	Tp10	10,000,001	12,500,000	2.50
	Tp11	12,500,001	15,000,000	2.50
	Tp12	15,000,001	20,000,000	3.00
	Tp13	20,000,001	25,000,000	3.00
	Tp14	25,000,001	30,000,000	3.00
	Tp15	> 30,000,000		3.00

Fuente: MTC – Suelos y Pavimentos 2014.

Según Chang (2012): “La aplicabilidad de la rugosidad y serviciosabilidad en la fase de proyecto está relacionada con la evaluación de los pavimentos existentes y en el diseño” (p. 71); se considera así:

Aplicabilidad en la evaluación del pavimento existente: Chang (2012) refiere:

La medición de la rugosidad y serviciabilidad se utiliza para conocer el estado del pavimento y plantear alternativas de mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción (...). Si bien es cierto, la rugosidad y serviciabilidad no son los únicos parámetros para definir los trabajos de mantenimiento y/o rehabilitación, es de vital importancia para limitar el espectro de alternativas técnicamente viables. Pavimentos con valores de PSI superiores a 4.0 no requieren ningún tratamiento o actividades de mantenimiento menores como puede ser un sello superficial. Pavimentos con valores de PSI entre 2.0 y 4.0 requieren de trabajos de mantenimiento y/o rehabilitación dependiendo de otros parámetros de evaluación. Las actividades pueden variar desde un tratamiento superficial, fresado y/o recapado de la superficie de rodadura existente. Pavimentos con valores de PSI por debajo a 2.0 requieren una rehabilitación mayor (reciclado de la carpeta asfáltica) o reconstrucción total (eliminación de la superficie de rodadura por alto grado de deterioro). (p. 71)

Aplicabilidad en el diseño: Chang (2012) refiere:

El método de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), versión 1993, establece que la estructura de un pavimento debe satisfacer un determinado Número Estructural el cual se calcula en función:

- El tráfico que transcurrirá por la vía, durante un determinado número de años (periodo de diseño);
- La resistencia del suelo que soportará al pavimento; y,
- c) Los niveles de serviciabilidad deseados para la vía, tanto al inicio como al final de su vida de servicio. Adicionalmente, deben considerarse determinados parámetros estadísticos, que funcionan como factores de seguridad que garantizan que la solución obtenida cumple con un determinado nivel de confianza. (p. 71)

2.2.3.3. Índice de Condición Del Pavimento (PCI)

Chang (2012) refiere acerca:

Muchos investigadores consideran los valores de PSR o PSI no son suficientes para decidir si es necesario realizar el recapado, es por ello que diversas agencias vinculadas a labores de gerenciamiento de mantenimiento vial han desarrollado sistemas de evaluación de pavimento que conducen a determinar un valor único denominado Índice de Condición del Pavimento. El rango del PCI varia de 0 - 100, siendo 100 la condición óptima. Este índice considera además de la rugosidad, las diferentes fallas que presenta el pavimento y su grado de severidad, las cuales disminuyen el valor establecido como óptimo, entre estas fallas se consideran: fisuras transversales fisuras longitudinales, piel de cocodrilo, fisuras de reflexión, ahuellamiento, ondulaciones, peladuras, exudación, desintegración, superficie pulida, entre otras. (p. 75)

2.2.4. Evaluación de Fallas en el Pavimento

Medina y De La Cruz (2015):

La evaluación de pavimentos consiste en un informe, en el cual se presenta el estado en el que se halla la superficie y estructura del mismo, para de esta manera poder adoptar las medidas necesarias de reparación y mantenimiento. Con la evaluación se pretende determinar cómo intervenir un pavimento para prolongar su vida útil. La importancia de la evaluación radica en que 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. (p. 28)

ESTRUCTURA DE EVALUACIÓN GENERAL DEL PAVIMENTO

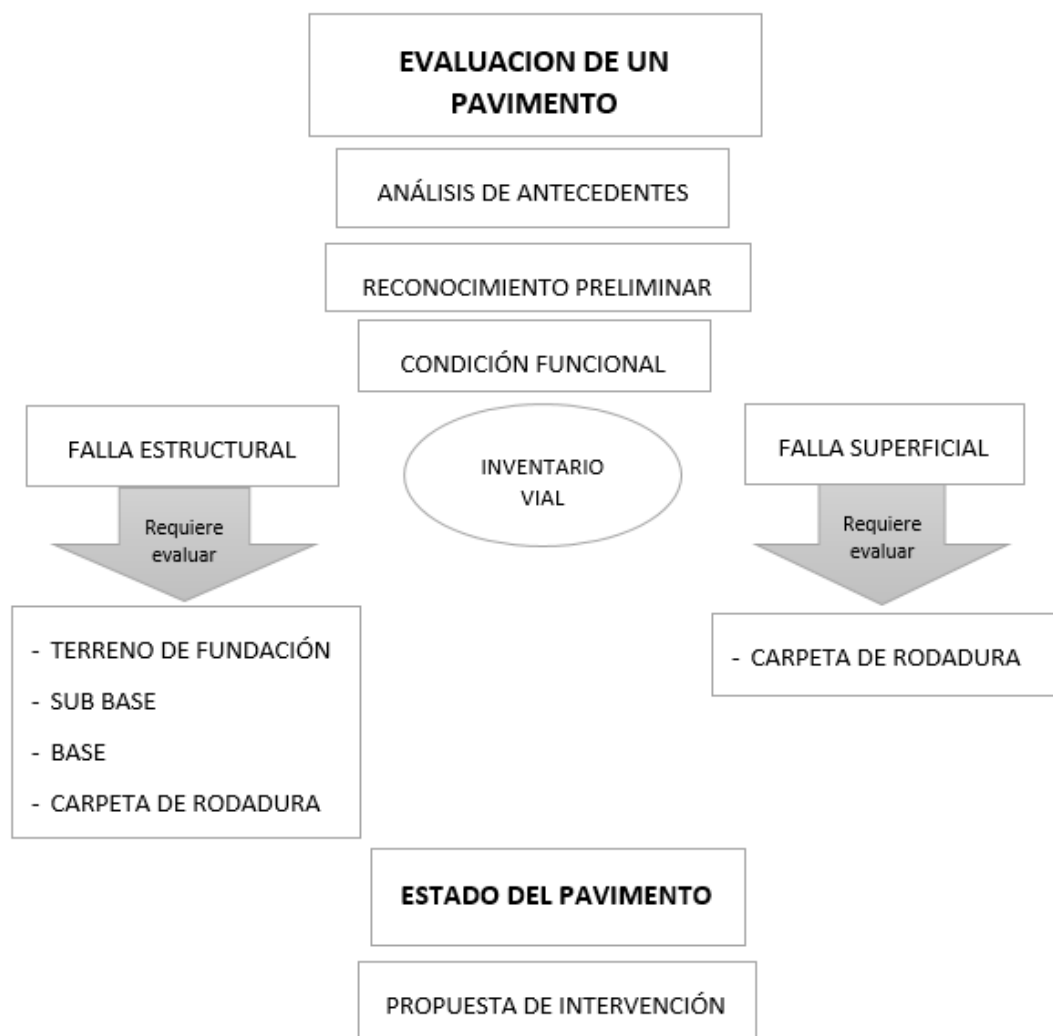


Figura 7. Estructura de evaluación general de un pavimento.
Elaboración propia.

2.2.4.1. Clasificación de Deterioros y/o Fallas

Se entiende por daño o falla en un pavimento toda indicación de un desempeño insatisfactorio del pavimento, es decir, todo apartamiento de un comportamiento definido como perfecto” (Catálogo de fallas, 2016, p.7). “Los pavimentos, tanto flexibles como rígidos, no fallan o colapsan repentinamente, sino que lo hacen en forma gradual y progresiva” (Catálogo de fallas, 2016, p.7).

“La incidencia de factores de distinto origen determinan alteraciones de la superficie de rodadura de los pavimentos flexibles que perjudican la seguridad,

comodidad y rapidez con que debe circular el tráfico presente y el futuro” (MTC - Suelos y Pavimentos, 2014, p.155).

La identificación de la causa más probable de una determinada falla es de fundamental importancia para la evaluación de la misma, aunque muchas veces resulte de difícil apreciación. Para tal fin, puede tenerse en cuenta primariamente la localización de la misma, su evolución en los distintos sectores del tramo, la consideración de los factores tráfico – clima - drenaje, etc. La comprobación definitiva podrá obtenerse una vez finalizados los estudios de evaluación estructural. Así mismo la apreciación de las causas de las fallas observadas debe conducir a la diferenciación de dos casos globales en los que debe identificarse la falla analizada: Fallas superficiales y fallas estructurales. (MTC - Suelos y Pavimentos, 2014, p.156)

Según el MTC - Mantenimiento y Conservación Vial (2014): “Los deterioros/fallas de los pavimentos flexibles pueden clasificarse en dos grandes categorías: los deterioros/fallas estructurales y los deterioros/fallas superficiales” (p. 86).

A. DETERIOROS/FALLAS ESTRUCTURALES:

Comprende los defectos de la superficie de rodadura cuyo origen es una falla en la estructura del pavimento, es decir afecta a una o más capas del pavimento, MTC - Suelos y Pavimentos (2014) conceptualiza:

Cuando se trata de fallas estructurales, es necesario un refuerzo sobre el pavimento existente (previa reparación de las fallas detectadas y de ser necesario de fresados y capas nivelantes) o una reconstrucción para que el conjunto responda a las exigencias del tráfico presente y futuro. (p. 156)

Según el MTC - Mantenimiento y Conservación Vial (2014):

Los deterioros estructurales caracterizan un estado estructural del pavimento, concerniente al conjunto de las diferentes capas del mismo o bien solamente a la capa de la superficie; as cargas circulantes resultan generalmente en:

- Deformaciones verticales elásticas del material de las capas granulares y del suelo de la subrasante
- Deformaciones horizontales elásticas de tensión por flexión en la parte inferior de la capa asfáltica. (p. 86)

Si la deformación vertical de las gravas y/o suelos excede al límite admisible, se observan deformaciones permanentes del pavimento (hundimiento o ahuellamiento de gran radio). Si la deformación horizontal de tensión por flexión en la parte inferior de las capas asfálticas excede el límite admisible, dichas capas se fisuran en su parte inferior y las fisuras luego se propagan hasta la superficie: fisuras longitudinales en las huellas del tránsito y fisuras en forma de cocodrilo. (MTC - Mantenimiento y Conservación Vial, 2014, p. 86)

El MTC - Suelos y Pavimentos (2014) comenta sobre las formas de medición de fallas estructurales:

La evaluación superficial se complementa con la evaluación estructural mediante la medición de deflexiones con equipos; asimismo, en muchos casos es necesario recurrir también a la realización de calicatas, sondeos, toma de muestras y ensayos de laboratorio para verificar las hipótesis deducidas de la evaluación superficial; la deflectometría es el estudio de las deformaciones verticales de la superficie de una calzada, a consecuencia de la acción de una determinada carga o sollicitación. (p. 159)

Las deflexiones características y admisibles, se comparan mediante un análisis combinado de los resultados de la evaluación, presentándose una serie de posibilidades que merecen ser analizadas para finalmente establecer la capacidad estructural del pavimento existente en relación al tráfico y cargas circulantes, definiendo si la estructura del pavimento es adecuada y sólo requiere de una renovación superficial; o, se encuentra fatigada y requiere un refuerzo estructural; o, es una estructura deficiente y requiere una reconstrucción parcial o total. (MTC - Suelos y Pavimentos, 2014, p. 161). Complementariamente se dan las relaciones de los resultados de evaluación Tabla 11.

Tabla 11. Análisis Combinado de Resultados de Evaluación.

PRIMER PASO	SEGUNDO PASO	TERCER PASO	CUARTO PASO	CASOS
1° La deflexión característica resulta:	SUPERIOR 2° Hay fallas de origen estructural?	NO: Estructura infradiseñada para el tráfico previsto		PRIMER CASO Pavimento necesita con urgencia un refuerzo estructural para resistir el tráfico previsto
		SÍ: 3° Existe una capa débil inmediata debajo de las capas asfálticas?	NO: Las fallas se deben a otra causas	SEGUNDO CASO Este es el paso avanzado del primer caso, cuando no se han tomado a tiempo las medidas necesarias
			SÍ: Radio de curvatura pequeño (menor o igual a 80m)	TERCER CASO Está caracterizado por la presencia de una capa débil subyacente a la asfáltica, que determina que la deformación de esta última bajo cargas no encuentra apoyo suficiente y sea mayor a la que le correspondería en ausencia del espesor débil.
	IGUAL O INFERIOR 2° Hay fallas	NO: Corregir fallas de origen superficial		

PRIMER PASO	SEGUNDO PASO	TERCER PASO	CUARTO PASO	CASOS
de origen estructural?	SÍ: 3° De qué tipo?	Fallas por fatiga (piel de cocodrilo) Radio de curvatura pequeño menor o igual a 80 m) Capa débil inmediatamente debajo de las asfálticas Fallas por deformación permanente de la fundación que se traducen en depresiones, ahuellamiento marcado (mayor a 12 mm), ondulaciones, etc.	Fallas por fatiga (piel de cocodrilo) Radio de curvatura pequeño menor o igual a 80 m) Capa débil inmediatamente debajo de las asfálticas Fallas por deformación permanente de la fundación que se traducen en depresiones, ahuellamiento marcado (mayor a 12 mm), ondulaciones, etc.	<p>TERCER CASO</p> <p>En este caso los radios de curvatura de la línea de deflexión son reducidos y el desarrollo del fisuramiento en forma de piel de cocodrilo es posible aún con deflexiones admisibles.</p> <p>CUARTO CASO</p> <p>Se caracteriza por el desarrollo de deformaciones permanentes, en particular ahuellamiento en la zona de canalización del tráfico, no atribuibles a desplazamientos plásticos de las capas asfálticas por deficiente estabilidad o compactación, es decir que afectan a toda la estructura. Se trata por lo general de pavimentos antiguos que han sido reforzados con capas asfálticas de espesor suficiente para evitar las fallas por fatiga, pero insuficientes para compensar la debilidad de la fundación original. En estos casos las medidas de deflexión pueden no ser significativas, aquí lo más importantes es apreciar el valor portante de la fundación y el aporte estructural que aún puede prestar el pavimento original y las capas asfálticas de refuerzo existentes.</p>

Fuente: MTC - Suelos y Pavimentos, 2014.

Para realizar determinar el causal del ahuellamiento, y ver si es de tipo estructural o superficial el MTC - Suelos y Pavimentos (2014) nos refiere que:

Fallas por deformación permanente de la fundación que se traducen en depresiones, ahuellamiento marcado (mayor a 12 mm), ondulaciones, etc. Se caracteriza por el desarrollo de deformaciones permanentes, en particular ahuellamiento en la zona

de canalización del tráfico, no atribuibles a desplazamientos plásticos de las capas asfálticas por deficiente estabilidad o compactación, es decir que afectan a toda la estructura. Se trata por lo general de pavimentos antiguos que han sido reforzados con capas asfálticas de espesor suficiente para evitar las fallas por fatiga, pero insuficientes para compensar la debilidad de la fundación original. En estos casos las medidas de deflexión pueden no ser significativas, aquí lo más importantes es apreciar el valor portante de la fundación y el aporte estructural que aún puede prestar el pavimento original y las capas asfálticas de refuerzo existentes (MTC - Suelos y Pavimentos, 2014, p. 159)

B. DETERIOROS/FALLAS SUPERFICIALES

Comprende los defectos de la superficie de rodadura debido a fallas de la capa asfáltica superficial propiamente dicha y no guardan relación con la estructura del pavimento. Para el MTC - Mantenimiento o Conservación vial (2014):

Los deterioros superficiales se originan en general por un defecto de construcción; por un defecto en la calidad de un producto o por una condición local particular que el tráfico acentúa. Además, pueden resultar de la evolución de deterioros o fallas estructurales. Se distinguen: Los desprendimientos, los baches (huecos), las fisuras transversales (que no resultan de la fatiga del pavimento). (p. 86)

“Las fallas de tipo superficial se corrigen regularizando la superficie y confiriéndole la necesaria impermeabilidad y rugosidad. Ello se logra con capas asfálticas delgadas que poco aportan estructuralmente, fresados y capas nivelantes” (MTC - Suelos y Pavimentos, 2014, p. 161). “Desde el punto de vista Mecanicista, existen dos principales criterios de falla para los materiales bituminosos: Deformaciones Permanentes y Agrietamiento por Fatiga” (Auccahuaqui y Corahua, 2016, p.47).

2.2.4.2. Catálogo de Deterioros y/o Fallas:

Los diferentes manuales y/o catálogos de fallas consideran a criterio independiente el listado de fallas a considerar en un inventariado. En el Perú el MTC - Mantenimiento o Conservación vial (2014) propone las fallas citadas en la Tabla 12.

Tabla 12. Deterioros y/o fallas de los pavimentos asfaltados.

Clase		Código Deterioro o Falla de falla	Gravedad
Deterioros o fallas estructurales	1	Piel de cocodrilo	1: Malla grande (<0.5m) sin material suelto. 2: Malla mediana (entre 0.3 y 0.5 m) sin o con material suelto. 3: Malla pequeña (<0.3 m) sin o con material suelto
	2	Fisuras longitudinales	1: Fisuras finas en las huellas del tránsito (ancho ≤ 1mm) 2: Fisuras medias corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho >1mm y ≤3 mm) 3: Fisuras gruesas corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho > 3mm). También se denominan grietas.
	3	Deformaciones por deficiencia estructural	1: Profundidad sensible al usuario <2cm 2: Profundidad entre 2cm y 4cm 3: Profundidad >4cm
	4	Ahuellamiento	1: Profundidad sensible al usuario < 6mm 2: Profundidad > 6 mm y ≤ 12mm 3: Profundidad > 12mm
	5	Reparaciones o parchados	1: Reparación o parchado para deterioros superficiales. 2: Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en buen estado. 3: Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en mal estado.
Deterioros o fallas superficiales	6	Peladuras o Desprendimientos	1: Puntual sin aparición de la base granular (peladura superficial). 2: Continuo sin aparición de la base granular o puntual con aparición de la base granular. 3: Continuo con aparición de la base granular.

