



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**“EVALUACIÓN ESTRUCTURAL Y PROPUESTA  
DE REHABILITACIÓN DE LA  
INFRAESTRUCTURA VIAL DE LA AV.  
FITZCARRALD, TRAMO CARRETERA POMALCA  
– AV. VICTOR RÁUL HAYA DE LA TORRE”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**Autores:**

**Bach. Hernández Salazar Gino Stalin**

**Bach. Torres Sono Juan Carlos Gregorio**

**Pimentel, Noviembre del 2016**

## INFORME DE INVESTIGACIÓN

“EVALUACIÓN ESTRUCTURAL Y PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DE  
LA INFRAESTRUCTURA VIAL DE LA AV. FITZCARRALD, TRAMO  
CARRETERA POMALCA – AV. VÍCTOR RAÚL HAYA DE LA TORRE”

Aprobación del informe de investigación

---

Mg. Chanduvi Calderón Roger Fernando

**Asesor Metodólogo**

---

Ing. Manuel Alejandro Borja Suarez

**Asesor Especialista**

---

Mg. Ing. Coronado Zulueta Omar

**Presidente del Jurado de tesis**

---

Ing. Noé Humberto Marín Bardales

**Secretario del Jurado de tesis**

---

Ing. Manuel Alejandro Borja Suarez

**Vocal del Jurado de tesis**

# DEDICATORIA

A Dios por ser el guía principal de mi vida, brindándome salud, trabajo, tranquilidad, seguridad y claridad en cada una de mis acciones, permitiéndome así alcanzar las metas trazadas hasta el día de hoy.

A mis padres José y María que con su amor infinito, incomparable esfuerzo y sus sabios consejos fueron los artífices principales de este gran logro personal.

A Danie, una persona inigualable forma parte de mi vida, quien con su amor verdadero, comprensión y aliento incansable motivaron a siempre creer que se puede lograr nuestros sueños y este es uno de ellos.

A mis hermanos Cesar, Iván, Ayda, Yohana, Diana y a mis tías Vilma y María quienes con su apoyo moral contribuyeron para hacer realidad mí segunda carrera Profesional.

**Gino Stalin**

A Dios, por haberme dado la oportunidad de concretar un logro más en mi vida, por los triunfos y situaciones difíciles experimentadas durante todo este tiempo, en las que me enseñaron muchísimo el valor de su presencia en mi vida.

A mi Madre Rosa, quien se convirtió en el sustento familiar, además de brindarme las fuerzas necesarias para seguir adelante y no flaquear en las dificultades que se presentaban. A mi Padre Hipólito, por el apoyo que me brindó en esta lucha.

A mi familia por ser incondicionales en este arduo caminar, por ellos soy lo que soy, en especial a mi tío Goyo, a mis hermanos Jesús y Junior.

**Juan Carlos**

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento al ingeniero Manuel Alejandro Borja Suarez por compartir sus conocimientos científicos y técnicos que permitieron la culminación de este informe final de investigación.

Al señor Técnico Wilson, encargado del laboratorio de materiales de la Universidad Señor de Sipán, quien con su apoyo constante y su amable atención contribuyeron en la realización del presente.

A mi maestros de la escuela profesional de ingeniería civil de la universidad señor de Sipán por compartir conocimientos, experiencias y sobre todo motivarme a seguir adelante para lograr mi meta de ser ingeniero civil.

**Gino Stalin**

Estaré eternamente agradecido con el ser todo Poderoso, que hizo realidad este sueño anhelado.

Mi gratitud también para el ingeniero Manuel A. Borja Suarez, por brindar sus conocimientos, las cuales asistieron para la culminación de esta investigación. A todas las personas que aportaron en esta investigación, al señor técnico Wilson, por el apoyo y atención durante el proceso de los ensayos en el laboratorio de mecánica de suelos y pavimentos. A los docentes de mi escuela profesional de ingeniería civil de la Universidad Señor de Sipán, a mis amigos y compañeros de estudios que formaron parte de todo este arduo caminar llamada, ingeniería civil.

**Juan Carlos**

# ÍNDICE

DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	xiv
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	ii
1.1 Situación problemática .....	17
1.1.1 A nivel internacional .....	17
1.1.2 A nivel nacional .....	19
1.1.3 A nivel local .....	20
1.2 Formulación del problema .....	21
1.3 Delimitación de la investigación .....	22
1.4 Justificación e importancia de la investigación .....	22
1.4.1. Técnica .....	22
1.4.2. Social .....	22
1.4.3. Económica .....	23
1.5 Limitaciones de la investigación .....	23
1.6    Objetivos de la investigación .....	23
1.6.1 Objetivo general .....	23
1.6.2 Objetivos específicos .....	23
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	17
2.1    Antecedentes de estudios .....	25
2.1.1 A nivel internacional .....	25
2.1.2 A nivel nacional .....	28
2.1.3 A nivel local .....	31
2.2 Estado del arte .....	32
2.3 Base teórica científicas .....	33
2.3.1. Teoría de pavimentos flexibles .....	33
2.3.2 Tráfico vial .....	35
2.3.3 Carreteras .....	38

2.3.4 Suelos .....	41
2.3.5 Ensayos a realizar.....	57
2.3.6 Pavimentos .....	69
2.3.7 Evaluación de pavimentos .....	88
2.3.8 Deterioros/fallas en pavimentos flexibles.....	93
2.3.9 Rehabilitación de pavimentos .....	109
2.3.10 Factores externos que afectan un pavimento .....	113
2.4 Definición de términos básicos.....	117
<b>CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>86</b>
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	121
3.1.1. Tipo de investigación.....	121
3.1.2. Diseño de la investigación.....	121
3.2. Población y muestra.....	121
3.2.1. Población.....	121
3.2.2. Muestra .....	122
3.3. Hipótesis .....	122
3.4. Variables .....	122
3.5. Operacionalización .....	123
3.6. Abordaje metodológico, técnicas e instrumentos de recolección de datos	126
3.6.1. Abordaje metodológico .....	126
3.6.2. Técnicas de recolección de datos.....	126
3.6.3. Instrumentos de recolección de datos .....	126
3.7. Procedimiento para la recolección de datos.....	126
3.7.1. Descripción del procedimiento .....	128
3.8. Análisis estadístico e interpretación de los datos.....	130
3.9. Principios éticos.....	130
3.9.1. Ética de recolección de datos: .....	130
3.9.2. Ética de publicación: .....	130
3.9.3. Ética de aplicación: .....	131
3.9.4. Código ético de la profesión:.....	131
3.10 Criterios de rigor científico.....	132

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	128
4.1. Resultados en tablas y figuras .....	135
4.2. Discusión de resultados .....	144
CAPÍTULO V: PROPUESTA DE INVESTIGACION .....	145
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	158
6.1. Conclusiones.....	159
6.2. Recomendaciones .....	161
REFERENCIAS .....	162
ANEXOS .....	159
Anexo 01: Estudio topográfico	
Anexo 02: Estudio de tráfico	
Anexo 03: Evaluación superficial	
Anexo 04: Ensayos de campo y laboratorio	
Anexo 05: Diseño de propuesta de rehabilitación	
Anexo 07: Metrados y presupuesto – propuesta de rehabilitación	
Anexo 08: Vistas Fotográficas	
Anexo 09: Planos	

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Factores de distribución direccional y de carril para determinar el tránsito en el carril de diseño.....	37
Tabla 2. Factores de crecimiento acumulado (Fca) para el cálculo de número de repeticiones de EE .....	39
Tabla 3. Número de calicatas para la exploración de suelos.....	43
Tabla 4. Número de Ensayos MR y CBR.....	45
Tabla 5. Clasificación de suelos según tamaño de partículas.....	47
Tabla 6. Clasificación de suelos según índice de Plasticidad. ....	49
Tabla 7. Clasificación de suelos según índice de grupo.....	50
Tabla 8. Categorías de sub rasante.....	52
Tabla 9. Correlación de tipos de suelos AASHTO – SUCS.....	56
Tabla 10. Clasificación de los suelos basada en AASHTO M145 y/o ASTM D-3282.....	57
Tabla 11. Carga Abrasiva.....	68