Clase de falla	Código Deterioro o Falla	Gravedad
7	Baches (Huecos)	1: Diámetro < 0.2m 2: Diámetro entre 0.2 y 0.5m 3: Diámetro >0.5m
8	Fisuras transversales	1: Fisuras finas (ancho \leq 1mm) 2: Fisuras medias, corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho > 1mm y \leq 3mm). 3: Fisuras gruesas, corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho > 3mm). También se denominan grietas.

Fuente: MTC - Mantenimiento o Conservación vial 2014.

Sin embargo, cabe recalcar que existen otros catálogos internacionales presentados, que detallan mayor número de fallas y deterioros.

Para el presente se profundizan conceptos de las fallas presentes en la carretera evaluada, siendo de importancia conocer a profundidad sus características:

A. AHUELLAMIENTO

El Catálogo de Fallas - República dominicana (2016) enuncia al ahuellamiento como:

Depresión longitudinal continúa a lo largo de las huellas de canalización del tránsito. Se entiende por Ahuellamiento cuando la longitud afectada es mayor de 6m. Las repeticiones de las cargas conducen a una acumulación de las deformaciones permanentes en cualquiera de las capas del pavimento o su fundación. Cuando el radio de influencia de la zona ahuellada es pequeño, las deformaciones ocurren en las capas superiores y suelen ser acompañadas de un deslizamiento y levantamiento lateral de la superficie del pavimento; cuando el radio de influencia es amplio, las deformaciones ocurren en las capas inferiores o en la fundación. (p. 18)

El MTC - Mantenimiento o Conservación vial (2014), complementa:

En todos los casos, su gravedad es anotada por profundidad medida sobre una regla rígida de 1,50 m. de longitud colocada transversalmente. El presente rubro se refiere a las deformaciones por comportamiento viscoelástico de la capa de rodadura. La huella aparece en el trazado de las ruedas, en un ancho inferior a 0.8 m, sobre los laterales del pavimento de 0.5 a 0.8 m del borde, debido a un comportamiento viscoelástico de las de la capa de rodadura bajo un tráfico pesado y canalizado. (p. 94)

Así mismo Aucchahuaqui y Corahua (2016) nos dicen que: “Los hundimientos por ahuellamiento tienden a ser de anchos que van desde los 750 mm. hasta los 1000 mm. con poca profundidad y formas curvadas cruzando la sección del pavimento sin fisurarse” (p. 48).

Pueden subdividirse en:

- Ahuellamiento de pequeño radio de influencia, cuya causa principal se debe a un espesor insuficiente para el tránsito.
- Ahuellamiento de gran radio de influencia, cuya causa principal se debe a la falta de estabilidad del suelo de fundación / pavimento. (MTC - Suelos y Pavimentos, 2014, p. 164)

Respecto a la medición el Catálogo de Fallas - República dominicana (2016) dice que: “se efectúa donde la profundidad es mayor, promediando los valores determinados a intervalos de 6m, a lo largo de la misma. (p.18)

A.1. Posibles Causas Según el Catálogo de Fallas - República dominicana (2016) las repeticiones de las cargas del tránsito originan Ahuellamiento como consecuencia de alguno de los factores siguientes:

- Insuficiente estabilidad de las mezclas asfálticas por inadecuada compactación o deficiente dosificación.
- Insuficiente estabilidad de las capas del pavimento o de la subrasante (falla por corte, compresión o desplazamiento lateral material) ya sea por ingreso de agua o deficiente calidad.
- Espesores de pavimento insuficientes (infra diseño estructural) para las repeticiones de carga soportadas.
- Exagerado incremento en las cargas del tránsito. (p. 18)

El MTC - Suelos y Pavimentos (2014) menciona otro factor causa “Factor clima”, refiriendo:

Un criterio muy importante a tenerse en cuenta es que normalmente en los territorios altoandinos del Perú las temperaturas de los pavimentos en los meses de junio a octubre presentan variaciones diarias en rango cercano a 40 grados centígrados y principalmente fenómenos de “heladas” con fuertes radiaciones solares y vientos fríos. La temperatura afecta directamente la deformación de la carpeta asfáltica (CA); y las variaciones de temperaturas produce tensiones en la CA. Las temperaturas bajas tienen influencia en la aparición del agrietamiento por fatiga la que se potencia con el ahuellamiento. Por otra parte, las temperaturas altas tienen influencia en el ahuellamiento de la CA. (p. 75)

El MTC - Mantenimiento o Conservación vial (2014), refiere:

Las deformaciones propias de los pavimentos flexibles se caracterizan, en la casi totalidad de los casos, por:

- Las deformaciones por deficiencia estructural, depresiones continuas consideradas dentro de otra clase de falla denominada deformaciones por deficiencia estructural (...).
- El ahuellamiento (...) relacionado con el comportamiento inestable de la capa de rodadura. (p. 94)

Y complementa sobre los factores causa:

- Defecto de dosificación del asfalto
- Inadecuación entre el tipo de asfalto y la temperatura de la capa de rodadura.
- Inadecuación entre la gradación de los agregados y la temperatura de la capa de rodadura.
- Inadecuación entre la gradación de los agregados y la clase de tránsito. (MTC - Mantenimiento o Conservación vial, 2014, p. 94)

Padilla (como se citó en Aucacahuaqui y Corahua, 2016) clasifica la causa de presencia de ahuellamientos por fallas en la subrasante, subbase y base, o por fallas en la capa de mezcla asfáltica:

- AHUELLAMIENTO POR FALLAS EN LA SUB RASANTE, SUB BASE Y BASE: Son causadas por un excesivo esfuerzo repetido en las capas interiores, sean base o subbase bajo la capa de mezcla asfáltica. Aunque los materiales duros pueden reducir este tipo de roderas, es considerado un problema estructural, más que de los materiales entre sí. También puede ser causado por un inesperado debilitamiento de una de las capas generadas por la intrusión de humedad. La deformación ocurre en las capas inferiores, así como en la subrasante. (p. 48)

- AHUELLAMIENTO POR FALLAS EN LA CAPA DE MEZCLA ASFÁLTICA.

Es el tipo de falla se produce debido a la escasez de la capacidad portante o a la insuficiencia de soportar cargas pesadas, una mezcla asfáltica débil, va acumulando una pequeña pero permanente deformación plástica, en cada pulso de carga pesada, y eventualmente forma una ruta caracterizada con una inclinación y deslizamiento lateral de la mezcla, el ahuellamiento puede ocurrir en la capa superficial de asfalto o debido al debilitamiento en las capas inferiores de asfalto.

(Auccahuaqui y Corahua, 2016, p. 49)

A.2. Niveles de Severidad

El MTC - Mantenimiento o Conservación vial (2014), indica tres niveles de severidad (bajo, medio y alto) según las profundidades especificadas:

SEVERIDAD	DESCRIPCION
Bajo	1. Profundidad sensible al usuario < 6mm
Medio	2. Profundidad > 6 mm y ≤ 12mm
Alto	3. Profundidad > 12mm (p. 94)

Por otro lado el Catálogo de Fallas - República dominicana (2016) identifica tres niveles de severidad (bajo, medio y alto) según:

- B La profundidad promedio es de 6mm a 13 mm.
- M La profundidad promedio es de 13 mm a 25 mm.
- A La profundidad promedio es mayor de 25 mm. (p.18)

B. CORRUGACIÓN

También llamada ondulación, el cual según el Catálogo de Fallas - República dominicana (2016) es definido como:

Movimiento plástico caracterizado por la ondulación de la superficie del pavimento, formando crestas y valles que se suceden próximas unas de otras perpendicularmente a la dirección del tráfico. La separación entre crestas es menor de 3m, encontrándose por lo general en un rango de 0.60 a 0.90m. (p. 25)

A.1. Posibles Causas

Según el Catálogo de Fallas - República dominicana (2016) las corrugaciones son ocasionadas por la acción de las cargas del tránsito, cuando se dan algunas de las situaciones siguientes:

- Capas superficiales (carpeta asfáltica o base del pavimento) muy deformables (baja estabilidad) pero bien adheridas a la capa de apoyo subyacente, principalmente en zonas de aceleración, frenado o rampas fuertes, donde las fuerzas horizontales provocados por los vehículos sobre el pavimento, generan mayores esfuerzos tangenciales.
- Altas temperaturas de servicio (reducen estabilidad de las mezclas);
- Defectos constructivos: Contaminación de las mezclas asfálticas, sobredosificación del ligante, falta de aireación de mezclas con asfaltos líquidos.
- Excesos de humedad en subrasante o capas granulares (asentamientos diferenciales).

Así también en el Catálogo de deterioros - Iberia e Iberoamérica (2002) menciona las siguientes posibles causas:

- Circulación lenta en pendientes pronunciadas.
- Frenado de vehículos pesados en intersecciones.
- Dosificación de ligante (asfalto) inadecuado.

- Áridos (agregados) redondeados.
- Ligantes (asfalto) blandos. (p. 18)

A.2. Niveles de Severidad

El MTC - Mantenimiento o Conservación vial (2014), no presenta dentro de la relación de fallas/deterioros a la corrugación. Sin embargo, el Catálogo de Fallas - República dominicana (2016) define tres niveles de severidad:

Bajo, medio y alto, en base de una evaluación cualitativa de su efecto en la comodidad de manejo. Cuando el daño se manifiesta en forma muy localizada deberá recurrirse a una apreciación visual, correlacionándola con su probable efecto en la calidad de conducción; la siguiente sirve de referencia:

- B La ondulación causa cierta vibración en el vehículo sin llegar a general incomodidad.
- M La ondulación causa una significativa vibración en el vehículo, que genera cierta incomodidad.
- A La ondulación causa una vibración excesiva en el vehículo, que genera una sustancial incomodidad y/o riesgo para la seguridad de circulación, siendo necesaria una reducción en la velocidad de circulación tanto por razones de confort como de seguridad. (p. 25)

Así mismo el Catálogo de deterioros - Iberia e Iberoamérica (2002) establece parámetros:

- LIGERO < 1 cm
- 1 cm $<$ MEDIO < 2 cm
- 2 cm $<$ FUERTE (p. 18)

C. DEFORMACION POR DEFICIENCIA ESTRUCTURAL

El MTC - Mantenimiento o Conservación vial (2014) caracteriza la presente falla como un segundo nivel de ahuellamiento de gravedad superior al establecido para tal; refiriéndose de forma similar al ahuellamiento que:

En todos los casos, su gravedad es anotada por profundidad medida sobre una regla rígida de 1,50 m. de longitud colocada transversalmente. El presente rubro se refiere a las deformaciones por comportamiento viscoelástico de la capa de rodadura. La huella aparece en el trazado de las ruedas, en un ancho inferior a 0.8 m, sobre los laterales del pavimento de 0.5 a 0.8 m del borde, debido a un comportamiento viscoelástico de las de la capa de rodadura bajo un tráfico pesado y canalizado. La depresión localizada es un hundimiento de la superficie del pavimento en un área localizada del mismo. Concierno generalmente a la totalidad del borde del pavimento. Es una consecuencia del defecto de soporte o de estabilidad debido a una mala calidad de los materiales o a un contenido de agua excesivo. (p. 91)

A.1. Posibles Causas

Los deterioros o fallas por deficiencia estructural: “(..) son consecuencias del fenómeno de fatiga de una o varias capas del pavimento y de la subrasante sometidas a una repetición de Cargas Superior a la permisible. Es indicativo de insuficiencia estructural del pavimento.” (MTC - Mantenimiento o Conservación vial, 2014, p. 91)

A.2. Niveles de Severidad

El MTC - Mantenimiento o Conservación vial (2014), indica tres niveles de severidad (bajo, medio y alto) según las profundidades especificadas:

SEVERIDAD	DESCRIPCION
Bajo	1. Profundidad sensible al usuario <2cm
Medio	2. Profundidad entre 2cm y 4cm
Alto	3. Profundidad >4cm

2.2.4.3. Factores de Origen de Deterioro

En el ítem 2.2.3.2. Catálogo de deterioros y/o fallas se abarca de manera resumida las probables causales de las principales fallas sin embargo en el presente apartado se pretende desarrollar a profundidad todos los grupos de factores de falla.

Las causas de defectos o fallas en el pavimento son de distinto origen y naturaleza; tenemos así que De Val. M.A y Kraemer (como citó Aucchahuaqui y Corahua, 2016) refiere que:

Los deterioros de los pavimentos asfálticos se deben a una serie de factores como lo pueden ser el medioambiente (lluvia, gradientes de temperatura), tráfico (cargas por eje, presión de inflado de los neumáticos, intensidad), materiales inadecuados, procesos de elaboración de las mezclas inapropiados, técnicas de construcción deficientes (transporte, extensión y compactación), fórmula de trabajo deficiente. Todos estos defectos se pueden detectar una vez que se haya concluido la obra, como por ejemplo una mala textura superficial, geometría, aspecto y también estos defectos se pueden detectar en un periodo considerable de tiempo durante la vida de servicio del pavimento, los cuales son objeto de estudios y clasificaciones cada vez más rigurosas, indican la patología en general del firme. (p. 80)

Así mismo de forma similar, podemos identificar 05 causas y/o grupos principales de causas, teniendo el respaldo teórico del MTC - Suelos y Pavimentos (2014)

A. FACTOR TRANSITO:

“Exagerado incremento de las cargas circulantes: ya sea en peso o en frecuencia, con respecto a las previstas en el diseño original, y que se traducen en un infradiseño” (MTC - Suelos y Pavimentos, 2014, p. 155).

B. FACTOR PROCESO CONSTRUCTIVO

Deficiencias en el proceso constructivo: espesores menores que los previstos, elaboración inadecuada de las mezclas y estabilizaciones, deficiencias en el proceso de distribución, compactación o terminación, factores todos que traen como consecuencia una disminución de la calidad de los materiales y un debilitamiento estructural del pavimento. (MTC - Suelos y Pavimentos, 2014, p. 155).

C. FACTOR PROYECTO

“Un Proyecto deficiente da lugar a espesores menores de lo que realmente requiere la carretera” (MTC - Suelos y Pavimentos, 2014, p. 156).

D. FACTOR CLIMA

Factores climáticos regionales: excesivamente desfavorables o que no pudieron preverse en el proyecto y/o construcción, tales como la elevación de la napa freática, inundaciones, lluvias prolongadas, insuficiencias del drenaje superficial o subterráneo proyectado, variaciones térmicas externas, fenómenos de congelamiento, presencia de sales nocivas, etc. (MTC - Suelos y Pavimentos, 2014, p. 156).

E. FACTOR MANTENIMIENTO

“Deficiente conservación vial: por escasez de equipos, de fondos o de personal capacitado; por empleo de materiales y/o técnicas inadecuadas; o bien, por falta total de

conservación” (MTC - Suelos y Pavimentos, 2014, p. 156).

2.2.4.4. Requerimiento de Intervención

A. RENOVACIÓN SUPERFICIAL

El MTC - Suelos y Pavimentos (2014) refiere que: “La renovación superficial de un pavimento consiste en restaurar sus características superficiales, no tiene por objeto aumentar la capacidad resistente del pavimento, aun cuando en determinados casos pueda mejorar su capacidad estructural” (p. 163). Existen condiciones que justifican una renovación superficial de un tramo de carretera siendo estas:

- No es necesario un refuerzo, pero el estado superficial del pavimento presenta deficiencias que afectan a la seguridad vial, la comodidad del usuario o la durabilidad del pavimento (...).
- Realizada la tramificación, se evidencian tramos cortos, que no requieren refuerzo ni renovación superficial, pero al estar adyacente a otros tramos que sí lo necesitan, resulta necesario, por razones funcionales, aplicar una renovación superficial para obtener una homogeneidad de la capa de rodadura (...). (MTC - Suelos y Pavimentos, 2014, p. 163)

Por otro lado, El MTC - Suelos y Pavimentos (2014) presenta los procedimientos de renovación superficial, los cuales se clasifican en tres grupos:

- Con aporte de material: Mezcla asfáltica, micropavimento, tratamientos superficiales, sellos o lechadas asfálticas, otros procedimientos, cuya posible utilización deberá ser analizada en cada caso.
- Con sustitución de material: Supone la remoción de la capa o capas afectadas y su sustitución por otras nuevas de características adecuadas. La técnica de remoción

de capas más utilizada es el fresado. Este procedimiento suele emplearse en el caso de pavimentos con ahuellamientos por deformación plástica de sus mezclas bituminosas (...).

- Por tratamiento de la superficie del pavimento, se presentan algunas reparaciones típicas recomendadas por AASHTO, como se presenta en la Tabla 13. (p. 164)

Tabla 13. Reparaciones y procedimiento preventivo para pavimento flexible

DETERIORO	REPARACIONES	PROCEDIMIENTOS PREVENTIVOS
Fisuras en piel de cocodrilo	Reparación en espesor total	Sellado de fisuras
Exudación	Aplicar arena caliente	
Fisuras en bloque	Sellado de fisuras.	
Depresión	Capa nivelante.	
Agregados pulidos	Resistencia al deslizamiento	
Baches	Parchado profundo	Sellado de fisuras y sellos de capa
Bombeo	Parchado profundo	Sellado de fisuras y sellos decapa
Descascaramiento y oxidación.	Sellos de capa	Sello o lechada asfáltica rejuvenecedor
Ahuellamiento.	Capa nivelante y fresado en frío	
Abultamiento.	Remoción y remplazo	Impermeabilización de la berma

Fuente: MTC - Mantenimiento o Conservación vial 2014.