Tabla 12. Granulometría de la muestra de agregado para ensayo.....	69
Tabla 13. Requerimientos granulométricos para sub bases granulares....	71
Tabla 14. Requerimientos de CBR para bases granulares.....	71
Tabla 15. Requerimientos agregado grueso.....	72
Tabla 16. Requerimientos agregado fino .....	72
Tabla 17. Requerimientos granulométricos para sub bases granulares....	73
Tabla 18. Requerimientos de ensayos especiales.....	73
Tabla 19. Módulo resiliente obtenido por correlación con CBR.....	77
Tabla 20. Valores recomendados de nivel de confiabilidad para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de tráfico. ....	78
Tabla 21. Valores recomendados de nivel de confiabilidad para dos etapas de diseño de 10 años cada una según rango de tráfico.....	79
Tabla 22. Coeficiente estadística de la desviación estándar ( $Z_r$ ) para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según el nivel de confiabilidad seleccionado y el rango de tráfico.....	80
Tabla 23. Coeficiente estadística de la desviación estándar ( $Z_r$ ) para dos etapas de diseño de 10 años cada una según el nivel de confiabilidad seleccionado y el rango de tráfico.....	81
Tabla 24. Índice de serviciabilidad inicial ( $P_i$ ) según rango de tráfico.....	82
Tabla 25. Índice de serviciabilidad final ( $P_t$ ) según rango de tráfico.....	83
Tabla 26. Diferencia de serviciabilidad ( $\Delta PSI$ ) según rango de tráfico.....	84
Tabla 27. Coeficiente estructurales de las capas del pavimento $a_i$ .....	86
Tabla 28. Calidad del drenaje.....	87
Tabla 29. Valores recomendados del coeficiente de drenaje ( $m$ ) para bases y sub bases granulares no tratadas en pavimentos flexibles.....	88
Tabla 30. Definición de deflexión característica según tipo de carretera.....	89
Tabla 31. Tipos de condición según calificación de condición.....	92
Tabla 32. Selección del tipo de cemento asfáltico.....	113
Tabla 33. Operacionalización de variables.....	123
Tabla 34. Cuadro resumen de conteo por tipo de vehículo diario.....	131
Tabla 35. Características Geométricas Av. Fitzcarrald.....	131
Tabla 36. Cuadro resumen de fallas según la clasificación de condición y tipo de conservación.....	132
Tabla 37. Resumen de resultados de granulometría, contenido de humedad y límites de Atterberg. ....	133

Tabla 38. Resumen de resultados del ensayo de próctor modificado.....	134
Tabla 39. Resumen de resultados de equivalente de arena.....	134
Tabla 40. Resumen del ensayo de partículas chatas y alargadas de las tres calicatas .....	135
Tabla 41. Resumen del ensayo de abrasión “Los Ángeles” de las tres calicatas.....	135
Tabla 42. Resumen del ensayo de CBR para las tres calicatas.....	136
Tabla 43. Resumen de resultados de granulometría, contenido de humedad y límites de Atterberg. ....	136
Tabla 44. Resumen del ensayo de CBR para las tres calicatas de la Subrasante.....	137
Tabla 45. Evaluación Superficial Av. Fitzcarrald.....	139
Tabla 46. Registro de exploración – Ensayo de campo Av. Fitzcarrald.....	140
Tabla 47. Requerimientos agregado fino.....	141
Tabla 48. Requerimientos agregado grueso.....	142
Tabla 49. Requerimientos de Ensayo CBR para bases y sub bases.....	143
Tabla 50. Requerimientos de Ensayo CBR para sub rasante.....	143

### **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Correlaciones típicas entre clasificaciones y propiedades de los suelos con el módulo de resiliencia. ....	54
Figura 2. Clasificación de suelos metodología AASHTO.....	55
Figura 3. Clasificación de suelos metodología SUCS.....	55
Figura 4. Estructura típica de un pavimento flexible en una carretera.....	74
Figura 5. Procedimiento para determinar los espesores estructurales de las capas de un pavimento flexible .....	85
Figura 6. Gráfico de deflexiones admisibles en pavimentos.....	90
Figura 7. Tipo de conservación según clasificación de condición método VIZIR.....	92
Figura 8. Rango de evaluación para pavimentos metodología PCI.....	93
Figura 9. Piel de cocodrilo gravedad 1.....	95
Figura 10. Piel de cocodrilo gravedad 2.....	95
Figura 11. Piel de cocodrilo gravedad 3.....	95
Figura 12. Fisuras longitudinales gravedad 1.....	97
Figura 13. Fisuras longitudinales gravedad 2.....	97

Figura 14. Fisuras longitudinales gravedad 3.....	97
Figura 15. Deformación continua longitudinal gravedad 1.....	99
Figura 16. Deformación continua longitudinal gravedad 2.....	99
Figura 17. Deformación continua longitudinal gravedad 3.....	99
Figura 18. Deformación (3b hundimientos) gravedad 2.....	99
Figura 19. Deformación (3b hundimientos) gravedad 3.....	99
Figura 20. Ahuellamiento gravedad 1.....	101
Figura 21. Ahuellamiento gravedad 2.....	101
Figura 22. Reparación o bacheo gravedad 2.....	102
Figura 23. Reparación de piel de cocodrilo gravedad 2.....	103
Figura 24. Peladura y desprendimiento gravedad 1.....	104
Figura 25. Peladura y desprendimiento gravedad 2.....	104
Figura 26. Peladura y desprendimiento gravedad 3.....	105
Figura 27. Baches (huecos) gravedad 1.....	106
Figura 28. Baches (huecos) gravedad 2.....	106
Figura 29. Fisuras transversales gravedad 1.....	107
Figura 30. Fisuras transversales gravedad 3.....	107
Figura 31. Mapa de precipitación total multianual según Senamhi.....	115
Figura 32. Mapa de temperatura máxima promedio multianual según Senamhi.....	115
Figura 33. Mapa de temperatura mínima promedio multianual según Senamhi.....	115
Figura 34. Diseño de investigación.....	120
Figura 35. Procedimiento de recolección de datos.....	126

### **LISTA DE FÓRMULAS**

Ecuación 1. Tasa de crecimiento y proyección .....	38
Ecuación 2. Índice de Plasticidad. ....	49
Ecuación 3. Índice de Grupo. ....	49
Ecuación 4. Contenido de Humedad.....	51
Ecuación 5. Contenido de humedad.....	51
Ecuación 6. Volumen del orificio de prueba. Método cono de arena.....	59
Ecuación 7. Masa seca del material extraído del orificio de prueba.....	59
Ecuación 8. Densidad húmeda del material.....	59

Ecuación 9. Densidad seca del material.....	59
Ecuación 10. Peso unitario seco. Método densímetro Nuclear.....	60
Ecuación 11. Equivalente de arena.....	61
Ecuación 12. Método Próctor Modificado. Densidad húmeda del espécimen compactado.....	65
Ecuación 13. Método Próctor Modificado. Densidad seca del espécimen compactado.....	65
Ecuación 14. Método Próctor Modificado. Peso unitario seco .....	65
Ecuación 15. Método Próctor Modificado. Peso unitario seco .....	65
Ecuación 16. Método Próctor Modificado. Contenido de agua para una saturación completa.....	66
Ecuación 17. CBR. Humedad de compactación.....	67
Ecuación 18. CBR. Porcentaje de expansión.....	68
Ecuación 19. Abrasión Los Ángeles. Porcentaje de desgaste .....	69
Ecuación 20. Sales Solubles Totales. Porcentaje de sales solubles.....	70
Ecuación 21. Ecuación de diseño de estructura de pavimento flexible.....	76
Ecuación 22. Numero estructural propuesto (SNR).....	84
Ecuación 23. Deflexión admisible en mm (Comparación con viga Benkelman).....	90

## RESUMEN

El mal estado a de las carreteras nivel mundial obedece a una mala construcción principalmente, razón por la cual presentan fallas y/o deterioros en un corto plazo; obligando al mantenimientos de las unidades de transporte y de las vías en un tiempo menor al estimado.

Diversos estudios afirman que es necesario evaluar estructuralmente un pavimento para determinar las verdaderas causas de fallas y/o deterioros que se presentan en él, de tal manera que el método de rehabilitación sea el más adecuado técnica y económicamente.

El presente estudio se enfocó en realizar un estudio topográfico, de tráfico, una evaluación superficial y estructural del pavimento (ensayos de campo y laboratorio).

El tipo de investigación fue cuantitativo – cuasi experimental, se realizaron 03 exploraciones a cielo abierto a lo largo de la vía, además de utilizar guías de observación y entrevistas al equipo técnico de obras de la municipalidad provincial de Chiclayo para conocer los antecedentes de la construcción del tramo en estudio.