B. REFUERZO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

Este refuerzo obedece a una falla de tipo estructural. El refuerzo recomendado en este manual es un refuerzo de mezcla asfáltica en caliente, que se aplicará cuando se presenten el primero y segundo caso del análisis combinado de la evaluación estructural (...). Para el tercer y cuarto caso (...), el Ingeniero Proyectista podrá utilizar otras metodologías, llevando a cabo una evaluación de la capacidad portante y el análisis estructural de las capas del pavimento existente, definiendo la reducción de su capacidad por el deterioro de las capas del pavimento; en este caso

es importante la ejecución de calicatas y ensayos de laboratorio que contribuirán en el análisis para determinar el refuerzo o la reconstrucción de ser necesario. (MTC - Suelos y Pavimentos, 2014, p. 165)

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

MÉTODO DE INVESTIGACIÓN: En la presente investigación se desarrolló el Método Hipotético, que a partir del paradigma cuantitativo enfatiza la relación entre variables, donde se usa el marco teórico para conocer la realidad; los ensayos para la obtención de datos y a través del razonamiento lógico y pruebas estadísticas demostrar la hipótesis planteada.

TIPO DE INVESTIGACIÓN: Investigación Aplicada, ya que el objetivo radica en la utilidad práctica de las conclusiones y/o conocimientos resultantes, trayendo beneficios a la sociedad en el campo de transporte en la ingeniería civil, mediante un modelo de evaluación post construcción, concentrado en la relación de la serviciabilidad respecto a la calidad de mezcla asfáltica.

NIVEL DE INVESTIGACIÓN: La presente investigación inicialmente busca describir el comportamiento manifiesto de la carpeta de rodadura, mediante parámetros de serviciabilidad, así mismo describir las características de la mezcla asfáltica mediante parámetros que determinen su calidad. Finalmente se busca conocer la relación entre ambas variables (calidad de la mezcla asfáltica y la serviciabilidad en carreteras), de forma cualitativa y cuantitativa; sin embargo, como se expone en el ítem 1.5 existen limitantes para la obtención de muestras de la variable independiente, condicionando una correlación bajo modelo. Por tal, se considera la presente Investigación con un alcance **Descriptivo**.

3.2. DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente estudio está referido a pavimentos flexibles, específicamente a las carpetas asfálticas elaboradas con mezcla caliente. La metodología usada en la presente tiene como guía principal la estructura de Evaluación General del Pavimento (Ítem 2.2.3.2.), considerando como enfoque específico la carpeta asfáltica.

Inicialmente se realizó la etapa preliminar de evaluación mediante: El análisis de antecedentes del proyecto (fecha de puesta en servicio, antecedentes de intervenciones de mantenimiento, datos necesarios del diseño de pavimento y diseño de mezcla asfáltica). Se tuvo también la inspección visual superficial preliminar (el que fue plasmado en un reporte). Para dar paso al seccionamiento por homogeneidad de características bajo el criterio de condición. Así mismo en la etapa de inspección preliminar se pudo evidenciar según las condiciones encontradas, que el deterioro presentado actual era proveniente de fallas superficiales mas no estructurales. Como segunda etapa en la metodología de la presente investigación se cuantifico y calificó la condición de la vía mediante el método PCI con unidades de muestra suficientes por sección; así mismo el nivel de deterioro de las 02 fallas típicas encontradas corroboraron que el deterioro presentado actual provenía de fallas superficiales. Posteriormente de forma comparativa se usó el método PSI para la corroboración de la serviciabilidad de la carretera en estudio, utilizando muestras estratificadas según el seccionamiento previo dado. Finalmente se realizó la evaluación de la calidad de la mezcla asfáltica por ser la capa de la estructura del pavimento afectada; para tal efecto se realizó los ensayos: Marshall y lavado asfáltico; para la determinación de fluidez y estabilidad de la mezcla, así como las proporciones de materiales constituyentes. Para la conclusión de la evaluación se comparó los datos obtenidos mediante los métodos de serviciabilidad (PCI y PSI siendo estos los dos métodos con

mayor aceptabilidad), con los parámetros de caracterización de la calidad de la mezcla asfáltica.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.

3.3.1. Población:

Se determina la elección de una población con corto periodo de servicio para el análisis del pavimento concentrada netamente en el comportamiento de la carpeta de rodadura como efecto de la calidad de la mezcla asfáltica; así mismo se busca una población que conforte los modelos de evaluación en nuestra región (Puno). Por tal se selecciona como población la Carpeta asfáltica del pavimento de la carretera Desvío Yocará – Cabana incluyendo todo el tramo: desde el Km 00+000 hasta el Km 16+941.

3.3.2. Muestra:

La presente Investigación tiene ensayos y/o pruebas definidas para la cuantificación y cualificación comparativa de sus variables, dichas pruebas tienen características independientes para la decisión de toma de muestra.

3.3.2.1. Muestra para el Cálculo de PCI

NUMERO DE UNIDADES DE MUESTRA:

La Asociación Americana de Ensayo de Materiales (como se citó en Medina y De la Cruz 2015) para el proceso de muestreo se tiene que: Identificar las ramas de la acera con los diferentes usos, tales como carreteras y aparcamientos en el plan de diseño de la red; dividir cada rama en secciones basadas en el diseño de pavimentos, la historia de la construcción, el tráfico y el estado; dividir las secciones de pavimento en las unidades de muestra (...); el número de unidades de muestra a ser inspeccionados puede variar entre los siguientes: todas las unidades de muestra en la sección, un número de unidades de muestra que proporciona un nivel de confianza del 95%, o un número menor; el número

mínimo de unidades de la muestra (n) que deben ser estudiados dentro de una sección determinada para obtener una estimación estadísticamente adecuado (95% de confianza) de la PCI de la sección se calcula mediante la siguiente fórmula y n redondeo al siguiente número entero más alto:

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

Dónde:

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

s = desviación estándar de la PCI desde una unidad de muestra a otro dentro de la sección. Al realizar la inspección inicial de la desviación estándar se supone que es diez para pavimentos de CA y 15 para el PCC pavimentos. Este supuesto se debe comprobar cómo se describe a continuación después de valores se determinan PCI. Para la inspección subsiguiente debe ser utilizado para determinar n,

N = número total de unidades de muestra en la sección.

INTERVALO DE ESPACIO DE UNIDADES DE MUESTRA

Una vez que el número de unidades de muestra a ser inspeccionados ha sido determinado, calcular el intervalo de $i = N/n$ espacio de las unidades utilizando un muestreo aleatorio sistemático. Las muestras están espaciadas por igual en toda la sección con la primera muestra seleccionada al azar. El intervalo de espacio (i) de las unidades que se muestra se calcula por la siguiente fórmula redondea al número entero más próximo más bajo:

Dónde:

N = número total de unidades de muestra en la sección, y

n = número de unidades de la muestra a inspeccionar

La unidad de muestra primero en ser inspeccionado se selecciona al azar de las unidades de muestra de 1 a i. Las unidades de la muestra dentro de una sección que son incrementos sucesivos del intervalo i después de la primera unidad seleccionada al azar también se inspeccionan, dado según la Asociación Americana de Ensayo de Materiales (como se citó en Medina y De la Cruz 2015).

Para el presente, tras la sectorización previa por criterio de condición (detalle Ítem 3.2.1), se cuenta con 03 secciones, se determina el número mínimo de unidades de muestra “n” según el detalle de cálculo por sección que se presenta en la Tabla 14.

Tabla 14. Cálculo de tamaño de muestra e intervalo de espaciamiento.

DESCRIPCIÓN		SECCIÓN	SECCIÓN	SECCIÓN
		I	II	III
Longitud de sección	L	6600 m	8400 m	2000 m
Ancho de calzada promedio	a	6 m	6 m	6 m
Área de sección	$A_s = L * a$	39600 m ²	50400 m ²	12000 m ²
Área por unidad	$137 < A_u < 323$	300 m ²	300 m ²	300 m ²
Número total de unidades de muestra	$N = A_s / A_u$	132	168	40
Error admisible	e	5	5	5
Desviación estándar	σ	10	10	10
Número mínimo de unidades de muestreo	$n = \frac{N * \sigma^2}{\frac{e^2}{4} * (N - 1) + \sigma^2}$	15	15	12
Intervalo de espaciamiento	$i = N / n$	9	11	3

Nota. 15, 15 y 12 son las unidades mínimas de muestreo calculados para las secciones I, II y III respectivamente; por tal se toma a estas como “Tamaño de muestra” para cada sección. Elaboración propia.

3.3.2.2. Muestra para el Cálculo de PSI

Ya que el cálculo de PSI tiene fines comparativos, de forma similar al cálculo de muestra para el PCI se considera para la toma de muestra PSI la sectorización previa (detalle Ítem 3.2.1).

Sampieri et al. (2010) refiere:

(...) cuando no basta que cada uno de los elementos muestrales tengan la misma probabilidad de ser escogidos, sino que además es necesario segmentar la muestra en relación con estratos o categorías que se presentan en la población, y que además son relevantes para los objetivos del estudio, se diseña una muestra probabilística estratificada. (p.181)

Morillas (2007) refiere que:

Una muestra estratificada hace referencia a poblaciones con características diferentes, en las que existen estratos (grupos) homogéneos con respecto al carácter que se investiga y que, por tanto, deben ser analizados de forma diferente, ya que pueden obtenerse estimaciones más precisas (menos errores) tomando una muestra aleatoria en cada estrato y, además, se garantiza que todos los estratos (subpoblaciones, en definitiva) estén representados. (p.8)

Basándonos en dichas referencias se clasifica a la muestra PSI como muestra estratificada. Morillas (2007) así mismo nos presenta la fórmula de cálculo para dicho tipo de muestra según asignaciones proporcionales:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^K N_i p_i q_i}{N \sigma_p^2 + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^K N_i p_i q_i}$$

Siendo nuestros datos para el cálculo de “n” los presentados en la Tabla 15.

Tabla 15. Datos para cálculo de muestra estratificada

DESCRIPCION		TOTAL	SECCIÓN I	SECCIÓN II	SECCIÓN III
Kilometraje poblacional	Kt	17000	6600	8400	2000
Kilometraje requerido por unidad de muestra	Ku			400	
Tamaño de la población	$N = Kt/Ku$	42	16	21	5
Valor población de la proporción buscada	p	-	0.72	0.97	0.76
Complementario de p	$q = 1-p$	-	0.28	0.03	0.24
Factor de confiabilidad	Z	1.645	1.65	1.65	1.65
Margen de error permisible	e	0.1	0.1	0.1	0.1
Tamaño de la muestra	n	18	7	9	2

Nota. Los valores “p” usados para cada sección, tomaron como referente el PCI promedio calculado, ya que este refiere un antecedente de condición relacionado al PSI, siendo este el que se requiere determinar. Elaboración propia.

Se calcula inicialmente el valor “n” de tamaño de muestra de toda a población:

$$n = \frac{16 * 0.72 * 0.28 + 21 * 0.97 * 0.03 + 5 * 0.76 * 0.24}{42 * \frac{0.1^2}{1.645^2} + \frac{1}{42} (16 * 0.72 * 0.28 + 21 * 0.97 * 0.03 + 5 * 0.76 * 0.24)} \cong 18$$

Para el cálculo del tamaño definitivo por sección según la asignación proporcional, como refiere Morillas (2007), se considera la siguiente expresión:

$$n_i = \frac{N_i}{N} n$$

Teniéndose, finalmente:

$$n_1 = \frac{N_1}{N} n = \frac{16}{42} 18 = 7$$

$$n_2 = \frac{N_2}{N} n = \frac{21}{42} 18 = 9$$

$$n_3 = \frac{N_3}{N} n = \frac{5}{42} 18 = 2$$

3.3.2.3. Muestra Diamantina

Siendo la muestra diamantina un ensayo destructivo, se realizó la selección de muestra bajo un criterio de toma conservadora en el número de testigos, contándose con 03 muestras totales (un testigo por sección), utilizándose con fines investigativos el mismo testigo tanto para la prueba Marshall como para la prueba de lavado asfáltico.

FINALMENTE: “En ocasiones una misma investigación requiere una estrategia de muestreo mixta que mezcle varios tipos de muestra (...)” (Sampieri et al.,2010, p.401); en la presente teniéndose para PCI y PSI la posibilidad de cuantificar datos, se clasifican a estos como muestras probabilísticas, sin embargo, por criterio conservador se tomara las muestras de la prueba diamantina como no probabilístico.

3.4. TECNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. Normas Técnicas

- ASTM D6433-03: Cálculo estándar para el estudio de Índice de Condición del Pavimento.
- Subsección 423.18(e) (5) del EG-2013: Regularidad de la superficie de rodadura o rugosidad, y el Manual de Usuario “MERLINER™” del equipo Merlín para Rugosidad.
- MTC E 504 2000: Ensayo de resistencia de mezclas bituminosas empleados en el aparato Marshall.
- MTC E 502: Ensayo de extracción cuantitativa de asfalto en mezclas para pavimentos (Lavado Asfáltico).

3.4.2. Equipos y Materiales

A. REGLA RÍGIDA

Establecido según el Manual de Carreteras: Mantenimiento o Conservación Vial (2014) como material de campo: regla rígida de 1.50 de longitud como ayuda de nivelación para realizar las mediciones de profundidad, en el caso de medición de ahuellamiento, deformaciones y/u ondulaciones.

B. WINCHA

Uso de instrumento para medir las longitudes requeridas en el inventariado de fallas encontradas en campo.

C. REGLA MILIMETRADA O VERNIER

Uso de instrumento para medir profundidades de manera precisa: rasante-nivel horizontal, con el apoyo de la regla rígida.

D. MÁQUINA PARA PERFORACIÓN DIAMANTINA

Uso de instrumento para extraer testigos de asfalto del lugar in situ.

E. BALANZA

Uso de aparato para calcular el peso de los elementos, requeridos en los diferentes ensayos. Usándose en el presente una balanza electrónica ya que esta nos puede decir con mayor precisión el peso de un objeto.

F. EQUIPO PARA EL BAÑO MARÍA

Uso de equipo para el calentamiento indirecto, por convección térmica del medio y de sustancia, uso de tal para el calentamiento de las muestras Marshall antes de la rotura respectiva.

G. PRENSA MARSHALL

La prensa Marshall marca los datos de estabilidad y el flujo de la probeta extraída en la carpeta asfáltica.

H. APARATO DE EXTRACCIÓN

Consistente en un aparato en el cual se pueda rotar una taza a una velocidad variable y controlada hasta 3600 rpm. El aparato debe estar provisto de un recipiente para retener el solvente que escapa de la taza y un desagüe para remover dicho solvente.

3.4.3. Ficha De Recolección De Datos

HOJA DE REGISTRO PRELIMINAR DE FALLAS EN CAMPO				
NOMBRE DE LA VÍA: Desvío Yocara - Cabana			FECHA:	
ENCARGADA: Nataly Yuliet Gomez Chagua				
CODIGO DE FALLAS				
1. Ahuellamiento 2. Corrugación 3. Deformación por deficiencia estructural 4. Piel de cocodrilo 5. Fisuras longitudinales 6. Fisuras transversales 7. Peladuras y desprendimientos 8. Baches		9. Reparación o Parchado 10. Hundimiento 11. Corrimiento 12. Hinchamiento 13. Fisura en Bloque 14. Exudación de asfalto 15. Exudación de agua y bombeo		
CALZADA	PROGRESIVA		FALLA	OBS.

Figura 8. Hoja de registro preliminar de fallas en campo. Elaboración propia.

HOJA DE REGISTRO DE NIVEL DE SEVERIDAD DE FALLAS EN CAMPO.						
NOMBRE DE LA VÍA: Desvío Yocara - Cabana				FECHA:		
ENCARGADA: NatalyYuliet Gomez Chagua						
CODIGO DE FALLAS						
1. Ahuellamiento 2. Corrugación 3. Deformación por deficiencia estructural 4. Piel de cocodrilo 5. Fisuras longitudinales 6. Fisuras transversales 7. Peladuras y desprendimientos 8. Baches				9. Reparación o Parchado 10. Hundimiento 11. Corrimiento 12. Hinchamiento 13. Fisura en Bloque 14. Exudación de asfalto 15. Exudación de agua y bombeo		
NIVEL DE SEVERIDAD						
BAJO= 1		MEDIO=2		ALTO=3		
SECCIÓN	PROGRESIVA INICIO	PROGRESIVA FINAL	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDAD	OBS.

Figura 9. Hoja de registro de nivel de severidad de fallas en campo.
Elaboración propia.

HOJA DE REGISTRO DE DATOS ENSAYO MERLÍN.																				
NOMBRE DE LA VÍA: Desvío Yocara - Cabana								FECHA:												
ENCARGADA: Nataly Yuliet Gomez Chagua																				
FACTOR DE CORRECCIÓN																				
ESPESOR PASTILLA																				
LECTURA INICIAL																				
LECTURA CON PASTILLA																				
Ensayo N° <input style="width: 30px;" type="text"/>			Km de Inicio <input style="width: 30px;" type="text"/>			Hora: <input style="width: 30px;" type="text"/>														
Tipo de pavimento: <input style="width: 150px;" type="text"/>																				
<table style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 0 10px;">1</td><td style="padding: 0 10px;">2</td><td style="padding: 0 10px;">3</td><td style="padding: 0 10px;">4</td><td style="padding: 0 10px;">5</td><td style="padding: 0 10px;">6</td><td style="padding: 0 10px;">7</td><td style="padding: 0 10px;">8</td><td style="padding: 0 10px;">9</td><td style="padding: 0 10px;">10</td> </tr> </table>											1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10											
											1									
											2									
											3									
											4									
											5									
											6									
											7									
											8									
											9									
											10									
											11									
											12									
											13									
											14									
											15									
											16									
											17									
											18									
											19									
											20									
Observaciones:																				

Figura 10. Hoja de registro de datos, ensayo Merlín.
Elaboración propia.

GEOTECNIA PUNO & INGENIEROS CONSULTORES	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
ENSAYO MARSHALL (Verificacion) (ASTM D-1559)	
OBRA :	DESVÍO YOCARA - CABANA (PU121 - CABANA) DISTRITO DE CABANA, SAN ROMAN, PUNO
MUESTRA :	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE TECN. RESPONS. PERSONAL DEL LABORATORIO
UBICACIÓN :	PISTA ING. RESPONS. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
FECHA :	SOLICITANTE NATALY Y. GOMEZ CHAGUA

	NUMERO DE BRIQUETA	1	2	3	ESPECIF.
1	Km de toma de muestra				
2	Altura promedio de la Briqueta				
3	Peso de la Briqueta al Aire				
4	Peso de la Briqueta al agua				
5	Volumen de la briqueta por desplazamiento				
6	Peso Unitario				
7	Estabilidad sin corregir (Kg)				
8	Factor de Estabilidad				
9	Estabilidad Corregida (Kg)				
10	Flujo (mm)				

OBSERVACIONES:

Figura 11. Formato de Verificación Marshall (Estabilidad y Flujo).
Elaborado por el Laboratorio Geotecnia Puno e Ingenieros Consultores.

GEOTECNIA PUNO & INGENIEROS CONSULTORES	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE GRADO DE COMPACTACIÓN Y MEDICIÓN DE ESPESORES POR EXTRACCIÓN DE DIAMANTINA	
OBRA :	DESVÍO YOCARA - CABANA (PU121 - CABANA) DISTRITO DE CABANA, SAN ROMAN, PUNO
MUESTRA :	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE TECN. RESPONS. PERSONAL DEL LABORATORIO
UBICACIÓN :	PISTA ING. RESPONS. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
FECHA :	SOLICITANTE NATALY YULIET GOMEZ CHAGUA

PROGRESIVA	LADO	ALT. X1	ALT. X2	ALT. X3	ALT. X4	ALTURA PROM.	PESO AL AIRE	PESO AL AGUA	VOL. EN	DENSIDAD EN PISTA	DENSIDAD MARSHALL	% DE COMPACTACION
KM	I/D/E	cm	cm	cm	cm	cm	g	g	cm3	g/cm3	g/cm3	

OBSERVACIONES:

Figura 12. Formato de verificación del grado de compactación y espesores.
Elaborado por el Laboratorio Geotecnia Puno e Ingenieros Consultores.

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE SAN ROMÁN
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos

OBRA : DESVÍO YOCARA - CABANA (PU121 - CABANA) DISTRITO DE CABANA, SAN ROMAN, PUNO
MUESTRA : LAVADO ASFALTICO 01 **TECN. RESPONS.** : PERSONAL DE LABORATORIO
UBICACIÓN : PISTA **ING. RESPONS.** : RICARDO ARONI
FECHA : **SOLICITANTE** : NATALY Y. GOMEZ CHAGUA

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO
(LAVADO ASFALTICO)

Tamices ASTM	Abertura mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especificaciones	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	75.000						Peso mezcla : Grs
2 1/2"	63.000						Peso agregado : Grs
2"	50.000						Cem. asfáltico : %
1 1/2"	37.500						Grava : %
1"	25.000						Arena : %
3/4"	19.000					100 - 100	Fino : %
1/2"	12.500					80 - 100	W natural : %
3/8"	9.500					70 - 88	
No.04	4.750					51 - 68	
No.10	2.000					38 - 52	
No.20	0.840						
No.40	0.425					17 - 28	
No.80	0.180					8 - 17	
No.100	0.150						CLASIFICACION
No.200	0.075					4 - 8	SUCS :
<No.200							AASHTO :

OBSERVACIONES:

Figura 13. Formato de Lavado Asfáltico.

Elaborado por el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos de la Municipalidad Provincial de San Román.

HOJA DE REGISTRO DE AFORO VEHICULAR												
NOMBRE DE LA VÍA: Desvío Yocara - Cabana											FECHA:	
ESTACIÓN:											DIA:	
ENCARGADA: Nataly Yuliet Gomez Chagua												
HORA	MOTO	MOTO TAXI	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	RURAL COMBI	MICRO BUS	BUS		CAMIÓN		
								B2	B3	C2	C3	C4
06:00	-	07:00										
07:00	-	08:00										
08:00	-	09:00										
09:00	-	10:00										
10:00	-	11:00										
11:00	-	12:00										
12:00	-	13:00										
13:00	-	14:00										
14:00	-	15:00										
15:00	-	16:00										
16:00	-	17:00										
17:00	-	18:00										
18:00	-	19:00										

Figura 14. Hoja de registro del aforo vehicular por día.
Elaboración propia.

3.5. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. Sectorización Preliminar

En la primera salida a campo se realizó el reconocimiento y ubicación de fallas con la ayuda de los antecedentes, progresivas marcadas y un odómetro; se hizo una verificación visual de la condición de la vía, donde se evidenció 2 tipos de fallas constantes: ahuellamiento y corrugación. Registrándose la presencia ya sea de ambos o una de las fallas, en cada subtramo (de 200 m de longitud).

Existen criterios de división de secciones para la evaluación de PCI por sectores (detallada en el punto C del Ítem 2.2.4.2.), tras el primer registro de datos se opta por seccionar al tramo según “el criterio de condición”, establecida por un análisis visual de secciones homogéneas.

- **SECCION I:** Considera desde el Km 00+000 hasta el Km 06+600; cuya condición homogénea se caracteriza y diferencia por presentar ahuellamiento, corrugación o ambos en cada subtramo de 200 m.

Tabla 16. Datos de verificación preliminar, SECCIÓN I (parte 1).

	PUNTO		SECCIÓN
	INICIO	FIN	
1. Ahuellamiento	00+000	00+200	SECCIÓN I
2. Corrugación	00+200	00+400	
3. Deformación por deficiencia estructural	00+400	00+600	
4. Piel de cocodrilo	00+600	00+800	
5. Fisuras longitudinales	00+800	01+000	
6. Fisuras transversales	01+000	01+200	
7. Peladuras y desprendimientos	01+200	01+400	
8. Baches	01+400	01+600	
9. Reparación o Parchado	01+600	01+800	
10. Hundimiento	01+800	02+000	
11. Corrimiento	02+000	02+200	
12. Hinchamiento	02+200	02+400	
13. Fisura en Bloque	02+400	02+600	
14. Exudación de asfalto	02+600	02+800	
15. Exudación de agua y bombeo	02+800	03+000	
	03+000	03+200	
	03+200	03+400	
	03+400	03+600	

Nota: Elaboración propia.

Tabla 17. Datos de verificación preliminar, SECCIÓN I (parte 2).

	PUNTO		SECCIÓN
	INICIO	FIN	
1. Ahuellamiento	03+600	03+800	SECCIÓN I
2. Corrugación	03+800	04+000	
3. Deformación por deficiencia estructural	04+000	04+200	
4. Piel de cocodrilo	04+200	04+400	
5. Fisuras longitudinales	04+400	04+600	
6. Fisuras transversales	04+600	04+800	
7. Peladuras y desprendimientos	04+800	05+000	
8. Baches	05+000	05+200	
9. Reparación o Parchado	05+200	05+400	
10. Hundimiento	05+400	05+600	
11. Corrimiento	05+600	06+000	
12. Hinchamiento	06+000	06+200	
13. Fisura en Bloque	06+200	06+400	
14. Exudación de asfalto	06+400	06+600	
15. Exudación de agua y bombeo	06+600	06+600	

Nota: Elaboración propia.

- **SECCION II:** Considera desde el Km 06+600 hasta el Km 15+000; cuya condición homogénea se caracteriza y diferencia por no presentar fallas, o presentar mínimos ahuellamientos y/o corrugaciones, no significantes e inconstantes, en su mayoría de subtramos.

Tabla 18. Datos de verificación preliminar, SECCIÓN II (parte 1).

1. Ahuellamiento 2. Corrugación 3. Deformación por deficiencia estructural 4. Piel de cocodrilo 5. Fisuras longitudinales 6. Fisuras transversales 7. Peladuras y desprendimientos	PUNTO		PUNTO INICIO	PUNTO FIN
	PUNTO			
8. Baches	FALLA	I		
9. Reparación o Parchado		D		
10. Hundimiento	SECCIÓN	SECCIÓN II		
11. Corrimiento		SECCIÓN II		
12. Hinchamiento				
13. Fisura en Bloque				
14. Exudación de asfalto				
15. Exudación de agua y bombeo				

Nota: Elaboración propia.

Tabla 19. Datos de verificación preliminar, SECCIÓN II (parte 2).

1. Ahuellamiento 2. Corrugación 3. Deformación por deficiencia estructural 4. Piel de cocodrilo 5. Fisuras longitudinales 6. Fisuras transversales 7. Peladuras y desprendimientos	PUNTO		PUNTO INICIO	PUNTO FIN
	PUNTO			
8. Baches	FALLA	I		
9. Reparación o Parchado		D		
10. Hundimiento	SECCIÓN	SECCIÓN II		
11. Corrimiento		SECCIÓN II		
12. Hinchamiento				
13. Fisura en Bloque				
14. Exudación de asfalto				
15. Exudación de agua y bombeo				

Nota: Elaboración propia.

- **SECCION III:** Considera desde el Km 15+000 hasta el Km 17+000; cuya condición homogénea se caracteriza por volverse a evidenciar de forma constante la presencia de

ahuellamientos y corrugación, especialmente en el carril izquierdo en cada subtramo de 200 m; diferenciándose de la sección I por evidenciarse un nivel de severidad inferior.

Tabla 20 Datos de verificación preliminar, SECCIÓN III.

1. Ahuellamiento 2. Corrugación 3. Deformación por deficiencia estructural 4. Piel de cocodrilo 5. Fisuras longitudinales 6. Fisuras transversales 7. Peladuras y desprendimientos	PUNTO		15+000 15+200 15+400 15+600 15+800 16+000 16+200 16+400 16+600 16+800 17+000
	INICIO	FIN	
8. Baches 9. Reparación o Parchado 10. Hundimiento 11. Corrimiento 12. Hinchamiento 13. Fisura en Bloque 14. Exudación de asfalto 15. Exudación de agua y bombeo	FALLA	I	1 - 2 1 - 2 1 - 2 1 - 2 1 - 2 1 - 2 1 - 2 1 - 2 1 - 2 1 - 2 1 - 2
D		1 1 1	
	SECCIÓN	SECCION III	

Nota: Elaboración propia.

3.5.2. Inventario de Condición

Se realizó el Inventario Vial de las fallas más comunes de todo el tramo. Para determinar la condición de la vía, específicamente el estado actual en el que se encuentra el elemento en estudio “calzada”.

Se considera 02 salidas a campo (2da y 3ra) para el inventariado de fallas actuales de la vía para tomar las medidas que determinan el nivel de severidad de las diferentes fallas con la ayuda de la regla metálica, la regla de precisión, la wincha y un odómetro para la ubicación de progresivas.



Figura 15. Foto de medición de profundidad de ahuellamiento.



Figura 16. Foto de medida de nivel de severidad (ahuellamiento).



Figura 17. Foto de medición de profundidad de corrugación.

Se visualiza los datos registrados junto al proceso de cálculo PCI. (**Anexo N° 01,02,03**).

3.5.3. Determinación de Rugosidad

Se consideran 01 salida a campo para la medición de las 18 unidades de muestra, para la recolecta de datos IRI. Se decide realizar la presente prueba con el perfilómetro Merlín por ser el equipo con mayor uso y respaldo en la región de estudio (Puno), adicionalmente Del Águila (1999) corrobora la práctica de dicho equipo refiriendo:

El Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL) desarrolló el rugosímetro MERLIN (...) basándose en el principio del perfilómetro estático, con el objetivo de obtener un equipo de bajo costo, fácil manejo y un método de análisis simple con resultados confiables. (p. 4)

En el presente ensayo se requirió de 02 personas para la ejecución (un operador para la conducción del equipo y 01 persona para el registro de las lecturas).

Inicialmente, previo a la lectura de datos se realiza un procedimiento de determinación de factor de corrección, mediante el procedimiento que señala Del Águila (1999):

(...) 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 (...). Se levanta el patín y se coloca la pastilla de calibración debajo de él, apoyándola sobre el piso. Esta acción hará que el puntero sobre el tablero se desplace, asumiendo una relación de brazos estándar de 1 a 10, una

distancia igual al espesor de la pastilla multiplicado por 10 (es decir: $6.2 \times 10 = 62$ mm), lo que significa, considerando que cada casillero mide 5 mm, que el puntero se ubicará aproximadamente en el casillero 12, siempre y cuando la relación de brazos actual del equipo sea igual a la asumida. Si no sucede eso, se deberá encontrar un factor de corrección (...) requiriéndose para el cálculo: el espesor de la pastilla, posición inicial del puntero, y la posición final del puntero. (p. 8,9)

Posteriormente según el muestreo aleatorio estratificado (determinado en el ítem 3.3.2.2.) se ubica los trechos de 400m aproximadamente. Y se procede con la lectura de datos. Acatando el procedimiento indicado para el equipo en uso:

(...) se efectúa 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 MERLIN, 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 (..) 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 (...). La posición que adopta el puntero corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en un formato de campo (...). El formato consta de una cuadrícula compuesta por 20 filas y 10 columnas; empezando por el casillero (1,1), los datos se llenan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha. El proceso de medición es continuo y se realiza a una velocidad promedio de 2 km/h. (Del Águila, 1999, p. 7)



Figura 18. Foto de inicio de medición de rugosidad Km 00+000.



Figura 19. Foto de toma de datos de rugosidad, tramo km 00+400 – 00+800.



Figura 20. Foto de rugosidad en punto 00+800.



Figura 21. Foto de rugosidad en punto 10+000.

Se visualiza los datos registrados junto al proceso de cálculo PSI (**Anexo N° 05**)

3.5.4. Extracción Diamantina

Se realizó una verificación previa para determinar una zona representativa de la condición de la sección. Así mismo se evaluó a criterio la ubicación del punto de extracción para no perjudicar el tránsito regular de la vía. Determinándose la extracción en el kilometraje indicado:

- MUESTRA 01: Punto de toma progresiva 00+020 (Margen Izquierdo).



Figura 22. Fotos del instalado de la perforadora diamantina en el Km. 00+020.

- MUESTRA 02: Punto de toma progresiva 10+500 (Margen Derecho).



Figura 23. Fotos del instalado de la perforadora diamantina y extracción de muestra en el Km. 10+500.
- MUESTRA 03: Punto de toma progresiva 16+200 (Margen Izquierdo).



Figura 24. Fotos del instalado de la perforadora diamantina y extracción de muestra en el Km. 16+200.

Inicialmente se ubicaron las señalizaciones (conos) de información de cierre del carril. Luego se instaló y aseguró adecuadamente el equipo de perforación diamantina, usando una broca para la colocación de puntos de anclaje del equipo en el pavimento. Teniendo la posición fija del equipo se introduce el perforador a la carpeta asfáltica en una profundidad aproximada de 8cm, siendo esta medida mayor al espesor del pavimento según diseño, para asegurar la profundidad completa de carpeta; así mismo durante el corte del testigo se irrigó suficientemente para disipar el calor generado por la rotación de la perforadora. Una vez extraídas las muestras de pavimento se selló tanto los agujeros generados por la perforadora del testigo como los generados por la broca menor para el anclaje del equipo. luego se selló el orificio con asfalto.



Figura 25. Foto en el proceso de perforado de puntos de fijación del equipo de extracción.



Figura 26. Foto durante la ubicación de equipo de extracción en el punto de toma de muestra.



Figura 27. Foto del equipo de trabajo, durante la obtención de muestra diamantina.



Figura 28. Foto durante la preparación del material asfáltico para la reposición del material extraído.

3.5.5. Resistencia de Mezclas Bituminosas Empleando el Aparato Marshall

Con las 3 probetas de carpeta asfáltica se procederá a la toma de datos previos al rompimiento: se realizan 4 medidas de altura por briqueta para determinar un promedio. Posteriormente se realizarán la toma de los pesos por briqueta tanto al aire como al agua.

Se procede colocar las muestras preparadas con cemento asfáltico en un baño de agua durante 30 o 40 minutos a $60^{\circ} + 1^{\circ}\text{C}$ ($140^{\circ} + 1.8^{\circ}\text{F}$); se limpió las barras guías y las superficies interiores del molde de ensayo antes de la ejecución de este; se procedió a retirar la probeta del baño de agua para secar superficialmente y colocar centrada en el segmento inferior de la mordaza; entonces se aplicó la carga sobre la probeta con una prensa a una razón de deformación constante de 50.8 mm (2") por minuto, hasta que ocurrió la falla, es decir cuando se alcanzó la máxima carga y luego disminuye según se lea en el dial respectivo; tomándose los datos de flujo y estabilidad dados por la prensa (el procedimiento completo, a partir de la sacada de la probeta del baño de agua, deberá realizarse en un periodo no mayor de 30 segundos), cómo se refiere en el Manual de Ensayos de Materiales (MTC, 2016).

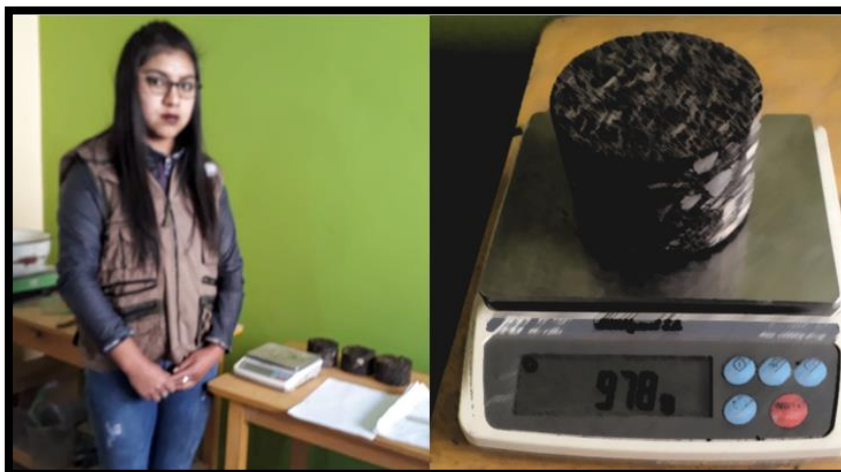


Figura 29. Foto durante de toma de pesos al aire de las muestras diamantina.