Se determinó que la infraestructura vial del tramo en estudio tiene una longitud de 1,255.76 m, IMDA de 6141 veh/día y que los materiales usados en la estructura del pavimento no cumplen con los requerimientos mínimos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, además de un nivel freático alto debido al aporte del canal Yortuque adyacente a la vía.

A partir de estos resultados, se propone la construcción de una nueva estructura del pavimento, acompañado de un drenaje subterráneo lateral como medidas de rehabilitación.

**Palabras clave:** Evaluación, Fallas y/o deterioros, Pavimento, Rehabilitación.

## ABSTRACT

The bad condition of the roads in the world obey to a bad construction mainly, Reason why they present failures and / or deterioration in a short term; obliging the is maintenance of transport units and paths in a shorter time than estimated.

Several studies affirm that it is necessary to evaluate a pavement structurally to determine the true causes of faults and / or deteriorations that are present in it, so that the rehabilitation method is the most adequate technically and economically.

The present study focused on performing a topographic, traffic, surface and structural evaluation of the pavement (field and laboratory tests).

The type of research was quantitative - quasi-experimental, 03 open - air explorations were carried out along the route, in addition to using observation guides and interviews to the technical team of works of the provincial municipality of Chiclayo to know the history of the construction of the section under study.

It was determined that the road infrastructure of the section under study is 1.+ 255.76 km long, IMDA 6141 veh / day and that the materials used in the pavement structure do not meet the minimum requirements of the Ministry of Transport and Communications, as well as a level High water table due to the input of the yortuque channel adjacent to the road.

From these results, it is proposed the construction of a new structure of the pavement, accompanied by a lateral underground drainage as rehabilitation measures

**Keywords:** Evaluation, Failure and / or deterioration, Pavement, Rehabilitation

## INTRODUCCIÓN

Los pavimentos flexibles sometidos al paso repetitivo de vehículos pesados, sufren deformaciones en la carpeta asfáltica principalmente, las cuales se transforman en esfuerzos de tracción, también se da el caso con frecuencia que los pavimentos son dañados desde el mismo proceso constructivo. En el diario electrónico El Mundo, 2013; nos brindó estadísticas acerca de una carretera en pésimas condiciones, ocasionando un elevado consumo de combustible de los vehículos en un 34% y disminuyendo en hasta un 25% su vida útil, información que asegura la Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (ASEFMA). Además confirma que el estado de la carretera afecta a la fluidez del tráfico para indicar que cada conductor español pierde 25 horas al año en atascos, lo que se traduce en un costo de unos 13,4 euros por hora en viajes de ocio y de más de 26,5 euros por hora en desplazamiento de viaje. Es por ello que es importante mantener una carretera en buen estado de conservación, de tal manera que brinde seguridad y comodidad al viajar.

Es por ello que la evaluación estructural realizada a la infraestructura vial existente en la Av. Fitzcarrald, tramo carretera Pomalca – Av. Víctor Raúl Haya de la Torre, permitió determinar una propuesta de rehabilitación técnica y económicamente viable, donde se realizó previamente un estudio topográfico, el tráfico que afecta la vía, una evaluación superficial que determinó la magnitud de las fallas y su tipo de conservación necesaria según metodología Vizir, por otro lado se procedió al registro exploratorio del pavimento existente a través de excavaciones a cielo abierto (calicatas) en un total de 03, llevando a cabo ensayos in situ, la toma de muestras de material de cada una de las capas que componen el pavimento, para posteriormente determinar sus características físicas y mecánicas contrastándolos con los requerimientos mínimos exigidos por las normativas del Ministerio de Transporte y Comunicaciones de nuestro país.

El interés de la presente investigación se basó en la necesidad de conocer las causas de las fallas/deterioros que posee la estructura existente del pavimento asfáltico del tramo en estudio a lo largo de los últimos 20 años, donde se realizó

actividades de mantenimiento rutinario y periódico por parte de la Municipalidad Provincial de Chiclayo sin resultados satisfactorios, es por ello la justificación del presente trabajo de investigación que servirá de información para que las entidades involucradas puedan intervenir económicamente en la solución de la problemática actual, permitiendo así un mejor tránsito, conservación vehicular, comodidad de la población usuaria que disfrutará de un mejor y placentero viaje.

El tramo de la infraestructura vial de la av. Fitzcarrald tramo carretera Pomalca – Av. Víctor Raúl Haya de la Torre tiene una longitud de 1,255.76 m y un ancho de calzada promedio de 8.50 m, cuenta con dos carriles en el mismo sentido, su IMDA es igual a 6141 veh/día, de los cuales el tráfico liviano representó el 91.44 %, mientras que el tráfico pesado un 8.56 %, de la evaluación superficial basado en la metodología Vizir del manual de conservación vial del Ministerio de transportes y comunicaciones (2014), el tipo de conservación requerida para los primeros 800 m es de rehabilitación completa y del tramo restante un mantenimiento periódico, por otro lado respecto a las calicatas realizadas se obtuvo como resultados de densidad menores al 95%, los espesores de las capas que conforman la estructura del pavimento difieren del expediente técnico, además de que no cumplen con los requerimientos mínimos exigidos por el manual del MTC, “Especificaciones técnicas para la construcción EG 2013”, sección 402 sub base granulares y 403 bases granulares, por otro lado de las se encontró un nivel freático alto debido al aporte del canal lateral Yortuque, esto debido a filtraciones en las juntas del mismo.

Este informe está dividido en VI capítulos, en las que mostraremos los requerimientos que se utilizaron en la infraestructura vial Av. Fitzcarrald, tramo en estudio, de acuerdo a la composición del pavimento, de tal manera que la evaluación sea completa, nos respaldaremos en los manuales de Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) publicados a la actualidad.

## **CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

## 1.1 Situación problemática

### 1.1.1 A nivel internacional

Si bien es cierto la deficiencia en construcción de carreteras no sólo existe en nuestro país, sino que también es un problema a nivel mundial y de acuerdo con algunas investigaciones realizadas en diarios internacionales encontramos la siguiente información:

“El mal estado de la red vial en Centroamérica es uno de los principales problemas para lograr la integración regional, afirmaron algunos empresarios y funcionarios en Panamá” (diario El Heraldó 2014, Párr. 1).

Santana (2014) asegura; “El crecimiento poblacional y del consumo hace que cada día se transporten más mercancías y personas. Las vías tienen que responder a esta demanda de transporte internacional y mundial que cada vez es mayor”. (Párr. 7). Lied (2014), viceministro de obras públicas de República Dominicana, comentó: “Cuando diseñamos la carretera debe tener buenos sistemas de drenaje, pero es muy probable que muchas veces no se utilicen los materiales adecuados”. (Párr. 10).

El diario internacional El Mundo (2013), nos brinda estadísticas acerca de una carretera en pésimas condiciones, ocasionando un elevado consumo de combustible en vehículos, sobre esto se afirma que:

En un 34% y disminuye en hasta un 25% su vida útil, información que asegura la Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (ASEFMA). Además confirma que el estado de la carretera afecta a la fluidez del tráfico para indicar que cada conductor español pierde 25 horas al año en atascos, lo que se traduce en un costo de unos 13,4 euros por hora en viajes de ocio y de más de 26,5 euros por hora en desplazamiento de viaje.

También señala que una carretera en mal estado supone un aumento de hasta un 34% de las emisiones de gases efecto invernadero, con sus consecuentes problemas medioambientales y riesgos para la salud. (Diario el Mundo. Párr. 1 a 3).

Fajardo (2015). Algunas de los países latinoamericanos con economías más exitosas en años recientes afrontan problemas notorios para mantener sus vías. Mientras que otras naciones con

recursos más limitados han conseguido mejores resultados a la hora de construir carreteras que les hagan la vida más fácil a sus ciudadanos y aumenten la productividad de sus empresas. (Diario BBC. Párr. 2 y 3).

Comenta también que tanto los datos del Foro Económico Mundial como los del Banco Mundial ubican a Haití como una nación con particulares retos en este campo. Los 4,266 kilómetros de carreteras construidas en esa nación contrastan con los 19,705 en la vecina República Dominicana, país con el doble de territorio pero que tiene casi cinco veces más vías construidas y que aparece en el quinto puesto del listado del Foro Económico Mundial en cuanto a la calidad de las carreteras en América Latina. Igualmente salen con bajo puntaje en el listado del Foro Mundial Paraguay y Colombia, en donde es notoria la insatisfacción de la población con sus carreteras. (Diario BBC. Párr. 13 a 15).

Por otro lado el Comercio (2016). En Cuba, tras medio siglo de embargo estadounidense constan, el restringido y envejecido parque automotor se limita a vehículos de la era Soviética, con más de 40 años que circulan sobre pistas totalmente destrozadas, esto es una mezcla que dejó 10 mil accidentes de tránsito con casi 690 fallecimientos hasta noviembre del 2015. Tampoco ayuda la ausencia de señales de tránsito deterioradas o robadas. Según datos oficiales, el 76% de la infraestructura vial del país está en regular o mal estado debido a la falta de recursos para su mantenimiento. (Párr. 19).

Estos aportes que se manifiestan párrafos arriba por medio de entrevistas formuladas a funcionarios y empresarios, publicados en diarios y a Asociaciones de rubros expertos en el tema de mezclas asfálticas, son interesantes para cualquier investigación en pavimentos ya que nos ilustra con estadísticas la problemática de la infraestructuras viales a nivel mundial, y los efectos colaterales que tienen en el país, tanto económicos como sociales, producidos por diferentes factores como: procesos constructivos inadecuados, uso de materiales impropios, parámetros especificados en el expediente técnico

desertados, requerimientos detallados en norma incorrectos, además de la falta de criterio. Recientemente en el mes de noviembre del año 2016 en Japón, el país más avanzado en cuanto a tecnología se refiere, sufrió un colapso en uno de sus pavimentos en una avenida de cinco carriles con un contexto turístico y comercial elevado; este hecho fue provocado por un colapso de su sistema de redes de alcantarillado, ocasionando un forado de 30 m de diámetro y 15 m de profundidad en toda la sección del pavimento. Pero la rápida intervención de las autoridades competentes lograron con su excelente eficiencia, rehabilitar el pavimento en un período de 48 horas. Hecho que por su puesto es resaltante y admirable para el país del sol naciente, pero muy alarmante para el Perú, por el mismo hecho de que no se ha visto el rápido accionar a nuestras autoridades para darle solución a ésta problemática que salta a la vista, en todo el país.

### **1.1.2 A nivel nacional**

El Correo (2015). [En un informe realizado por este diario en Perú, la vía directa entre Puno y Arequipa es a través de la carretera que se construyó por el distrito de Mañazo], “la cual ya luce deteriorada a poco de su inauguración, este proyecto que costó 28 millones de soles”.

Paxi (2015) “Producto de la mala ejecución de la obra, se acorta la vida útil de las unidades de transporte y obliga a mantenimientos mensuales, mientras que en una carretera en buen estado se hace trimestralmente” (Párr. 9).

Esto también ocasiona que el pasaje mínimo hasta el Distrito de Mañazo cueste cuatro soles y tome más de una hora; cuando en una carretera en mejor estado, el precio no superaría los tres soles y se tardaría 40 minutos de viaje. (Párr. 10).

De acuerdo a lo señalado por los pobladores el tramo más crítico es el que une Tiquillaca con Puno. En este tramo la carretera está en tan mal estado que los autos tienen que zigzaguear e incluso salirse de la pista, lo cual ocasiona un grave peligro para los pasajeros y transportistas, dicha situación se agrava luego de cada temporada de lluvias dijo un chofer que presta servicio a la zona. (El Correo, 2015. Párr. 11).

Castro (2016) autor del informe en el portal del turismo, en el pilar infraestructura de transporte, Perú ocupa el puesto 94 entre 140 países evaluados y es el undécimo en Latinoamérica, con un

puntaje de 3.1 (7.1 el mejor puntaje). Su punto más débil es la calidad del transporte ferroviario, que lo coloca en el puesto 94, y el más alto es la calidad del transporte aéreo, 82 en el mundo. En calidad de carreteras, Perú ocupa el puesto 111 de 140 países evaluados por el Foro Económico Mundial. [Panamá es el país latinoamericano mejor ubicado en el pilar de infraestructura en el puesto 30, seguido de México en el puesto 36 de 144 países. Ecuador y Chile siguen en la lista de los mejores ubicados en el ranking de infraestructura, en los puestos 42 y 45 respectivamente]. (Párr. 2 a 7).

Ser evaluados por el Foro Económico Mundial y ocupar los lugares más bajos, en cuanto a infraestructura vial se refiere, es quizá para algunos peruanos una situación preocupante, sin embargo no es imposible revertir esta realidad, es por eso que uno de los motivos en esta investigación es resaltar cuán importante es nuestra infraestructura vial para los aspectos económicos, sociales y ambientales; empezando a evaluar los pavimentos fallados que aún no se cumplen con su vida útil pero que ya fallaron, determinando las causas exactas para su rehabilitación y/o conservación.

### **1.1.3 A nivel local**

Borja (2011), [Integrante del Capítulo de Ingeniería Civil del Colegio de Ingenieros Consejo Departamental de Lambayeque, tomando en cuenta que la ciudad ha evolucionado aproximadamente ocho veces en los últimos 30 años, sin embargo la infraestructura pública, a cargo de la Municipalidad Provincial de Chiclayo, no se ha ajustado a la demanda urbana]. Refiere que:

En Chiclayo, ciudad que está en constante crecimiento y aún no termina de adecuar su infraestructura habitacional, se comete el grave error de emplear asfalto en caliente o concreto para pavimentar las calles, más aún porque deben tenerse en cuenta dos aspectos sencillos: la red de agua y alcantarillado no ha sido renovada en su totalidad y, cada vez, se construyen más edificios, razones que obligan a los constructores a perforar el pavimentos para instalar las nuevas conexiones.

Además agrega estar seguro que nadie ha estimado cuánto se gasta en parchar las calles de la ciudad. Sería interesante saber

eso, porque nos ayudaría a comprender el error en que se incurre constantemente al insistir en el pavimento con asfalto en caliente, frío o de concreto”. (Borja, 2011)

Sólo para tener una idea de cuántas perforaciones al pavimento se han registrado en los últimos años, el especialista indica por ejemplo, que en el 2009 se presentaron 435 solicitudes para la instalación de nuevas redes de agua y desagüe por la construcción de viviendas y establecimientos comerciales. Asimismo, en el 2010 se reportaron 387 solicitudes. En tal sentido, Manuel Borja recomienda el uso de adoquines de concreto como una buena alternativa para la pavimentación de calles, sobre todo en el casco urbano de la ciudad que se mantiene en constante cambio constructivo. (Borja, 2011. Párr. 20)

Si bien es cierto cuando hablamos de infraestructura vial en nuestro país, la memoria no nos falla y aseguramos que nos falta muchísimo por alcanzar la meta de obtener pavimentos en buen estado de conservación, el análisis realizado por el Ing. Manuel Borja nos describe perfectamente la problemática que existe en nuestra ciudad de Chiclayo y sus pavimentos totalmente deteriorados, además plantea un estructura desmontable (adoquines de concreto), para pavimentos urbanos siendo una excelente alternativa solución, ahora la incógnita es ¿cuál sería el comportamiento de este tipo de pavimento en curvas de carreteras donde transitan vehículos pesados?, además los mismos pasajeros aseguran que la circulación y el ruido producido por las juntas es dificultosa e incómoda. Un ejemplo de pavimento con adoquines que no logró objetivo previsto; se encuentra en Calle Leoncio Prado entre 7 de enero y Av. Sáenz Peña, en la cual se aprecia fallas como ondulaciones y hundimientos en el pavimento, que fueron provocados por el colapso del sistema de alcantarillado, y no por eso aseguramos que esta alternativa sea incorrecta, al contrario es una excelente solución pero se deben realizar los estudios correspondientes para lograr superar su vida útil.

## **1.2 Formulación del problema**

¿En qué medida la evaluación estructural de la Infraestructura Vial existente en la Av. Fitzcarrald, Tramo Carretera Pomalca – Av. Víctor Raúl Haya

de la Torre, nos permitirá determinar una posible propuesta de rehabilitación del tramo descrito?

### **1.3 Delimitación de la investigación**

Esta investigación se realizó en la Av. Fitzcarrald tramo carretera Pomalca – Av. Víctor Raúl Haya de la Torre, frente al Aeropuerto Internacional Capitán FAP José A. Quiñones o también llamado Aeropuerto de Chiclayo, ubicado en la provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque.