Figura 30. Foto durante de toma de pesos, al aire y al agua, de las muestras diamantina.



Figura 31. Foto del Baño maría a 60°C, de las muestras diamantina.



Figura 32. Foto del instante de rotura Marshall.

Tabla 21. Datos obtenidos en laboratorio para la verificación Marshall.

DESCRIPCIÓN	1	2	3
	6.2	5.8	6.1
	6.2	5.9	5.9
1 Toma de alturas de la briqueta	6.1	5.8	6.0
	6.1	5.9	6.0
2 Altura promedio de la briqueta	6.15	5.85	6.0
3 Peso de la Briqueta al Aire	978	983	949
4 Peso de la Briqueta al agua	528	537	514
5 Estabilidad sin corregir (Kg)	421	510	472
6 Flujo (mm)	4.57	4.05	4.30

Nota: Elaboración propia.

3.5.6. Extracción Cuantitativa de Asfalto en Mezclas para Pavimentos

Siguiendo el procedimiento indicado por el Manual de Ensayos de Materiales (MTC, 2016) se realizó el Lavado Asfáltico para la determinación de proporciones de materiales según las muestras (testigos) extraídas de la carpeta asfáltica de la carretera en evaluación: Inicialmente se calentó la muestra para facilitar el lavado asfáltico; se pesó la muestra y posteriormente se colocó la proporción en la taza del equipo de centrifuga y sobre esta, el anillo filtrante; al tenerse la muestra cubierta se echó el solvente y se dio

inicio a la centrifugación girándose lentamente y aumentándose gradualmente la velocidad a un máximo de 3600 rpm, hasta que deje de fluir el solvente por el desagüe. Cuando la maquina quede detenida se el solvente por 3 4 veces más hasta que el extracto quedó con un color ligeramente claro. Finalmente se vertió cuidadosamente todo el contenido de la taza en una bandeja secándolo a fuego constante y bajo; posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente.

Para la toma final de datos se determinó el peso total de los agregados, para así calcular el porcentaje de cemento asfáltico respecto a toda la mezcla; así como el peso del agregado por tamiz para la verificación de la curva granulométrica.

Tabla 22. Calculo de porcentaje de asfalto por muestra.

	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	Unid.
Peso mezcla:	962.0	957.5	967.4	Grs
Peso agregados:	888.4	890.80	896.7	Grs

Nota: Elaboración propia.



Figura 33. Foto del proceso de lavado asfáltico de muestras.



Figura 34. Foto durante el tamizado granulométrico para registro de pesos retenidos.

Tabla 23. Peso retenido por tamiz, de la muestras extraídas.

Tamices ASTM	Abertura mm	Peso Retenido		
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
3"	75.000			
2 1/2"	63.000			
2"	50.000			
1 1/2"	37.500			
1"	25.000			
3/4"	19.000			
1/2"	12.500	78.00	79.10	76.20
3/8"	9.500	101.00	102.10	102.50
No.04	4.750	118.00	119.00	116.50
No.10	2.000	171.00	172.00	172.80
No.20	0.840	114.00	115.00	112.00
No.40	0.425	111.00	112.00	110.00
No.80	0.180	122.00	110.00	121.00
No.100	0.150	7.40	8.40	11.40
No.200	0.075	35.20	36.20	36.20
<No.200		30.80	39.00	38.10

Nota: Elaboración propia.

3.5.7. Aforo Vehicular

Se recolecto datos de aforo vehicular con el objetivo de contrastar IMD real con el IMD del diseño. Dicho conteo se realizó de lunes a domingo en los horarios de 6:00 hasta las 19.00 horas, siendo este el horario de movimiento vehicular según data de la zona.

UBICACIÓN: Inicio de vía (Se toma datos solo en una estación ya que los vehículos tienen un origen y un destino fijo dentro de la vía (ORIGEN: Desvío Yocara – DESTINO: Cabana).



Figura 35. Foto durante el registro de trafico, en el punto inicial y punto final.

Se visualiza el registro de aforo por día. (Anexo N° 09)

3.6. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS

3.6.1. Calculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI)

Tras la inspección, se procede a calcular el valor PCI, Medina y De la Cruz 2015 dividen el proceso de cálculo en tres etapas: Calculo de los valores deducidos (DV), cálculo del número máximo admisible de valores deducidos (m) y cálculo del máximo valor deducido corregido (CDV)

Para la explicación de análisis de datos PCI se tiene como modelo de cálculo a la Unidad UIII-07: En la primera columna “FALLA” colocamos el código correspondiente

al tipo de falla encontrada en el área de unidad de muestra, en la segunda columna colocamos el código del nivel de “SEVERIDAD” de la falla, y en las columnas “CANTIDAD” se tienen las metrado correspondiente a cada falla en el área de la unidad, dichas cantidades son evaluadas en m2, en la columna “TOTAL” tenemos la sumatoria del metrado, para luego hallar la “DENSIDAD” que es igual a: “TOTAL” del área de la falla evaluada, dividido entre el total del área de la unidad, expresado en porcentaje. Finalmente, con los ábacos anexados para cada tipo de falla se calcula el Valor Deducido, como se muestra en las Figuras 36 y 37.

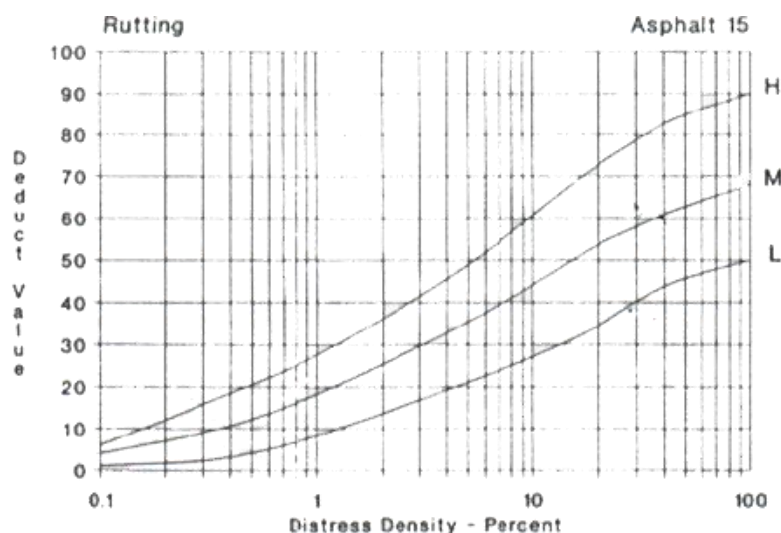


Figura 36. Curva de valor deducido para asfalto, falla: ahuellamiento. Fuente: Vásquez 2002.

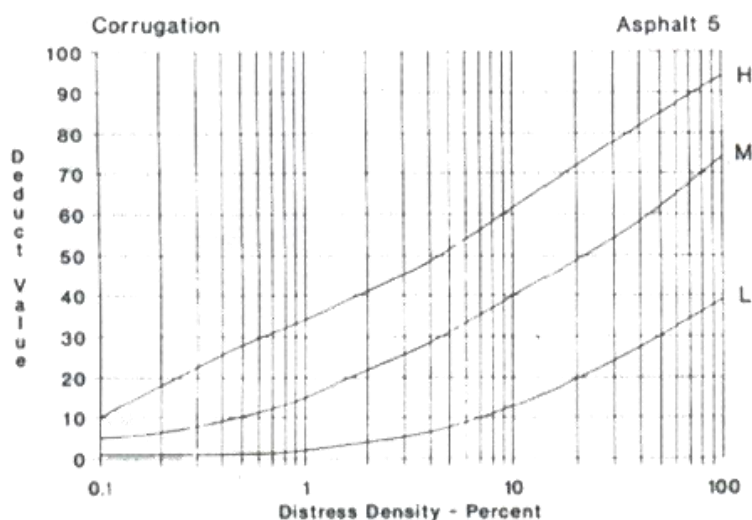


Figura 37. Curva de valor deducido para asfalto, falla: corrugación. Fuente: Vásquez 2002.

Tabla 24. Cálculo de Valor deducido para la Unidad de muestra UIII- 07.

PUNTO INICIAL: KM 15+300		PUNTO FINAL: KM 15+3500			
FALLA	SEVERIDAD	CANTIDAD	TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
1	2	12.50	12.50	4.17%	33
1	1	7.5	7.5	2.50%	15
2	1	5.175	5.175	0.01725	3.5

Fuente: Elaboración propia.

Luego se procede a realizar el cálculo de “m” indicador del número de valores deducidos. Existen dos formas de cálculo mediante la Figura 10, o mediante la fórmula de la recta de la misma para mayor precisión.

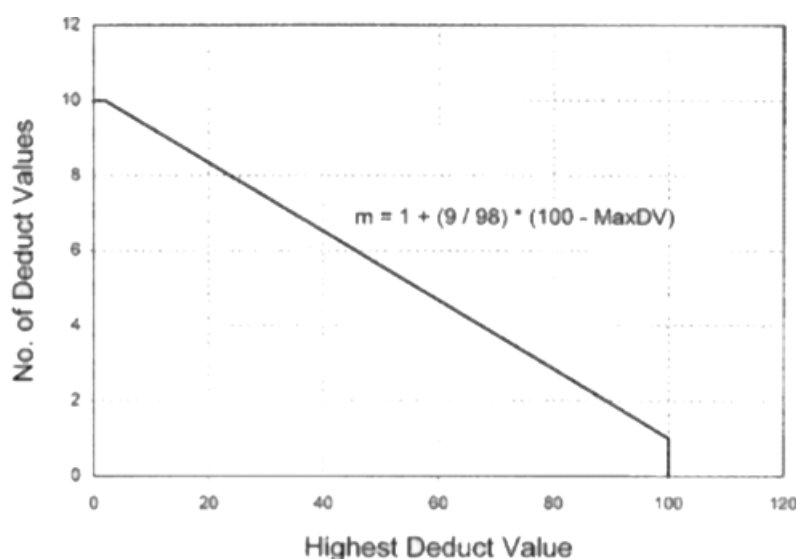


Figura 38. Ajuste del número de valores deducidos. Fuente: Vásquez 2002.

Para nuestro modelo de cálculo el valor de $m = 7.15$, sin embargo, la cantidad de valores deducidos en menor (3), por tanto, se trabaja con todos los valores deducidos.

Posteriormente se ordenan de mayor a menor todos los valores deducidos y se ingresan en la gráfica de valores deducidos corregidos para pavimentos asfálticos (Figura 19), para el primer caso $q = 3$, obteniendo como valor deducido corregido 31.5. Se repetirá lo mismo, reemplazando el último valor reducido por 2 y reduciendo el valor de “q” en una unidad, hasta que “q” sea igual a 1, hallando los valores deducidos corregidos para cada valor de “q” (Tabla 25).

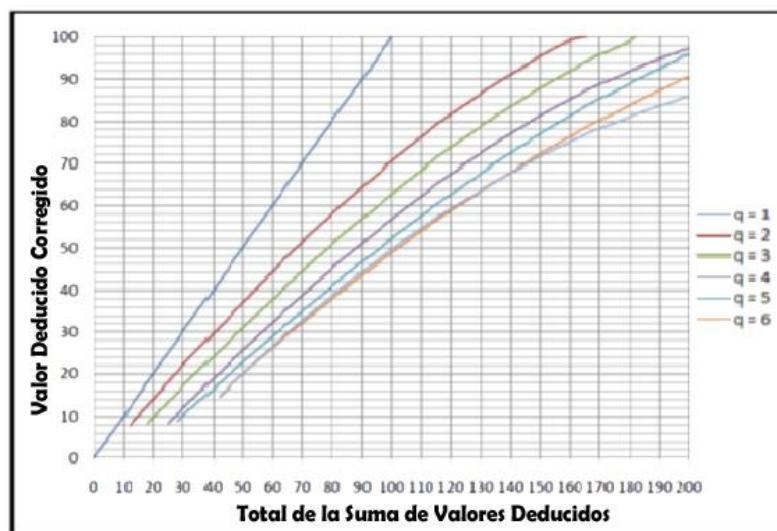


Figura 39. Curva de corrección para pavimentos de asfalto.
Elaborado por: Medina 2015.

Tabla 25. Cálculo de valor deducido corregido.

Valor Deducido Corregido						
m	7.15					
#	VALOR DEDUCIDO			TOTAL	q	CDV
1	33	15	3.5	51.5	3	31.5
2	33	15	2	50	2	37
3	33	2	2	37	1	37
PCI =						63
CONDICIÓN:						BUENO

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente elegir el máximo valor deducido corregido, restándosele este al valor máximo de PCI (100):

$$PCI = 100 - 37 = 63;$$

Ubicándose el valor calculado en el rango de 55-77 según muestra la Tabla 26, considerándose la unidad de muestra como BUENO.

Tabla 26. Rangos de Clasificación 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: Fuente Vásquez 2002.

Finalmente se presenta el cuadro resumen de la sección III, a forma de modelo de cálculo del valor de PCI y condición de sección; la cual viene a ser la división de la sumatoria del producto del área de muestra por el PCI de la misma, entre el área total de la sección; que para el ejemplo de la Sección III nos resulta 76.29 encontrándose en el Rango de Condición MUY BUENO.

Tabla 27. Cálculo de valor PCI sección III.

SECC.	UNIDAD DE MUESTRA	KM INICIO	KM FIN	AREA DE MUESTRA (A)	PCI DE LA MUESTRA (B)	CONDICION DE MUESTRA	(A)x(B) (D)	PCI Y CONDICION DE SECCIÓN (F)=(E)x(C)
III	UIII-01	15+000	15+050	300 m2	85.00	MUY BUENO	25500	
	UIII-04	15+150	15+200	300 m2	79.00	MUY BUENO	23700	
	UIII-07	15+300	15+350	300 m2	63.00	BUENO	18900	76.29
	UIII-010	15+450	15+500	300 m2	67.50	BUENO	20250	
	UIII-013	15+600	15+650	300 m2	69.50	BUENO	20850	
	UIII-016	15+750	15+800	300 m2	71.00	MUY BUENO	21300	
	UIII-020	15+950	16+000	300 m2	81.00	MUY BUENO	24300	
	UIII-024	16+150	16+200	300 m2	81.00	MUY BUENO	24300	
	UIII-028	16+350	16+400	300 m2	84.00	MUY BUENO	25200	MUY BUENO
	UIII-032	16+550	16+600	300 m2	79.00	MUY BUENO	23700	BUENO
	UIII-036	16+750	16+800	300 m2	81.00	MUY BUENO	24300	
	UIII-040	16+950	17+000	300 m2	74.50	MUY BUENO	22350	
			TOTAL		A3600 m2 (C):	TOTAL D(E):		274650

Fuente: Elaboración propia.

VERIFICACIÓN DE CANTIDAD DE UNIDADES DE MUESTRA

Según la Asociación Americana de Ensayo de Materiales (como se citó en Medina y De la Cruz 2015) se tiene el siguiente proceso de confirmación de unidades de muestra: si la obtención de un nivel de confianza del 95% es crítico, la adecuación del número de unidades muestras encuestadas deben ser confirmados; el número de unidades de muestra se calculó sobre la base de una desviación estándar; calcular la desviación real estándar (s) de la siguiente manera:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (PCI_i - PCI_f)^2}{(n - 1)}}$$

Dónde:

PCI_i = PCI de unidades de muestreo estudiados i,

PCI_f = PCI de la sección (media PCI de unidades de muestra encuestados), y

n = número total de unidades de la muestra encuestada,

Entonces se procederá a calcular el número mínimo de unidades de muestra nuevamente utilizando la desviación estándar calculado; si el número de revisión de unidades de muestra para la encuesta es mayor que el número de unidades de muestra ya estudiadas, seleccionar y estudiar otras unidades de la muestra al azar; estas unidades de la muestra deben ser de manera uniforme a través de la sección. Se debe repetir el proceso de verificación de la revisión del número de unidades de muestreo y medición adicionales unidades de muestreo al azar hasta que el número total de unidades de muestra encuestados igual o superior a las unidades mínimas requeridas de la muestra (n), utilizando la actual desviación estándar total de la muestra.

Para el presente se calculó un nuevo valor de Desviación estándar con los datos de PCI de las muestras para cada sección, se muestra la Tabla 28, como ejemplo de cálculo donde se verifica que la sección III no requiere de más unidades de muestra.

Tabla 28. Verificación de cantidad de unidades de muestra.

SECCION	UNIDAD DE MUESTRA	PCI DE LA MUESTRA (B)	PCI Y CONDICION DE SECCIÓN (F)=(E)x(C)	(PCI _i – PCI _f) ²
	UIII-01	85.00		75.84
	UIII-04	79.00		7.34
	UIII-07	63.00		176.67
III	UIII-010	67.50	76.29	77.29
	UIII-013	69.50		46.13
	UIII-016	71.00		28.00
	UIII-020	81.00		22.17

UIII-024	81.00	22.17
UIII-028	84.00	59.42
UIII-032	79.00	7.34
UIII-036	81.00	22.17
UIII-040	74.50	3.21
TOTAL:	$\sum_{i=1}^n (PCI_i - PCI_f)^2$	547.73
NUEVA DESVIACIÓN ESTANDAR:	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (PCI_i - PCI_f)^2}{(n - 1)}}$	7.06
ERROR ADMISIBLE:	e	5.00
NÚMERO TOTAL DE UNIDADES DE MUESTRA DE LA SECCIÓN	N	40.00
NUEVO NUMERO MÍNIMO DE UNIDADES DE MUESTREO	$n1 = (Nx\sigma^2)/(e^2/4 + x(N-1) + \sigma^2)$	7.00
NUMERO DE UNIDADES DE MUESTRA EVALUADOS	n	12.00
n > n1 NO SE REQUIEREN MAS UNIDADES DE MUESTRA		

Fuente: Elaboración propia.