Se contó con la participación del Ing. Borja Suárez Manuel A., docente de la Universidad Señor de Sipán, presidente del capítulo de ingeniería civil – consejo departamental Lambayeque y asesor de la presente investigación, además de la presencia de ingenieros especialistas y trabajadores de la municipalidad provincial de Chiclayo, quienes como veedores corroboraron la realización de los estudios objeto de la presente investigación.

### **1.4 Justificación e importancia de la investigación**

#### **1.4.1. Técnica**

El interés de la presente investigación, se basa en la necesidad de conocer las posibles causas que dieron origen a las fallas/deterioros severas(os) que posee la estructura del pavimento asfáltico en la Av. Fitzcarrald, en función a una evaluación estructural. Una de las necesidades más apremiantes en las obras públicas, específicamente en la construcción de carreteras debería ser un buen estudio definitivo del proyecto a ejecutar y por supuesto el control de calidad antes, durante y después de su ejecución; logrando así cumplir su función y vida útil.

#### **1.4.2. Social**

En la actualidad el aumento del parque automotor, tanto de tránsito liviano y pesado sobre las vías, requieren de un estudio de tráfico que muchas veces no se realiza correctamente o en otros casos no se realiza, siendo este uno de los factores que ocasionan el rápido deterioro del pavimento. Es por eso que el confort que se debería tener en las carreteras no se cumple, debido a que los vehículos tienen que zigzaguear evitando así los desperfectos presentes en la mencionada vía, lo que causa una incomodidad en la población. Por consiguiente para un mejor y placentero viaje se debería realizar estas evaluaciones de forma rutinaria.

### **1.4.3. Económica**

Nos permitirá determinar el grado de deterioro de la vía, así como sus causas de origen, de tal manera que elaborar una propuesta de rehabilitación sea económicamente viable, además esta información será muy útil para la Municipalidad provincial de Chiclayo, Gobierno regional de Lambayeque, Ministerio de transportes y comunicaciones, etc.; entidades autorizadas para poder intervenir y solucionar al problema que viene presentándose a lo largo de los últimos 20 años.

### **1.5 Limitaciones de la investigación**

El permiso solicitado a la Municipalidad Provincial de Chiclayo (MPCH), para la realización de las actividades y ensayos de campo fue otorgado, pero algunos de los requerimientos no fueron aceptados tales como: brindar seguridad durante el levantamiento topográfico, y en la realización de los ensayos in situ, situación que exponía al peligro personal, de equipos y herramientas usadas, debido a la alta peligrosidad de la zona, como es el P.J. Mesones Muro.

### **1.6 Objetivos de la investigación**

#### **1.6.1 Objetivo general**

Analizar estructuralmente la infraestructura vial de la av. Fitzcarrald y a partir de ello proponer su rehabilitación.

#### **1.6.2 Objetivos específicos**

- a) Realizar el estudio topográfico de la infraestructura vial de la av. Fitzcarrald, tramo de estudio.
- b) Realizar el estudio de tráfico de la infraestructura vial de la av. Fitzcarrald, tramo de estudio.
- c) Evaluar superficialmente la infraestructura vial de la av. Fitzcarrald, tramo de estudio.
- d) Evaluar estructuralmente la infraestructura vial de la av. Fitzcarrald, tramo de estudio mediante ensayos in situ como en laboratorio y contrastar los resultados con el expediente técnico de ejecución de obra.
- e) Determinar la propuesta de rehabilitación de la infraestructura vial de la Av. Fitzcarrald, tramo de estudio y el costo que demandará.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

## **2.1 Antecedentes de estudios**

### **2.1.1 A nivel internacional**

Dentro de las investigaciones a nivel internacional proponen varios métodos de rehabilitación de un pavimento.

Según Rodríguez y Rodríguez, 2004 nos menciona que:

“Ha investigado sobre técnicas de mantenimiento de vías, que reduzca los costos de reconstrucción, mano de obra y equipo a usar, lo que ha traído consigo alternativas como la de extraer los materiales que conforman al pavimento y reutilizarlos”.

El objetivo principal de esta investigación fue aplicar una tecnología diferente a las que estamos acostumbrados para la reparación de pavimentos mediante el método del reciclaje, la cual consiste en reutilizar los materiales que conforman el pavimento deteriorado y/o fallado mezclándolos con otros productos. Esta técnica de rehabilitación se puede realizar mediante dos métodos: reciclado en frío y reciclado en caliente, ambos con procedimientos distintos de aplicación. Ambos autores concluyen que al rehabilitar una vía por este método, la compactación no presenta cambios en el proceso. Debe tenerse el mismo cuidado como si se tratara de una nueva carretera. La técnica del reciclado en frío es aplicable cuando el pavimento existente presenta daños que ya llegado a la base y se determina que es necesaria la restauración del pavimento. Siempre debe considerarse que cuando se trate de pavimentos muy viejos podría darse el caso que la base este conformada por material muy grande como piedra cuarta (macadán) entonces la técnica de reciclaje en frío no podría ser aplicable ya que a pesar de la potencia de la maquinaria utilizada en este proceso podría resultar muy difícil y antieconómico la actividad de fracturar materiales para obtener una granulometría que garantice un comportamiento satisfactorio en el producto terminado.

El reciclado de pavimentos en Perú, no es muy común pero se están aplicando en ciertos lugares de manera provisional, teniendo una vida útil de 8 años a la que normalmente se diseña para 20 años. En la investigación de Rodríguez y Rodríguez nos menciona párrafos arriba que este tipo de pavimento debe tenerse el mismo cuidado como si se tratara de una nueva carretera,

situación que no se cumple en nuestro país, por motivos de retraso en instalaciones básicas de suministro de agua potable y redes alcantarillado, según funcionarios permiten ahorrar dinero con respecto al asfalto tradicional.

En nuestra investigación en la que consiste evaluar estructuralmente una vía que se encuentra deteriorada en gran parte del tramo estudiado; siendo una alternativa para aplicar en la presente como una propuesta de rehabilitación acorde con la evaluación, cumpliendo con los requisitos del método, los cuales se están aplicando en otros países como Dinamarca, Suiza Países Bajos, El Salvador. Empezar a desarrollarla y a tenerla en cuenta en el Perú, sería un gran avance, en los ámbitos tecnológicos, económicos y sociales.

Existe además otras metodologías no destructivas para evaluar la capacidad de soporte de base y sub bases granulares de pavimentos flexible.

Osorio (2008). “El Deflectómetro de impacto (FWD) es un dispositivo montado en un tráiler que consiste en una masa que se eleva y se deja caer verticalmente sobre un plato de acero. El tráiler puede ser arrastrado por vehículos convencionales”. (Pág. 21)

“El Deflectómetro de Impacto Liviano ha sido utilizado ampliamente por varios autores sobre la evaluación de materiales in-situ, en laboratorio, en carreteras en servicio con pavimentos delgados y recientemente también se utilizó en construcciones de superficies destinadas al deporte”. (Pág. 26)

La finalidad de esta investigación radica en proponer una técnica para el uso del Deflectómetro de impacto liviano en la evaluación in situ de la capacidad de soporte de capas granulares de pavimentos flexibles. Para una mejora en pavimentos debería de incorporarse un método de control de capacidad estructural real de las capas granulares en el proceso de control de calidad, en la que durante la construcción del mismo, los materiales granulares se especifiquen según el valor de CBR y se controlan en terreno según valores de densidad alcanzados. (Osorio, 2008).

El presente estudio se enfocó en analizar las variables más importantes requeridas para definir la utilización del equipo como herramienta de control en terreno. Se analizaron las tensiones a las que se encuentran sometidas las capas granulares de un

pavimento flexible y se definieron las presiones adecuadas para evaluar cada capa. Estas presiones se utilizaron en las mediciones realizadas en esta investigación. Para un mismo plato de carga, resultó que la variación de las mediciones del LWD para distintas presiones es poco significativa. (Pág. 89).

Este método de evaluación puede ser aplicado para la obtención de las capacidades de soporte de las bases y sub bases granulares del pavimento de la vía en estudio, en la que se supone una falla en el estudio de tráfico, inadecuadas propiedades de los materiales, mal proceso constructivo, pero ésta evaluación sería como control de calidad, es decir durante la construcción.

En la tesis métodos de rehabilitación de pavimentos, nos menciona la importancia de las carreteras así como la evaluación estructural de la misma.

Marchan y Moreno (2005), en este trabajo le da énfasis a los pavimentos asfálticos o flexibles, ya que la mayoría de caminos que conforman la red nacional del país son de este tipo y además el periodo de diseño de un pavimento flexible es menor que el de un pavimento rígido y por tanto requiere mayor conservación y reconstrucción. De aquí se desprende la gran importancia que juega el buen estado que debe guardar las redes de carreteras del todo el país y principalmente la superficie de rodamiento, que después de todo es la que presta el servicio y está más en contacto con el usuario. Durante el desarrollo del mismo, se pretende darle una mayor difusión a estos sistemas debido a las grandes ventajas de aplicabilidad que ofrecen a nuestras vías de comunicación. (Pág. 12)

De manera clara y sencilla se explica en este trabajo el procedimiento de rehabilitación en pavimentos flexibles y rígidos aplicando pruebas mínimas necesarias de laboratorio, para conocer la calidad de los materiales que serán utilizados en terracerías, sub base y base. Las pruebas nos determinan las características de los materiales y elementos estructurales que se

emplean en las construcciones de carreteras. (Marchan y Moreno, 2005. Pág. 13)

A continuación los resultados y/o conclusiones que se presentó la investigación:

Para el correcto funcionamiento de la estructura de un camino, deberá tomarse en cuenta que en el intervienen la calidad y espesores de los materiales que constituyen el pavimento, la terracería y la superficie de apoyo, por lo que la estructura debe analizarse en forma integral. El drenaje superficial y el sub – drenaje, es uno de los factores que más influyen en el comportamiento de los pavimentos, ya que de no estar resuelto adecuadamente, la vida útil se reduce en forma considerable. La identificación de fallas es un concepto muy importante dentro de la evaluación y reconstrucción de caminos y consiste en definir el tipo y las causas que lo han producido, La selección del procedimiento constructivo de un pavimento flexible debe ser el que se estime como la mejor solución económica y técnica, La reconstrucción de caminos construidos con pavimentos flexibles puede hacerse por alguno de los siguientes procedimientos constructivos: riego de sello, renivelación; construcción de una carpeta nueva o de una sobre carpeta, reconstrucción a partir de las capas interiores; estabilización de capas de base y/o sub-base; revitalización o rejuvenecimiento del pavimento asfáltico y reciclado de pavimentos asfálticos. (Marchan y Moreno, 2005. Pág. 146)

La infraestructura vial a lo largo de su vida útil, se encuentra en constante deterioro por factores como cargas vehiculares, envejecimiento natural de los materiales, la misma intemperie, ocasionando un deterioro progresivo y a la vez provocando un descenso paulatino en cuanto a seguridad y confort que al sobrepasar ciertos valores hacen necesaria una operación de conservación.

### **2.1.2 A nivel nacional**

En la tesis “Diagnostico del estado situacional de la av. Argentina – Av. 24 de Junio por el método: Índice de condición de pavimento”, nos brinda

información sobre la teoría de evaluación de pavimentos, aplicando el método PCI.

Camposano y García (2012); el diseño y la ejecución de un pavimento no es suficiente para garantizar la calidad de vida de este, siendo muchas veces olvidado por los gobiernos locales y regionales, el mantenimiento y rehabilitación de un pavimento debe ser rutinario para la prolongación de su vida útil, para ello es necesario realizar un diagnóstico vial constante. Es por ello que basado en la teoría de evaluación de pavimentos, se realizó la investigación sobre el método PCI y su aplicación en el diagnóstico de la vía en estudio, el cual se basa en la inspección visual por unidades de muestreo del pavimento. (Pág. 6)

El objetivo del presente, fue realizar un diagnóstico visual para el tramo de la vía existente Av. 24 de Junio y Av. Argentina, haciendo uso del método PCI, de acuerdo a los requerimientos de la Norma ASTM 5340-98. Este método de evaluación de pavimento consiste en proporcionar una medición de las condiciones superficiales del mismo, basándose en las fallas observadas, el cual pretende saber las condiciones actuales de la estructura y la superficie de rodadura, además provee las necesidades y prioridades de reparación y mantenimiento. (Camposano y García, 2012).

Esta investigación obtuvo, “un total de 1663 fallas en todo el recorrido de la vía, y la falla que se presenta en mayor cantidad son las Grietas longitudinales y transversales con un número de 657 en total”. (Pág. 98)

“En base a los métodos de cálculo realizados (...), el cual nos dice que el diagnóstico del estado situacional de la vía en estudio es Regular debido a un PCI de 51”. (Pág. 105)

En su investigación concluyeron que el resultado de PCI de la vía y con su diagnóstico regular, podemos indicar que el pavimento se encuentra en condiciones de circulación normal, pero que perjudican el tránsito de los vehículos, y no brinda un adecuado confort a los mismos y a los conductores y pasajeros Según la categoría de mantenimiento sugerido según condición actual de las vías, para un índice de condición de pavimentos regular, se debe

de realizar un mantenimiento intensivo. (Camposano y García. Pág. 106)

En la tesis “Análisis del estado de conservación del pavimento flexibles de la vía de evitamiento norte, utilizando el método del índice de condición de pavimento. Cajamarca – 2014”, nos proporciona información sobre la teoría de evaluación aplicando el método PCI, en pavimentos.

El trabajo realizado en esta tesis consiste en el empleo del índice PCI (Present Condition Index), muy empleado en varios países de América Latina. Para la valoración del estado del pavimento de la Vía de Evitamiento Norte se utilizó el método del índice de condición de pavimento; este índice toma valores que oscilan entre 0 (para la condición de fallado) hasta 100 (estado excelente). Para llegar a él se llevó a cabo una inspección visual detallada en toda la superficie del pavimento y sus elementos del drenaje y se recopiló la limitada información existente procedente del proyecto vial ejecutado, el historial de la carretera y el tráfico que la solicita. (Rabanal, 2014. Pág. 2)

El motivo principal de este estudio consta en evaluar dos carriles con un ancho de circulación de 6.10 m y una longitud de 2400 m, una superficie total de 14,640 m<sup>2</sup> se subdividió en unidades de análisis o inspección (que también pueden llamarse unidades de prueba) de 37.5 m de largo y 228.75 m<sup>2</sup> de área cada una. Esta magnitud está dentro de las recomendaciones del procedimiento PCI que sugiere unidades entre los  $232 \pm 93$  m<sup>2</sup>. (Rabanal, 2014).

Esta investigación concluye lo siguiente, el pavimento flexible de la vía de evitamiento norte entre el Jr. Sanjinés y la antigua vía de evitamiento norte de la ciudad de Cajamarca en el año 2014, según la evaluación mediante el método del índice del condición del pavimento (PCI) tiene una valor de PCI = 49 y en concordancia con la escala de evaluación del PCI, se concluye que el estado actual de dicho pavimento es Regular. Las fallas con mayor nivel de severidad que se presentan en el pavimento flexible de la Vía de Evitamiento Norte son: baches en mal estado, Piel de Cocodrilo y agrietamientos Longitudinales, Transversales y Agrietamiento en bloque, El 42% del total de unidades de muestra inspeccionadas

presentan un estado de pavimento regular (PCI entre 40 y 54); después le sigue un 33% de unidades en mal estado (PCI igual a 39); un 15%, en buen estado (PCI entre 56 y 65). No se encontraron pavimentos fallados (PCI entre 0 y 10) ni excelentes (PCI entre 85 y 100). Agrupando los resultados en los tramos 1 (U7 – U32) presenta un PCI de 54, pavimento Regular; y el tramo 2 (U32-U64), un PCI de 44, pavimento regular, Finalmente, tomando todas las unidades de muestra sin distinción del tramo analizado, se calcula el PCI ponderado de 49 por lo tanto el pavimento es Regular cumpliendo con la hipótesis. (Rabanal, 2014. Pág. 160)

El método del PCI es una técnica de evaluación de pavimento superficial en la cual solo nos proporciona indicadores estandarizados de las condiciones superficiales de una infraestructura, mas no una evaluación estructural, por lo que para nuestra investigación no es tan considerable sin embargo se realizó una evaluación superficial categorizado en fallas y niveles.