3.6.2. Calculo del Índice de Serviciabilidad del Pavimento (PSI)

Inicialmente con los 200 datos letrados por ensayo se calcula el valor de rango D, referente Del Águila (1999) señala:

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 dispersión de los datos obtenidos con el MERLIN 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 (...). 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 (5mm). (p. 7,8)

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

Figura 40. 200 Datos de la muestra 1, KM 0+000 AL 0+400 (I).

Elaboración propia.

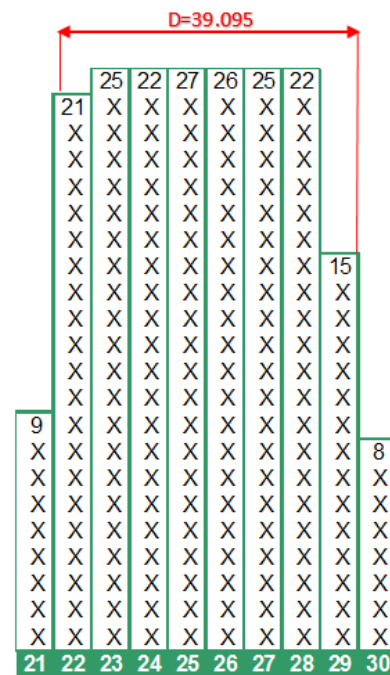


Figura 41. Histograma de distribución de frecuencias de la muestra 1, KM 0+000 AL 0+400 (I).

Elaboración propia.

Ya teniendo el valor “D”, habiéndose encontrado una variación mediante la prueba de la pastilla se obtendrá el valor de corrección:

Tabla 29. Factor de corrección y D corregido.

ESPELOR PASTILLA	6.4
LECTURA INICIAL	25
LECTURA CON PASTILLA	11
FACTOR DE CORRECCIÓN	0.914
D CORREGIDO	35.73

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se relacionará la rugosidad determinada con el MERLIN con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), Del Águila (1999) sobre el cálculo señala que “se utilizan las expresiones: a. Cuando $2.4 < IRI < 15.9$, entonces $IRI = 0.593 + 0.0471 D$ y b. Cuando $IRI < 2.4$, entonces $IRI = 0.0485 D$ (2)” (p. 8).

Para el modelo del ejemplo (muestra 1):

$$IRI = 0.0485 * D = 0.0485 * 35.73 = 1.73 \text{ IRI}$$

Finalmente, ya teniendo el valor IRI se relaciona este con el valor PSI, según:

$$PSI = 5 / [e^{(R/5.5)}]$$

$$PSI = 5 / [e^{(3.6/5.5)}]$$

$$PSI = 3.6$$

Evaluación según parámetros de aceptabilidad:

Así como se detalló en el marco teórico ítem 2.2.4.3. existen parámetros márgenes para la aceptabilidad del Psi; para el presente se considera el dado por el MTC - Suelos y Pavimentos (2014).

Según Expediente técnico, EE= 565 099,

TIPOS DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (Po)
Caminos de bajo volumen de tránsito.	Tp0	75,000	150,000	3.80
	Tp1	150,001	300,000	3.80
	Tp2	300,001	500,000	3.80
	Tp3	500,001	750,000	3.80
	Tp4	750,001	1,000,000	3.80

Para el corto tiempo de servicio (1.5 años) de la carretera en evaluación, se considera **3.80** el índice de serviciabilidad óptimo para la evaluación.

Hojas de cálculo de serviciabilidad por unidad de muestra, certificados. (Anexo N° 05)

3.6.3. Resistencia de Mezclas Bituminosas Empleados el Aparato Marshall

Como primer cálculo se determinará el volumen de la briqueta por desplazamiento (en cm³), tenemos que:

$$V = \frac{P_{AGUA}}{Pe_{AGUA}}$$

$$P_{AGUA} = \text{Empuje} = P_{\text{al aire}} - P_{\text{sumergido}}$$

$$Pe_{AGUA} = 1\text{g/cm}^3$$

De donde:

$$V = P_{\text{al aire}} - P_{\text{sumergido}}$$

Ya teniendo el valor del volumen se hallará el peso unitario, con:

$$P_{\text{unitario}} = \frac{P_{\text{al aire}}}{V}$$

La prensa Marshall nos lectura 2 valores, el de Estabilidad y Flujo. Sin embargo, para el valor de estabilidad el MTC (2016) refiere que:

Las estabilidades determinadas en núcleos extraídos de campo con amplios rangos de variación de espesor también serán corregidas (...). La razón de correlación es empleada de la siguiente manera: $A = B \times C$, donde: A = estabilidad corregida, B = medida de la estabilidad (carga) y C = razón de correlación (...). (p. 527)

Tabla 30. Factores de Estabilidad de Correlación.

Volumen del espécimen, cm		Espesor del espécimen mm.	Pulg.	Razón de la correlación
200	- 213	25,4	1,00 (1)	5,56
214	- 225	27	1,06 (1 1/16)	0,005
226	- 237	28,6	1,12 (1 1/8)	4,55
238	- 250	30,2	1,19 (1 3/16)	4,17
251	- 264	31,8	1,25 (1 1/4)	3,85
265	- 276	33,3	1,31 (1 5/16)	3,57
277	- 289	34,9	1,38 (1 3/8)	3,33
290	- 301	36,5	1,44 (1 7/16)	3,03
302	- 316	38,1	1,50 (1 1/2)	2,78
317	- 328	39,7	1,56 (1 9/16)	2,5

329 - 340	41,3	1,62 (1 5/8)	2,27
341 - 353	42,9	1,69 (1 11/16)	2,08
354 - 357	44,4	1,75 (1 3/4)	1,92
358 - 379	46	1,81 (1 13/16)	1,79
380 - 392	47,6	1,88 (1 7/8)	1,67
393 - 405	49,2	1,94 (1 15/16)	1,56
406 - 420	50,8	2,00 (2)	1,47
421 - 431	52,4	2,06 (2 1/16)	1,39
432 - 443	54	2,12 (2 1/8)	1,32
444 - 456	55,6	2,19 (2 3/16)	1,25
457 - 470	57,2	2,25 (2 1/4)	1,19
471 - 482	58,7	2,31 (2 5/16)	1,14
483 - 495	60,3	2,38 (2 3/8)	1,09
496 - 508	61,9	2,44 (2 7/16)	1,04
509 - 522	63,5	2,50 (2 1/2)	1
523 - 535	65,1	2,56 (2 9/16)	0,96
536 - 546	66,7	2,62 (2 5/8)	0,93
547 - 559	68,3	2,60 (2 11/16)	0,89
560 - 573	69,8	2,75 (2 3/4)	0,86
574 - 585	71,4	2,81 (2 13/16)	0,83
586 - 598	73	2,88 (2 7/8)	0,81
599 - 610	74,9	2,94 (2 15/16)	0,78
611 - 626	76,2	3,00 (3)	0,76

Fuente: MTC 2016

Así mismo se calculará la relación Estabilidad Flujo para determinar si dicho rango se encuentra dentro del margen de las especificaciones:

$$Relación E/F = \frac{Estabilidad}{Flujo} \times 10$$

En lo que refiere a las especificaciones a cumplir se tiene que para la revisión los factores: estabilidad corregida, flujo y relación E/F, existen parámetros generales establecidos para el control de calidad, como se muestra en la Tabla 31.

Tabla 31. Requisitos para mezcla de concreto bituminoso.

Parámetro de diseño	Clase Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado.	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4.53 kN
3. Flujo 0,01" (025mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5

5. Vacíos en el agregado mineral	Tabla 423-10 MTC		
Inmersión - Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo-Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/Flujo (kg/cm) (3)	1700-4000		
Resistencia conservada en la prueba de reacción indirecta AASHTO T 283			
	80 mín.		

Nota: Siendo la mezcla de la carretera en estudio de Clase A. Fuente: MTC (2013).

Así mismo existen especificaciones más precisas a cumplir según la fórmula de diseño de mezcla: “(...) la estabilidad de cada probeta (Ei) deberá ser igual o superior al 90% del valor medio de estabilidad, admitiéndose solo un valor individual por debajo de ese límite: $E_i \geq 0,9 E_m$ ” (MTC, 2013, p. 586).

Siendo: $E_i = 1186$

$$E_i \geq 0,9 E_m$$

$$E_i \geq 0,9 * 1186$$

$$E_i \geq 1067$$

El flujo medio de las probetas sometidas al ensayo de estabilidad (Fm) deberá encontrarse entre el 90% y el 110% del valor obtenido en la mezcla aprobada como fórmula de trabajo (Ft), pero no se permitirá que su valor se encuentre por fuera de los límites establecidos en: $0,90 F_t \leq F_m \leq 1,10 F_t$. (MTC, 2013, p. 586)

Siendo: $F_t = 3.9$

$$0,90 * 3.9 \leq F_m \leq 1,10 * 3.9$$

$$3.51 \leq F_m \leq 4.29$$

Para el presente se presenta el resumen de desarrollo de cálculo de las 3 muestras ensayadas, Tabla 32, con las respectivas especificaciones.

Tabla 32. Calculo de 03 muestras, verificación Marshall.

NUMERO DE BRIQUETA	1	2	3	ESPECIF.
	6.20	5.8	6.1	
1 Toma de alturas de la briqueta	6.20	5.9	5.9	
	6.10	5.8	6.0	
	6.10	5.9	6.0	
2 Altura promedio de la briqueta	6.15	5.85	6.00	
3 Peso de la Briqueta al Aire	978	983	949	
4 Peso de la Briqueta al agua	524	533	509.5	
5 Volumen de la briqueta por desplazamiento	454.0	450.0	439.5	
6 Peso Unitario	2.154	2.184	2.159	
7 Estabilidad sin corregir (Kg)	521	590	572	
8 Factor de Estabilidad	1.32	1.32	1.25	
9 Estabilidad Corregida (Kg)	688	779	715	Min. 815 Mín. 1067
10 Flujo (mm)	4.57	4.05	4.30	2.0 - 4.0 3.51 - 4.29
11 Relación E / F (Kg/mm)	1505	1923	1663	1700-4000

Fuente: Elaboración propia.

Hoja de cálculo de verificación Marshall, certificada. (Anexo N° 06)

Por otro lado, referente al grado de compactación el MTC (2013) nos dice: “(...) la densidad de cada testigo individual (Di) deberá ser mayor o igual al 97% de la densidad media de los testigos del tramo (Dm). $D_i = 0,97 D_m$ ” (p. 587).

Para el presente se presenta el resumen de desarrollo de cálculo de grado y/o porcentaje de compactación de las 3 muestras ensayadas, Tabla 33.

Tabla 33. Resumen de cálculo de ensayo de grado de compactación.

PROGRE- SIVA KM	LADO	ALT. X1 cm	ALT. X2 cm	ALT. X3 cm	ALT. X4 cm	PROM. cm	ALPESO AL AIRE g	ALPESO AL AGUA g	VOL. EN cm3	DENSIDAD EN PISTA g/cm3	DENSIDAD MARSHALL g/cm3	% DE COMPAC- TACION
00+020	IZQ	6.2	6.2	6.1	6.1	6.2	978.0	524.0	454.0	2.154	2.260	95.32
10+5000	DER.	5.8	5.9	5.8	5.9	5.9	983.0	533.0	450.0	2.184	2.260	96.66
16+200	IZQ.	6.1	5.9	6.0	6.0	6.0	949.0	509.5	439.5	2.159	2.260	95.54

Fuente: Elaboración propia.

Hoja de cálculo de grado de compactación, certificada. (Anexo N° 07).

3.6.4. Extracción Cuantitativa de Asfalto de Mezclas para Pavimentos

El porcentaje de Cemento Asfáltico se determinó por diferencia de pesos, con la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de asfalto \%} = \frac{W_1 - W_2}{W_1}$$

Donde: W_1 = Peso de la porción de ensayo y W_2 = Peso del agregado mineral extraído. Entonces para el presente tenemos:

Se verifica que se cumpla lo señalado en el Manual de Carreteras EG-2013, la que refiere que: “el contenido de asfalto residual de cada muestra individual (ARI %), no podrá diferir del valor medio del tramo (ART %) en más del 0,3% (...)” (MTC, 2013, p. 585). Entonces, teniéndose $ART = 7.1\%$

$$ART \% - 0,3 \% \leq ARI \% \leq ART \% + 0,3 \%$$

$$6.89 \% \leq ARI \% \leq 7.31 \%$$

Así mismo en la revisión de fórmula de obra se tiene establecido dichos márgenes, (Consortio San Antonio, 2016):

$$\text{CONTENIDO DE ASFALTO MÁXIMO (+0.30\%)} = 6.89\%$$

$$\text{CONTENIDO DE ASFALTO MÍNIMO (-0.30\%)} = 7.31\%$$

Seguidamente se hace la verificación de granulometría. A manera de ejemplo de cálculo se presenta la Tabla 34, cálculo del porcentaje que pasa de cada malla, y el control si cumplen las especificaciones de Gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC) 2, siendo esta la clase de mezcla de diseño.

Tabla 34. Análisis granulométrico y contenido de asfalto de la muestra 1.

Tamices ASTM	Abertura mm	Peso Retenido	Retenid. Parcial	Retenid. acumulac	% Que Pasa	Especificaciones	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	75.000						Peso mezcla : 962.0 Grs
2 1/2"	63.000						Peso agregados : 888.4 Grs
2"	50.000						Cem. asfáltico : 7.65 %
1 1/2"	37.500						Grava : 33.5 %
1"	25.000						Arena : 63.0 %
3/4"	19.000				100.00	100 - 100	Fino : 3.5 %
1/2"	12.500	78.00	8.80	8.80	91.20	80 - 100	W natural : %
3/8"	9.500	101.00	11.40	20.20	79.80	70 - 88	
No.04	4.750	118.00	13.30	33.50	66.50	51 - 68	LIMITES DE CONSISTENCIA
No.10	2.000	171.00	19.20	52.70	47.30	38 - 52	L.L. : %
No.20	0.840	114.00	12.80	65.50	34.50		L.P. : %
No.40	0.425	111.00	12.50	78.00	22.00	17 - 28	I.P. : %
No.80	0.180	122.00	13.70	91.70	8.30	8 - 17	
No.100	0.150	7.40	0.80	92.50	7.50		CLASIFICACION
No.200	0.075	35.20	4.00	96.50	3.50	4 - 8	SUCS :
<No.200		30.80	3.50	100.00			AASHTO :
							FILLER/ASFALTO : 0.457

Fuente: Elaboración propia.

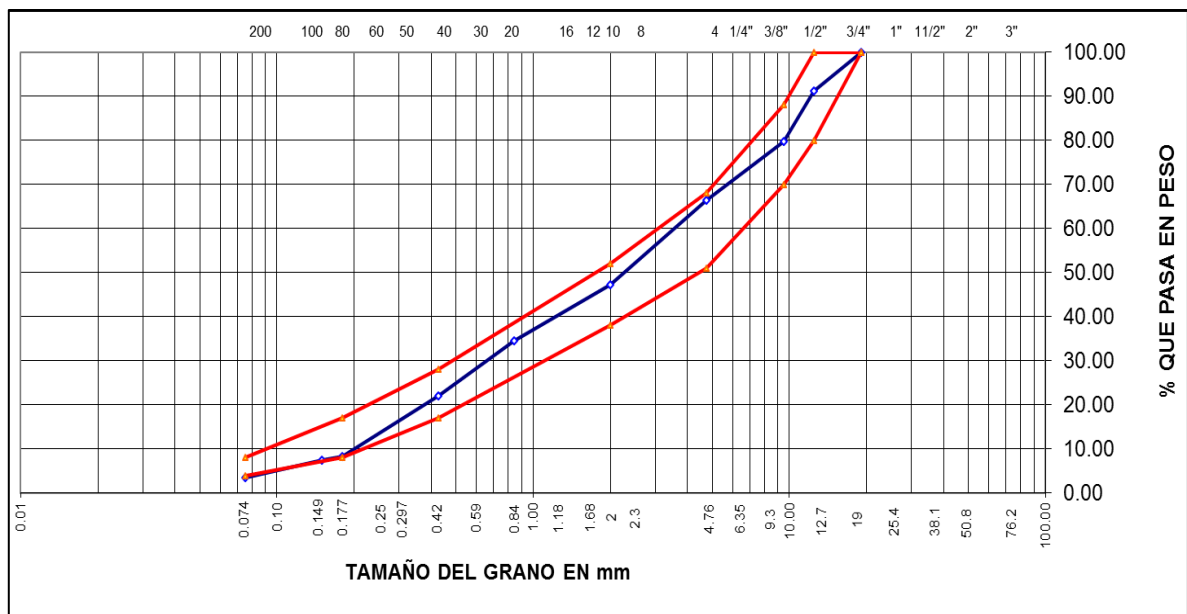


Figura 42. Representación Gráfica de la curva granulométrica por tamices, y delimitación de especificaciones de la muestra 1.

Elaboración propia.

CÁLCULO DE GRANULOMETRICO Y LAVADO ASFALTICO COMPLETO (ANEXO N°03)

Hojas de cálculo de proporción de lavado asfáltico y granulometría, certificadas. (Anexo

N° 08).

3.6.5. Análisis Correlacional De Variables

El Departamento de Sociología IV (2012) en su Guía “*SPSS 10 Guía para el Análisis de Datos*” menciona: que el análisis de regresión lineal como técnica estadística permite estudiar la relación entre una variable dependiente (VD) y una o más variables independientes (VI) con el doble propósito de: 1) averiguar en qué medida la VD puede estar explicada por la(s) VI y 2) obtener predicciones en la VD a partir de la(s) VI.

En la presente para la evaluación correlacional de variables se tiene un estudio estadístico condicionado; esto por las restricciones expuestas en el ítem. 1.5. Limitaciones, donde se explica el restrictivo de unidades de muestreo de la variable independiente. Por tales condiciones se plantea la correlación con los datos exiguos obtenidos en campo para la variable independiente, donde dicho número será también dado para la variable dependiente para la conformidad en el proceso de correlación.

Dicho esto, se tiene que la presente evaluación estadística correlacional cumplirá el primer propósito: de averiguar la medida y/o grado de relación de la variable dependiente respecto a la independiente. Mas no se podrá afirmar que los modelos obtenidos a base de la correlación son eficientes para las predicciones de la variable dependiente a partir de la independiente.

El análisis de regresión lineal es una técnica estadística utilizada para estudiar la relación entre variables. (...) Una medida de ajuste que ha recibido gran aceptación en el contexto del análisis de regresión es el coeficiente de determinación R^2 : el cuadrado del coeficiente de correlación múltiple. Se trata de una medida estandarizada que toma valores entre 0 y 1 (0 cuando las variables son independientes y 1 cuando entre ellas existe relación perfecta). Este coeficiente posee una interpretación muy intuitiva: representa el grado de ganancia que podemos obtener al predecir una variable basándonos en el

conocimiento que tenemos de otra u otras variables (Departamento de Sociología IV, 2012, p. 341).

Se realiza el cálculo de regresión lineal para cada indicador de calidad de mezcla asfáltica respecto a la variable dependiente de serviciabilidad, mediante el uso del complemento estadístico: “Análisis de Datos” en Microsoft Excel. Cuyos parámetros de resultado a interpretar son:

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN MULTIPLE: El Departamento de Sociología IV (2012) refiere que el coeficiente de correlación múltiple viene a ser el valor absoluto del coeficiente de Pearson; el que refleja el grado de correlación entre la variable dependiente e independiente. Siendo considerado el coeficiente de correlación de Pearson (...) el mejor coeficiente y el más utilizado para estudiar el grado de relación lineal existente entre dos variables cuantitativas. Se suele representar por “R” y se obtiene tipificando el promedio de los productos de las puntuaciones diferenciales de cada caso (desviaciones de la media) en las dos variables correlacionadas:

$$R_{xy} = \frac{\sum x_i y_i}{n S_x S_y}$$

Donde: El Coeficiente de Correlación de Pearson es una prueba estadística para analizar la relación entre dos variables medidas en un nivel por intervalo o de razón, el coeficiente r de Pearson puede variar de -1.00 a $+1.00$ (Sampieri et al., 2010). Se tiene la siguiente interpretación según los parámetros obtenidos:

-1.00 = Correlación negativa perfecta. (“A mayor X, menor Y”, de manera proporcional. Es decir, cada vez que X aumenta una unidad, Y disminuye siempre una cantidad constante.) Esto también se aplica “a menor X, mayor Y”.

-0.90 = Correlación negativa muy fuerte.

-0.75 = Correlación negativa considerable.

-0.50 = Correlación negativa media.

-0.25 = Correlación negativa débil.

-0.10 = Correlación negativa muy débil.

0.00 = No existe correlación alguna entre las variables.

+0.10 = Correlación positiva muy débil.

+0.25 = Correlación positiva débil.

+0.50 = Correlación positiva media.

+0.75 = Correlación positiva considerable.

+0.90 = Correlación positiva muy fuerte.

+1.00 = Correlación positiva perfecta. (“A mayor X, mayor Y” o “a menor X, menor Y”, de manera proporcional. Cada vez que X aumenta, Y aumenta siempre una cantidad constante.)

El signo indica la dirección de la correlación (positiva o negativa); y el valor numérico, la magnitud de la correlación (Sampieri et al., 2010, p.312).

NIVEL DE SIGNIFICANCIA: O nivel alfa (α), el cual es un nivel de la probabilidad de equivocarse y se fija antes de probar hipótesis inferenciales (Sampieri et al., 2010, p.307). Si dicho valor es menor del valor 0.05, se dice que el coeficiente es significativo en el nivel de 0.05 (95% de confianza en que la correlación sea verdadera y 5% de probabilidad de error). Si es menor a 0.01, el coeficiente es significativo al nivel de 0.01 (99% de confianza de que la correlación sea verdadera y 1% de probabilidad de error).

COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN: Es el cuadrado del coeficiente de correlación múltiple (R^2) el cual expresa la proporción de varianza de la variable dependiente que está explicada por la variable independiente. Es importante resaltar que el análisis de regresión no permite afirmar que las relaciones detectadas sean de tipo

causal: sólo es posible hablar del grado de relación (Departamento de Sociología IV, 2012, p.343). entendiéndose finalmente a dicho coeficiente como la confiabilidad y/o grado de calidad del modelo generado por la correlación.

$$R^2 = 1 - \frac{\text{Suma de cuadrados de los residuos}}{\text{Suma de cuadrados total}}$$

R CUADRADO CORREGIDA Y/O AJUSTADA: Es una corrección a la baja de R² que se basa en el número de casos y de variables independientes (p se refiere al número de variables independientes). En una situación con pocos casos y muchas variables independientes, R² puede ser artificialmente alta. En tal caso, el valor de R² corregida será sustancialmente más bajo que el de R² (Departamento de Sociología IV, 2012, p.343).

$$R_{\text{corregida}}^2 = R^2 - [p(1 - R^2)/(n - p - 1)]$$

ERROR TÍPICO: De la estimación es la desviación típica de los residuos, es decir, la desviación típica de las distancias existentes entre las puntuaciones en la variable dependiente (Y_i) y los pronósticos efectuados con la recta de regresión (Departamento de Sociología IV, 2012, p.343). Siendo el dato que presenta la determinación en que el grado los datos dependientes e independientes tienen una tendencia lineal.

$$\text{Error típico} = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{(n - 2)}}$$

3.6.5.1. RELACIÓN ENTRE PSI E INDICADORES DE CALIDAD DE MEZCLA ASFÁLTICA

Tabla 35. Matriz de correlación simple (R_{ij}) PSI – Mezcla Asfáltica

	PSI	ESTABILIDAD	FLUJO	% COMP.	% CONT. ASF.	FILLER/ASF.
PSI	1					
ESTABILIDAD	0.97353583	1				
FLUJO	-0.9997535	-0.9682224	1			

% COMP.	0.93235582	0.9903066	-0.9240997	1	
% CONT. ASF.	-0.9798637	-0.9083015	0.9840549	-0.8413934	1
FILLER/ASF.	0.96025788	0.87105822	-0.9662176	0.79439047	-0.9966519

Nota: Existe alta correlación entre el PSI y los parámetros de calidad de la mezcla asfáltica. Elaboración propia.

A. RELACIÓN PSI - ESTABILIDAD

Tabla 36. Coeficientes de correlación múltiple y de determinación entre el PSI y Estabilidad.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.97353583
Coefficiente de determinación R ²	0.947772013
R ² ajustado	0.895544026
Error típico	0.032319649
Observaciones	3
P(T<=t) dos colas (significancia)	0.001381811

Fuente: Elaboración propia.

Bajo las 03 observaciones presentadas en el análisis de datos de la presente relación: el 94,78% de la variación de PSI esta explicada por la Estabilidad. Para las 03 observaciones y 01 variable independiente: “estabilidad”; el análisis de regresión para el R² corregido y/o ajustado varía del 0,94777 al 0,89554. Para el error típico se tiene que: existe un 0.0323 de variabilidad del “PSI” que no es representada por la recta de regresión dada, siendo una correlación significativa (0.001<0.05), respecto a las observaciones obtenidas.

B. RELACIÓN PSI – FLUJO

Tabla 37. Coeficientes de correlación múltiple y de determinación entre el PSI y Flujo.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.999753543
Coefficiente de determinación R ²	0.999507146
R ² ajustado	0.999014293
Error típico	0.003139597
Observaciones	3
P(T<=t) dos colas (significancia)	0.100089921

Fuente: Elaboración propia.

Bajo las 03 observaciones presentadas en el análisis de datos de la presente relación: el 99,95% de la variación de PSI esta explicada por el Flujo. Para las 03 observaciones y

01 variable independiente: “flujo”; el análisis de regresión para el R^2 corregido y/o ajustado varía en 0,0005, ya que al ser alto el valor de R^2 (cercano a 1), la operación de corrección tiende a no variar. Para el error típico se tiene que: existe un 0,0031 de variabilidad del “PSI” que no es representada por la recta de regresión dada, siendo una correlación no significativa ($0.100 > 0.05$), respecto a las observaciones obtenidas.

C. RELACIÓN PSI – % DE COMPACTACIÓN

Tabla 38 Coeficientes de correlación múltiple y de determinación entre el PSI y % de Compactación.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0.932355819
Coeficiente de determinación R^2	0.869287374
R^2 ajustado	0.738574748
Error típico	0.051129762
Observaciones	3
P($T \leq t$) dos colas (significancia)	0.000015406

Fuente: Elaboración propia.

Bajo las 03 observaciones presentadas en el análisis de datos de la presente relación: el 86,93% de la variación de PSI esta explicada por el % de Compactación. Para las 03 observaciones y 01 variable independiente: “% de Compactación”; el análisis de regresión para el R^2 corregido y/o ajustado varía del 0.8693 al 0.7386. Para el error típico se tiene que: existe un 0.0511 de variabilidad del “PSI” que no es representada por la recta de regresión dada, siendo una correlación significativa ($0.000 < 0.05$), respecto a las observaciones obtenidas.

D. RELACIÓN PSI – % DE CONTENIDO DE ASFALTO

Tabla 39. Coeficientes de correlación múltiple y de determinación entre el PSI y % de Contenido de Asfalto.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0.97986371
Coeficiente de determinación R^2	0.96013289
R^2 ajustado	0.920265781
Error típico	0.028237248

Observaciones	3
P(T<=t) dos colas (significancia)	0.001742548

Fuente: Elaboración propia

Bajo las 03 observaciones presentadas en el análisis de datos de la presente relación: el 96,01% de la variación de PSI esta explicada por el % de Contenido de Asfalto. Para las 03 observaciones y 01 variable independiente: “% de Contenido de Asfalto”; el análisis de regresión para el R^2 corregido y/o ajustado varía del 0,9601 al 0.9203. Para el error típico se tiene que: existe un 0.0282 de variabilidad del “PSI” que no es representada por la recta de regresión dada, siendo una correlación significativa ($0.002 < 0.05$), respecto a las observaciones obtenidas.

E. RELACIÓN PSI – FILLER/ASFALTO

Tabla 40. Coeficientes de correlación múltiple y de determinación entre el PSI y Proporción Filler/Asfalto.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.960257882
Coefficiente de determinación R^2	0.922095199
R^2 ajustado	0.844190398
Error típico	0.039472725
Observaciones	3
P(T<=t) dos colas (significancia)	0.000040108

Fuente: Elaboración propia

Bajo las 03 observaciones presentadas en el análisis de datos de la presente relación: el 92,21% de la variación de PSI esta explicada por la Relación Filler/Asfalto. Para las 03 observaciones y 01 variable independiente: “Relación Filler/Asfalto”; el análisis de regresión para el R^2 corregido y/o ajustado varía del 0,9221 al 0.8442. Para el error típico se tiene que: existe un 0.0394 de variabilidad del “PSI” que no es representada por la recta de regresión dada, siendo una correlación significativa ($0.000 < 0.05$), respecto a las observaciones obtenidas.

3.6.5.2. Relación entre PCI e Indicadores de Calidad de Mezcla Asfáltica

Tabla 41. Matriz de correlación simple (Rij) PCI – Mezcla Asfáltica.

	PCI	ESTABILIDAD	FLUJO	% COMP.	% CONT. ASF.	FILLER/ASF.
PCI	1					
ESTABILIDAD	0.9711712	1				
FLUJO	-0.99992712	-0.96822236	1			
% COMP.	0.92864614	0.9903066	-0.92409969	1		
% CONT. ASF.	-0.98183577	-0.90830153	0.9840549	-0.84139344	1	
FILLER/ASF.	0.96303562	0.87105822	-0.96621764	0.79439047	-0.99665191	1

Nota: Existe alta correlación entre el PCI y los parámetros de calidad de la mezcla asfáltica. Elaboración propia.

A. RELACIÓN PCI - ESTABILIDAD

Tabla 42. Coeficientes de correlación múltiple y de determinación entre el PCI y Estabilidad.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.9711712
Coefficiente de determinación R ²	0.9431735
R ² ajustado	0.88634699
Error típico	4.80427222
Observaciones	3
P(T<=t) dos colas (significancia)	0.00087114

Fuente: Elaboración propia

Bajo las 03 observaciones presentadas en el análisis de datos de la presente relación: el 94,32% de la variación de PCI esta explicada por la Estabilidad. Para las 03 observaciones y 01 variable independiente: “estabilidad”; el análisis de regresión para el R² corregido y/o ajustado varía del 0,9432 al 0,8863. Para el error típico se tiene que: existe un 4.8043 de variabilidad del “PCI” que no es representada por la recta de regresión dada, siendo una correlación significativa ($0.001 < 0.05$), respecto a las observaciones obtenidas.

B. RELACIÓN PCI – FLUJO

Tabla 43. Coeficientes de correlación múltiple y de determinación entre el PCI y Flujo

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.99992712
Coefficiente de determinación R ²	0.99985424
R ² ajustado	0.99970847

Error típico	0.24331881
Observaciones	3
P(T<=t) dos colas (significancia)	0.01177365

Fuente: Elaboración propia

Bajo las 03 observaciones presentadas en el análisis de datos de la presente relación: el 99,99% de la variación de PCI esta explicada por el Flujo. Para las 03 observaciones y 01 variable independiente: “flujo”; el análisis de regresión para el R^2 corregido y/o ajustado varía en 0,0001, ya que al ser alto el valor de R^2 (cercano a 1), la operación de corrección tiende a no variar. Para el error típico se tiene que: existe un 0,2433 de variabilidad del “PCI” que no es representada por la recta de regresión dada, siendo una correlación significativa ($0.012 < 0.05$), respecto a las observaciones obtenidas.

C. RELACIÓN PCI – % DE COMPACTACIÓN

Tabla 44. Coeficientes de correlación múltiple y de determinación entre el PCI y % de Compactación.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.92864614
Coefficiente de determinación R^2	0.86238366
R^2 ajustado	0.72476731
Error típico	7.47630736
Observaciones	3
P(T<=t) dos colas (significancia)	0.19585071

Fuente: Elaboración propia

Bajo las 03 observaciones presentadas en el análisis de datos de la presente relación: el 86,24% de la variación de PCI esta explicada por el % de Compactación. Para las 03 observaciones y 01 variable independiente: “% de Compactación”; el análisis de regresión para el R^2 corregido y/o ajustado varía del 0.8624 al 0.7248. Para el error típico se tiene que: existe un 7.4763 de variabilidad del “PCI” que no es representada por la recta de regresión dada, siendo una correlación no significativa ($0.196 > 0.05$), respecto a las observaciones obtenidas.

D. RELACIÓN PCI – % DE CONTENIDO DE ASFALTO**Tabla 45. Coeficientes de correlación múltiple y de determinación entre el PCI y % de contenido de asfalto.**

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.98183577
Coefficiente de determinación R ²	0.96400148
R ² ajustado	0.92800295
Error típico	3.82379404
Observaciones	3
P(T<=t) dos colas (significancia)	0.01263306

Nota: Elaboración propia

Bajo las 03 observaciones presentadas en el análisis de datos de la presente relación: el 96,40% de la variación de PCI esta explicada por el % de Contenido de Asfalto. Para las 03 observaciones y 01 variable independiente: “% de Contenido de Asfalto”; el análisis de regresión para el R² corregido y/o ajustado varía del 0,9640 al 0.9280. Para el error típico se tiene que: existe un 3.8237 de variabilidad del “PCI” que no es representada por la recta de regresión dada, siendo una correlación significativa (0.013<0.05), respecto a las observaciones obtenidas.

E. RELACIÓN PCI – FILLER/ASFALTO**Tabla 46. Coeficientes de correlación múltiple y de determinación entre el PCI y Proporción Filler/Asfalto.**

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.96303562
Coefficiente de determinación R ²	0.9274376
R ² ajustado	0.8548752
Error típico	5.42885149
Observaciones	3
P(T<=t) dos colas (significancia)	0.01023440

Nota: Elaboración propia

Bajo las 03 observaciones presentadas en el análisis de datos de la presente relación: el 92,74% de la variación de PCI esta explicada por la Relación Filler/Asfalto. Para las 03 observaciones y 01 variable independiente: “Relación Filler/Asfalto”; el análisis de

regresión para el R^2 corregido y/o ajustado varía del 0,9274 al 0.8549. Para el error típico se tiene que: existe un 5.4289 de variabilidad del “PCI” que no es representada por la recta de regresión dada, siendo una correlación significativa ($0.010 < 0.05$), respecto a las observaciones obtenidas.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 47. Resultados promedios y/o característicos de serviciabilidad por sección.

SERVICIABILIDAD				
RESULT. ÓPTIMO	PSI óptimo =	3.8	PCI óptimo =	100
SECC.	Método 1: PSI		Método 2: PCI	
I	IRI car.=	1.78	PCI prom=	72.1
	PSI prom.=	3.74	Condición=	MUY BUENO
II	IRI car.=	1.65	PCI prom=	84.13
	PSI prom.=	3.77	Condición=	MUY BUENO
III	IRI car.=	1.59	PCI prom=	76.29
	PSI prom.=	3.75	Condición=	MUY BUENO

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48. Resultados de serviciabilidad por unidad muestral de de modelo de correlación.

SERVICIABILIDAD					
RESULT. ÓPTIMO	PSI óptimo =	3.8	PCI óptimo =	100	
KM	Método 1: PSI		KM	Método 2: PCI	
00+000 - 00+400	PSI muestral =	3.6	00+000 - 00+050	PCI muestral =	66.5
10+400 - 10+800	PSI muestral =	3.8	10+500 - 10+550	PCI muestral =	95.0
16+200 - 16+600	PSI muestral =	3.7	16+150 - 16+200	PCI muestral =	81.0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 49. Resultados de indicadores de calidad de mezcla ásfaltica por unidad muestral de modelo de correlación.