### **2.1.3 A nivel local**

Llúncor (2014), el método Vizir es un sistema de fácil aplicación, que establece una distinción clara entre fallas estructurales y funcionales. El método clasifica los deterioros de los pavimentos asfálticos en dos grandes categorías, A y B, siendo de condición estructural y de tipo funcional respectivamente.

Para los estudios destinados al diseño de obras de mantenimiento y rehabilitación del pavimento, cada zona de análisis deberá tener una longitud de 100 metros. En el caso de carreteras de doble calzada, se efectuarán evaluaciones independientes para cada calzada que ocupa el daño dentro de la zona evaluada. (Pág. 22)

Los índices de deterioro superficial (Is), establecidos durante el proceso de calificación y cuantificación de los deterioros del pavimento, definen tres casos generales: Valores de 1 y 2 del "Is" representan pavimento con agrietamientos y deformaciones, que presentan un buen aspecto general y que, probablemente, no requieran en el momento más que acciones de mantenimiento rutinario, Valores 3 y 4 representan pavimentos con agrietamiento estructural y pocas o ninguna deformación, así como pavimentos

no contemplados pero con deformaciones de alguna importancia. Su estado superficial se considera regular y lo suficientemente degradado como para poner en marcha tratamientos de rehabilitación de mediana intensidad, Por último, los valores 5, 6 y 7 son indicativos de pavimentos con agrietamientos y deformaciones abundantes, cuyo deficiente estado superficial exige la ejecución de trabajos importantes de rehabilitación. (Pág. 23)

La presente investigación concluye lo siguiente, En el desarrollo del presente estudio y utilizando el método VIZIR objeto del informe y en comparación con el Método PCI, se consiguieron resultados muy similares. El resultado para la metodología VIZR fue una clasificación promedio de Bueno, por otro lado en PCI llego a la clasificación de Muy Bueno. Además la evaluación de por medio de la metodología de PCI es más específica para la clasificación de daños y estado de condición de pavimento, por lo que se encontró fisuras horizontales en un 0.66%, parches en 0.28% y la pérdida de agregado 2.17% en los 4.5 km de carretera, se visualizó un 64.23% de pérdida de la película ligante del pavimento estudiado, y el costo estimado para la recuperación de la carretera al 100% en sus con 66/100 soles).

## **2.2 Estado del arte**

Existen diversas alternativas para el diseño de un pavimento, así mismo la rehabilitación resulta importante antes de que este haya completado su vida útil, por otro lado durante la realización de la presente investigación no se encontró investigaciones recientes que guarden relación directa, por lo que se presenta lo siguiente:

Arroyo, Vargas (1992), nos hace mención a cerca de su proyecto que comprende un área total de estudio de 31.56 has, teniendo como temas de estudio lo siguiente: Estudio, elección y diseño de un tipo de pavimento técnico y económicamente factible, La zona de estudio ubicada al norte de la ciudad de Chiclayo y sur-oeste del distrito de José Leonardo Ortiz, el cual deberá ser aplicado en las zonas A, B y C. (Urb. San Lorenzo, Urb. Francisco Bolognesi y Mercado Mayorista Moshoqueque respectivamente) y la evaluación y rehabilitación de las vías troncales Kennedy, Bolívar, El Dorado y Venezuela,

mediante la implementación de una adecuada infraestructura urbana, que fue reconstruida en los años 1984, 1985 y 1986, por la corporación de desarrollo de Lambayeque (CORDELAM), para facilitar la movilización de los usuarios con seguridad, comodidad y cuya selección estratégica está dirigida a encauzar el tránsito vehicular, hacia las zonas; comercial (Complejo Mercado Mayorista Moshoqueque), como residencial (Urb. San Lorenzo y Francisco Bolognesi).

Se llegó a la conclusión que el suelo de la zona de estudio a nivel se subrasante está conformado en su mayoría por arcillas de alta y baja compresibilidad (CH y CI) en un 85% de la configuración estratigráfica el remanente lo conforman arenas arcillosas (SC) en un 12%. El C.B.R. representativo de la subrasante es de 3.6% lo que indica que es una subrasante muy mala, con respecto al análisis de tráfico realizado para la zona del proyecto da como resultado un Índice de Tráfico (I.T) pesado, De las observaciones superficiales de los pavimentos en servicio y del análisis estructural efectuado a los pavimentos flexibles seleccionados (calle Kennedy y Avenida Bolívar), se deduce que: Las fallas producidas en el pavimento de dichas vías son de carácter estructural debido mayormente a espesores inadecuados (infradiseño) de la estructura del pavimento – sub-rasante al tráfico circulante, ya que de las perforaciones efectuadas estas se han ejecutado con un espesor promedio de 45 centímetros. Finalmente se concluyó que resulta una necesidad urgente la implementación de una metodología adecuada de Rehabilitación y Conservación de Pavimentos.

## **2.3 Base teórica científicas**

### **2.3.1. Teoría de pavimentos flexibles**

A continuación describiremos una breve reseña histórica del asfalto, componente principal para los pavimentos asfálticos, la importancia para el desarrollo económico de un País y su evolución hasta la actualidad:

A lo largo de muchos años se la ha dado diversos usos, en la actualidad su principal aplicación está en la construcción de pavimentos. La utilización del asfalto como material de construcción se remonta en la historia de la humanidad a tiempos muy anteriores a la era cristiana. (Castells, 1934).

El primer pavimento construido con rocas asfálticas en la forma de asfalto fundido fué dado al tránsito en París en 1854. Pocos años después se generalizó su empleo en la forma poco más o menos en que se utiliza en la actualidad. La construcción de los pavimentos de asfalto se desarrolló pronto en América. Hasta el año 1870 las materias primas empleadas únicamente fueron las calizas asfálticas europeas, que debían ser importadas (...) ese mismo año el químico belga De Smedt realizó el primer revestimiento asfáltico con mezcla artificial, que recibió el nombre de (Sandasphalt), el cual es en principio el mismo sistema que se emplea en la actualidad. (Castells, 1934).

En 1909 en Versalles, sobre el firme de una carretera con un tráfico diario de 5000 vehículos, se construyó una capa de aglomerado bituminoso de 5 cm de espesor. Así pues, en los albores del siglo XX, ya existían los principales componentes de la técnica de revestimientos bituminosos. Su desarrollo y perfeccionamiento, es tarea que incumbe a los profesionales del asfalto del siglo XX. (Cremades, 2010).

Actualmente en el mundo se producen alrededor de 115 millones de toneladas de asfalto de los cuales más del 85% se emplean en la pavimentación de caminos y el 15% restante se emplea en aplicaciones industriales e impermeabilizantes domésticos (Cremades, 2010).

Europa y Estados Unidos tienen por mucho las más extensas redes viales, en Europa alrededor de 5,2 millones de km de los cuales más del 90% están pavimentadas con asfalto y de los 4,0 millones de km estimados en Estados Unidos más del 92% están pavimentadas con asfalto. Canadá tiene alrededor de 415,000 km pavimentados con 90% de asfalto y México tiene 371,936 km con el 96% pavimentado con asfalto. (Cremades, 2010).

El asfalto ha entrado en el mundo desarrollado en un dinamismo acelerado, desde el punto de vista técnico, que tiene como objetivo incrementar la certidumbre en cuanto al desempeño de los pavimentos asfálticos y aumentar la durabilidad de los mismos. Una vida promedio de un pavimento asfáltico de 9 años sin tratamientos mayores, de 20 años con tratamientos superficiales y de 40 años con reposición de capas de rodadura es el objetivo perseguido y logrado en otros países. (Cremades, 2010)

El asfalto, un vistazo al futuro, un nuevo reporte del Grupo Freedonia, publicado en la revista World Highways de junio, estima que la demanda mundial

del asfalto crecerá a partir de la baja del 2008, 2,1% anual hasta 108 millones de toneladas en 2013. En los mercados desarrollados del asfalto en Norteamérica, Europa Occidental y Japón, la demanda de asfalto fue golpeada duramente por la recesión en 2008, pero parecen estar listos a las ganancias moderadas en 2013. (Cremades, 2010)

En cuanto al futuro, lo único que se tendrá que hacer es utilizar una terminología algo diferente, pues los pavimentos flexibles sustituirán el ligante asfáltico por uno de origen vegetal o animal, como ya se está haciendo en la actualidad en algunos tramos de prueba en Europa, que sea más ecológico, más sustentable y más acorde a las exigencias del momento, pero la tecnología de diseño, fabricación y aplicación de estos productos será similar a lo que se está haciendo en la actualidad. (Velázquez, 2011).