CALIDAD MEZCLA ASFALTICA	
Estabilidad (kg)	: >815
Flujo	: 2 - 4
% de compactación	: 97
% Contenido de Asfalto	: 6.89 - 7.31
Relación Filler/Contenido de Asfalto	: 0.6 - 1.3
(Indicador Evaluado)	
Estabilidad (kg)	: 688
Flujo	: 4.57
% de compactación	: 95.32
% Contenido de Asfalto	: 7.65
Relación Filler/Contenido de Asfalto	: 0.457
Estabilidad (kg)	: 779
Flujo	: 4.05
% de compactación	: 96.66
% Contenido de Asfalto	: 7.31
Relación Filler/Contenido de Asfalto	: 0.602
Estabilidad (kg)	: 715
Flujo	: 4.30
% de compactación	: 95.54
% Contenido de Asfalto	: 7.42
Relación Filler/Contenido de Asfalto	: 0.566

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 50. Resumen de grados de correlación, indicadores de calidad de mezcla asfaltica vs métodos de serviciabilidad.

	ESTABILIDAD	FLUJO	% COMP.	% CONT. ASF.	FILLER/ASF.
<i>Coficiente de correlación múltiple</i>	0.9711712	-0.999927116	0.92864614	-0.98183577	0.96303562
PCI <i>Coficiente de determinación R² ajustado</i>	0.88634699	0.9997085	0.72476731	0.92800295	0.8548752
<i>Coficiente de correlación múltiple</i>	0.97353583	-0.999753543	0.93235582	-0.97986371	0.96025788
PSI <i>Coficiente de determinación R² ajustado</i>	0.89554403	0.999014293	0.73857475	0.92026578	0.8441904

Fuente: Elaboración propia.

A. ESTABILIDAD – SERVICIABILIDAD:

- Analizando la Tabla 50, observamos que el indicador estabilidad obtuvo una correlación positiva (directa) y alta (0.971 de correlación múltiple y 0.886 de correlación de determinación R² ajustado) con el índice de condición de pavimento

(PCI). Y una correlación positiva (directa) y alta (0.974 de correlación múltiple y 0.896 de correlación de determinación R^2 ajustado) con el índice de serviciabilidad del pavimento (PSI).

- La correlación directa existente entre la Estabilidad y los valores PCI y PSI, muestran que a menor Estabilidad – menor serviciabilidad (mayor presencia de deformaciones: ahuellamiento y corrugaciones en la evaluación actual).
- Por otro lado, los valores de estabilidad para las 3 secciones, a un 1.5 años de servicio no pasan el parámetro mínimo establecido.
- Correlación significativa entre PSI y Estabilidad ($0.001 < 0.05$), y correlación significativa entre PCI y Estabilidad ($0.001 < 0.05$)

B. FLUJO - SERVICIABILIDAD:

- Analizando la Tabla 50, observamos que el indicador flujo obtuvo una correlación negativa (indirecta) y alta (-0.999 de correlación múltiple y 0.999 de correlación de determinación R^2 ajustado) con el índice de condición de pavimento (PCI). Y una correlación negativa (indirecta) y alta (-0.999 de correlación múltiple y 0.999 de correlación de determinación R^2 ajustado) con el índice de serviciabilidad del pavimento (PSI).
- Los valores de flujo esta parametrizados tanto con un margen inferior como superior, donde la teoría aduce que infringido uno de estos márgenes podría ser causa de falla (relación directa con la serviciabilidad). Sin embargo, los valores hallados para la presente solo tienden a sobrepasar el margen superior; en tal para nuestra investigación se tiene una correlación indirecta para el Flujo y los valores PCI y PSI, mostrándose que: a mayor flujo – menor serviciabilidad (mayor presencia de deformaciones: ahuellamiento y corrugaciones).

- Por otro lado, los valores de flujo para las 3 secciones, a un 1.5 años de servicio no están dentro del rango establecido.
- Correlación significativa entre PSI y Estabilidad ($0.001 < 0.05$), y correlación significativa entre PCI y Estabilidad ($0.012 < 0.05$)

C. GRADO DE COMPACTACIÓN - SERVICIABILIDAD:

- Analizando la Tabla 50, observamos que el indicador grado de compactación obtuvo una correlación positiva (directa) y alta (0.929 de correlación múltiple y 0.725 de correlación de determinación R^2 ajustado) con el índice de condición de pavimento (PCI). Y una correlación positiva (directa) y alta (0.932 de correlación múltiple y 0.739 de correlación de determinación R^2 ajustado) con el índice de serviciabilidad del pavimento (PSI).
- La correlación directa existente entre el grado de compactación y los valores PCI y PSI, muestran que a menor grado de compactación – menor serviciabilidad (mayor presencia de deformaciones: ahuellamiento y corrugaciones en la evaluación actual).
- Por otro lado: la sección II a 1.5 años de servicio cumple con el grado de compactación mínimo establecido; en cambio las secciones I y III están por debajo del límite, sin embargo, la diferencia es mínima.
- Correlación significativa entre PSI y Estabilidad ($0.000 < 0.05$), y correlación no significativa entre PCI y Estabilidad ($0.196 > 0.05$)

D. CONTENIDO DE ASFALTO - SERVICIABILIDAD:

- Analizando la Tabla 50, observamos que el indicador contenido de asfalto obtuvo una correlación negativa (indirecta) y alta (-0.982 de correlación múltiple y 0.928 de correlación de determinación R^2 ajustado) con el índice de condición de pavimento (PCI). Y una correlación negativa (indirecta) y alta (0.980 de correlación múltiple y

0.920 de correlación de determinación R^2 ajustado) con el índice de serviciabilidad del pavimento (PSI).

- La correlación indirecta existente entre el contenido de asfalto y los valores PCI y PSI, muestran que a mayor contenido de asfalto – menor serviciabilidad (mayor presencia de deformaciones: ahuellamiento y corrugaciones en la evaluación actual).
- Por otro lado: las secciones I y III tienen un valor mayor al margen máximo establecido; mientras que la sección II tiene un valor dentro del rango establecido, sin embargo, es el margen tope máximo del rango.
- Correlación significativa entre PSI y Estabilidad ($0.001 < 0.05$), y correlación significativa entre PCI y Estabilidad ($0.013 < 0.05$)

E. RELACIÓN FILLER/CONTENIDO DE ASFALTO - SERVICIABILIDAD

- Analizando la Tabla 50, observamos que el indicador filler/asfalto obtuvo una correlación positiva (directa) y alta (0.963 de correlación múltiple y 0.855 de correlación de determinación R^2 ajustado) con el índice de condición de pavimento (PCI). Y una correlación positiva (directa) y alta (-0.960 de correlación múltiple y 0.844 de correlación de determinación R^2 ajustado) con el índice de serviciabilidad del pavimento (PSI).
- Los valores de proporción filler/asfalto están parametrizados tanto con un margen inferior como superior, donde la teoría aduce que infringido uno de estos márgenes podría ser causa de falla (relación directa con la serviciabilidad). Sin embargo, los valores hallados para la presente solo tienden a sobrepasar el margen inferior; en tal para nuestra investigación se tiene una correlación directa para la proporción filler/asfalto y los valores PCI y PSI, mostrándose que: a menor proporción

filler/asfalto – menor serviciabilidad (mayor presencia de deformaciones: ahuellamiento y corrugaciones).

- Las secciones I y III tienen un valor menor al margen mínimo establecido; mientras que la sección II tiene un valor dentro del rango establecido, sin embargo, es el margen tope mínimo del rango.
- Correlación significativa entre PSI y Estabilidad ($0.000 < 0.05$), y correlación significativa entre PCI y Estabilidad ($0.010 < 0.05$).

CAPÍTULO V

V. CONCLUSIONES

- En la presente tras la evaluación de fallas y niveles de severidad, se concluye que la Carretera Desvío Yocara Cabana a 1.5 años de servicio cuenta con fallas, siendo estas: ahuellamiento y corrugación, clasificadas por el nivel de severidad presentado, como fallas superficiales.
- Se relacionó los resultados de los valores indicadores de la mezcla asfáltica (estabilidad, flujo, grado de compactación, contenido de asfalto, relación filler/contenido de asfalto) con los valores del Índice de Condición del Pavimento (PCI) promedio de cada sección (considerándose al método PCI óptimo para la determinación de serviciabilidad). Donde se concluye que si existe relación entre los indicadores de calidad de mezcla asfáltica evaluados y el valor PCI. Así mismo se afirma la hipótesis específica 02, con una muestra simbólica de 03 observaciones considerándose 04 relaciones /05 relaciones significativas: PCI-Estabilidad, PCI-Flujo, PCI-Contenido de asfalto, PCI-Relación filler/contenido de asfalto, teniéndose que los tramos con parámetros de mezcla asfáltica fuera de los márgenes establecidos presentan mayor reducción de PCI en la carretera Desvío Yocaró -Cabana.
- Se relacionó los resultados de los valores indicadores de la mezcla asfáltica (estabilidad, flujo, grado de compactación, contenido de asfalto, relación filler/contenido de asfalto) con los valores del Índice de Serviabilidad Presente (PSI) promedio de cada sección. Concluyéndose que, si existe relación entre los indicadores de calidad de mezcla asfáltica evaluados y el valor PSI. Así mismo se afirma la hipótesis específica 03, con una muestra simbólica de 03 observaciones considerándose 04 relaciones /05 relaciones significativas: PSI-Estabilidad, PSI-

Grado de compactación, PSI-Contenido de asfalto, PSI-Relación filler/contenido de asfalto, ya que los tramos con parámetros de mezcla asfáltica fuera de los márgenes establecidos en el seccionamiento de la carretera Desvío Yocará -Cabana, presentan valores PSI aceptables.

- Al evaluarse ambos métodos de serviciabilidad: PCI y PSI; se tiene que la variación de condición de serviciabilidad en un periodo de 1.5 años de puesta a servicio es: para según el método PCI de condición óptima - Excelente (100) a condición muy buena en las 3 secciones con valores PCI de 72.1, 84.13 y 76.29, en las secciones I, II y III respectivamente; y según el método PSI de condición óptima – Muy Buena (4.0) a condición buena en las 3 secciones con valores PSI de 3.6, 3.8 y 3.7, en las secciones I, II y III respectivamente
- En el inventario de condición se registró acumulación de pequeñas pero permanentes deformaciones plásticas constantes (ahuellamiento y corrugación), clasificándose por los niveles de severidad mínimos presentados como fallas superficiales, (valores de severidad por debajo de la marca establecida para deformaciones por causa estructural). Por tal para el presente se descarta causales estructurales. Teniéndose como indicador inicial de reducción de serviciabilidad a las deformaciones encontradas se evaluó las causas de las fallas presentadas a corto plazo: Primero: Los valores de contenido de asfalto se encuentran, e incluso sobrepasan el tope máximo establecido en el diseño de mezcla, considerándose la proporción de cemento asfáltico en exceso en la producción real de mezcla, se concluye a este como un indicador de susceptibilidad a deformaciones plásticas en la carpeta asfáltica. Así mismo se verifica una baja relación polvo / asfalto; teniéndose bajo filler y alto contenido de cemento asfáltico, se corrobora la mezcla asfáltica como una mezcla con alta plasticidad. Segundo: Tras el ensayo de verificación Marshall obteniéndose para las 3 secciones

estabilidades por debajo de los parámetros establecido (mezcla asfáltica débil); se concluye a la carpeta asfáltica insuficiente de estabilidad; Así mismo al generarse relación entre el Grado de compactación y la estabilidad, se corrobora que a menor grado de compactación se produce una reducción en la estabilidad y por tal se ratifica a la mezcla asfáltica como insuficiente. Por otro lado, los valores de flujo para las 3 secciones se encuentran sobre el rango superior del establecido, coincidiendo que valores altos de flujo indican una mezcla plástica. Finalmente, bajo grado de compactación, ineficiente estabilidad y alto valor de flujo, ratifican alta plasticidad, concluyéndose como causales de susceptibilidad de la mezcla a deformaciones.

Tercero: Se descarta el causal por falla en el tipo de asfaltos, ya que para la ejecución de la carrea se usó el asfalto de PEN 120-150 (establecido para altas temperaturas).

Cuarto: Al existir variaciones en el comportamiento por secciones, y sin embargo gradientes de temperatura uniforme en todo el tramo, no se considera como indicador directo causal.

Quinto: Se descarta deficiencia en la conservación vial ya que si bien es cierto se requiere mantenimiento preventivo y/o rutinario a nivel de obras de complementarias, señalización y aspectos secundarios, el periodo de servicio mínimo de la carretera desvió Yocara Cabana no amerita labores de mantenimiento en calzada.

Sexto: Tras el conteo vehicular, para la verificación de IMD establecido para el diseño de pavimento, se corrobora que el flujo vehicular fluctúa cercano al de diseño, concluyéndose que el tránsito no es un indicador de la presencia de fallas. Así mismo al existir bajo tránsito y encontrarse dentro del margen de vehículos establecidos inicialmente se descarta un infra diseño estructural, ya que se considera a los espesores de pavimento suficientes para las repeticiones de carga soportadas.

CAPÍTULO VI

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda incluir dentro del control de calidad post construcción en carreteras un modelo de evaluación; primero para calificar la calidad constructiva del pavimento, y segundo para tener un inventariado de condiciones para el seguimiento del comportamiento futuro.
- Se recomienda darle continuidad al presente proyecto de evaluación para la obtención de mayores datos de serviciabilidad respecto a los años de servicio, para una proyección futura de curva de ciclo de vía. Y usar esta como modelo de comportamiento para vías similares dentro de la zona.
- Se recomienda hacer evaluaciones similares en otras vías en nuestra región para alimentar la base de datos del comportamiento en la zona.
- Se recomienda que en las evaluaciones de serviciabilidad no solo se usen métodos mecánicos como la medición de rugosidad, sino se incluyan también métodos detallados de medición de fallas, sugiriéndose al método PCI.
- Se recomienda realizar evaluaciones continuas de serviciabilidad, para una planificación de mantenimiento de vías en nuestra región, para un buen orden de prioridad, así como una intervención a tiempo y adecuada según las fallas presentadas; y así asegurar el periodo de diseño de la vía.
- De presentarse fallas de tipo estructural, se recomienda realizar evaluaciones a todas las capas de la estructura del pavimento, se sugiere evaluación de muestras obtenidas en calicatas y/o el ensayo de CBR In situ.

CAPÍTULO VII

VII. REFERENCIAS

- American Association of State and Transportation Highway Officials (1993). Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimentos. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/126459232/Guia-AASHTO-93-version-en-espanol>
- Arapa y Almonte, J. (2008). *Dimensionamiento estructural de Pavimentos flexibles en la ciudad de Puno con la metodología racional*. (Tesis Pregrado). Universidad Nacional del Altiplano. Perú.
- Armijos, C. (2009). Evaluación superficial de algunas calles de la ciudad de Loja. (Tesis Pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador.
- Asphalt Institute (1982). *Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente*. Estados Unidos de América. Recuperado de: <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/66112307-MS-22-Principios-de-Construccion-de-Pavimentos-de-Mezcla-Asfalticas.pdf>
- Auccahuaqui, I y Corahua, R (2016). *Evaluación del sistema de pavimentos flexibles en la prolongación de la Av. La Cultura tramo (4to paradero de San Sebastián – grifo MOBIL de San Jerónimo*. (Tesis Pregrado). Universidad Andina de Cusco, Perú.
- Chang, C. (2012). *Evaluación, Diseño Mecánico-Empírico, Gestión Pavimentos: Un Enfoque Integral*. Perú: Fondo Editorial ICG.
- Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica (2002). Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles. Recuperado de: <http://dircaibea.org/sites/all/themes/dircaibea/images/voll1.pdf>

- Consorcio San Antonio (2016) Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente N° 01.
- Departamento de Sociología IV (2012). *SPSS 10 Guía para el Análisis de Datos*. España:
Editorial Universidad Complutense de Madrid.
- Hernandez, R., Fernandez, C. y Baptista M. (2010). *Metodología de la Investigación*.
México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hidalgo, J (2006) Evaluación del Sistema de Gestión de Pavimentos. (Tesis Pregrado).
Universidad Peruana De Ciencias Aplicadas, Perú.
- Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (2010). *Deterioros prematuros de la mezcla asfáltica en la Concesión de la Carretera San José-Caldera*. Recuperado de: <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/gestion%20red%20vial/informes-UGRVN/RUTA%2027/2010/INF-PITRA-003-2010.pdf>
- Medina, A. y De la Cruz, M. (2015). *Evaluación superficial del pavimento flexible del Jr. José Gálvez del distrito de Lince aplicando el método del PCI* (Tesis Pregrado).
Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú.
- Minaya, S. y Ordoñez, A. (2006). *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos*. Lima, Perú.
Recuperado de: <https://es.slideshare.net/JulioCsarPuicnSegura/diseo-moderno-de-pavimentos-asfalticos>.
- Morillas, A. (2007). *Muestreo en Poblaciones Finitas*.
Recuperado de: [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Apuntes_Muestreo%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Apuntes_Muestreo%20(1).pdf)
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (2016) *Identificación de Fallas en Pavimentos y Técnicas de Reparación (Catálogo de Fallas)*. República

Dominicana. Recuperado de: <http://mopc.gob.do/media/2335/sistema-identifici%C3%B3n-fallas.pdf>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2017). *Manual de ensayos de Materiales*. (3ra actualización). Perú.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). *Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción*, Perú.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014). *Manual de Carreteras: Mantenimiento y Conservación Vial*. Perú.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos - Sección Suelos y Pavimentos*. Perú.

Montejo, A (2006). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Bogota D.C., Colombia: Universidad Católica de Colombia Ediciones y Publicaciones.

Padilla, Alejandro (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista*. (Tesis). Universidad Politécnica de Cataluña. España.
<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3334>

Sachún, J. (2016). *Estudio del Índice De Rugosidad Internacional de la Panamericana Norte - Zona Trujillo, para su Mantenimiento*. (Tesis Posgrado). Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú.

Vásquez, R. (2002) *Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras*. Recuperado de:
<https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-pci1.pdf>



ANEXOS