Para presentar la información siguiente, se ha tomado como guía base la publicación del Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotécnica y pavimentos, Sección: Suelos y Pavimentos versión Abril 2014, de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles del Ministerio de Transportes y comunicaciones del Perú, salvo que se mencione lo contrario, de lo que se ha extraído lo siguiente:

### **2.3.2 Tráfico vial**

Según Manual de Carreteras. Sección Suelos y Pavimentos 2014, nos menciona:

#### **a) Demanda de tráfico para estudios**

La demanda del tráfico es un aspecto esencial que el ingeniero necesita conocer con relativa y suficiente precisión, para planificar y diseñar con éxito muchos aspectos de vialidad, entre ellos el diseño del pavimento y el de la plataforma del camino (...), La necesidad de información del tráfico se define desde dos puntos de vista: el diseño estructural del pavimento y el de la capacidad de los tramos viales para conocer hasta que límites de volúmenes de tráfico puede estimarse crecerá la demanda que afectara a la estructura vial durante el periodo del análisis vial adoptado para un estudio. El estudio de tráfico deberá proporcionar la información del índice medio diario anual (IMDA) para cada tramo vial materia de un estudio. (...).Para cada uno de los tramos además de la

demanda volumétrica actual deberá conocerse la clasificación por tipo de vehículos. El cálculo del IMDA requiere de los índices de variación mensual, información que el MTC dispone y puede proporcionar de los registros continuos que obtiene actualmente en las estaciones existentes de peaje y de pesaje del propio MTC y de las correspondientes a los contratos de concesiones viales. La existencia de esta información es importante para construir una base de datos muy útil, como referencia regional que permitirá reducir los requerimientos de estudios y los costos que actualmente se tienen cuando se realizan estos estudios. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 62)

### **Demanda proyectada**

La información levantada servirá de un lado como base para el estudio de la proyección de la demanda para el periodo de análisis; y en este contexto para establecer el número de ejes equivalentes (EE) de diseño para el pavimento. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 63)

### **Factor direccional y factor carril**

El factor de distribución direccional expresado como una relación, que corresponde al número de vehículos pesados que circulan en una dirección o sentido de tráfico, normalmente corresponde a la mitad del total de tránsito circulante en ambas direcciones, pero en algunos casos puede ser mayor en una dirección que otra, el que definirá según conteo de tráfico. El factor de distribución carril expresado como una relación, que corresponde al carril que recibe el mayor número de EE, donde el tránsito por dirección mayormente se canaliza por ese carril. El tráfico para el carril de diseño del pavimento tendrá en cuenta el número de direcciones o sentidos y el número de carriles por calzada de carretera, según el porcentaje o factor ponderado aplicado al IMD, [se muestra a continuación los factores de distribución y de carril]. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 63)

**Tabla 1**

*Factores de distribución direccional y de carril para determinar el tránsito en el carril de diseño*

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

**Fuente:** “Manual de Carreteras” Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos; Sección: Suelos y Pavimentos R.D. N° 10-2014-MTC/14 – versión Abril 2014.

### **b) Cálculo de tasas de crecimiento y proyección**

Se puede calcular el crecimiento de tránsito utilizando una fórmula de progresión geométrica por separado para el componente del tránsito de vehículos de pasajeros y para el componente del tránsito de vehículos de carga. (Pág. 64)

$$T_n = T_o (1 + r)^{n-1} \dots\dots Ec 1$$

En la que:

T<sub>n</sub> = Tránsito proyectado al año “n” en veh/día.

T<sub>o</sub> = Tránsito actual (año base o) en veh/día.

n = Número de años del periodo de diseño.

r = Tasa anual de crecimiento del tránsito.

La tasa anual de crecimiento del tránsito se define en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico. Normalmente se asocia la tasa de crecimiento del tránsito de vehículos de pasajeros con la tasa anual de crecimiento poblacional; y la tasa de crecimiento del tránsito de vehículos de carga con la tasa anual del crecimiento de la economía expresada como el Producto Bruto Interno (PBI). Normalmente las tasas de crecimiento del tráfico varían entre 2% y 6%. (Pág. 64)

(...), ambos índices de crecimiento correspondientes a la región, que normalmente cuenta con datos estadísticos de estas tendencias (...) La siguiente tabla proporciona el criterio para seleccionar el factor de crecimiento (Fca) para el periodo de diseño, considerando la tasa anual de crecimiento (r) y el periodo de análisis en años. (Pág. 65)

**Tabla 2**

*Factores de crecimiento acumulado (Fca) para el cálculo de número de repeticiones de EE*

Período de análisis (años)	Factor de crecimiento	Tasa de crecimiento ( r )							
		2	3	4	5	6	7	8	10
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	2.00	2.02	2.03	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.00	3.06	3.09	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.00	4.12	4.18	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.00	5.20	3.19	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.00	6.31	6.47	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.00	7.43	7.66	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.00	8.58	8.89	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.00	9.75	10.16	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.00	10.95	11.46	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.00	12.17	12.81	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.00	13.41	14.19	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.00	14.68	15.62	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.00	15.97	17.09	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.00	17.29	18.60	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.00	18.64	20.16	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.00	20.01	21.76	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.00	21.41	23.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.00	22.84	25.12	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.00	24.30	26.87	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28

**Fuente:** "Manual de Carreteras" Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos; Sección: Suelos y Pavimentos R.D. N° 10-2014-MTC/14 – versión Abril 2014.

### 2.3.3 Carreteras

La siguiente clasificación está basada en el Manual de carreteras: Diseño geométrico 2014 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, estipula que:

## **a) Clasificación por demanda**

### **a.1) Autopistas de primera clase**

Son carreteras con IMDA mayor a 6.000 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central mínimo de 6,00 m; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3,60m de ancho como mínimo, con control total de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos, sin cruces o pasos a nivel y con puentes peatonales en zonas urbanas. La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

### **a.2) Autopistas de segunda clase**

Son carreteras con IMDA entre 6.000 y 4.001 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central que puede variar de 6,00 m hasta 1,00 m; en cuyo caso se instalara un sistema de contención vehicular; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3,60m de ancho como mínimo, con control parcial de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos; pueden tener cruces o pasos a nivel y puentes peatonales en zonas urbanas. La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

### **a.3) Carreteras de primera clase**

Son carreteras con IMDA entre 4.000 y 2.001 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3,60 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad. La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

### **a.4) Carreteras de segunda clase**

Son carreteras con IMDA entre 2.000 y 400 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3,30 m de ancho como mínimo. Puede

tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad. La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada

#### **a.5) Carreteras de tercera clase**

Son carreteras con IMDA menores a 400 veh/día, con calzada de dos carriles de 3,00 m de ancho como mínimo. De manera excepcional estas vías podrán tener carriles hasta 2,50 m, contando con el sustento técnico correspondiente.

Estas carreteras pueden funcionar con soluciones denominadas básicas o económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos; o en afirmado, en la superficie de rodadura. En caso de ser pavimentadas deberán cumplirse con las condiciones geométricas estipuladas para las carreteras de segunda clase.

#### **a.6) Trochas carrozables**

Son vías transitables, que no alcanzan las características geométricas de una carretera, que por lo general tiene un IMDA menor a 200 veh/día. Sus calzadas deben tener un ancho mínimo de 4,00m, en cuyo caso se construirá ensanches denominados plazoletas de cruce, por lo menos cada 500m. La superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar.

### **b) Clasificación por orografía**

#### **b.1) Terreno plano (tipo 1)**

Tiene pendientes transversales al eje de la vía, menores o iguales al 10% y sus pendientes longitudinales son por lo general, menores de tres por ciento (3%), demandando un mínimo de movimiento de tierras, por lo que no presenta mayores dificultades en su trazado.

#### **b.2) Terreno ondulado (tipo 2)**

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 11% y 50% y sus pendientes longitudinales se encuentran entre 3% y 6%, demandando un moderado movimiento de tierras, lo que permite alineamientos más o menos rectos, sin mayores dificultades en el trazado.

### **b.3) Terreno accidentado (tipo 3)**

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 51% y el 100% y sus pendientes longitudinales predominantes se encuentran entre 6% y 8%, por lo que requiere importantes movimientos de tierras, razón por la cual presenta dificultades en el trazado.

### **b.4) Terreno escarpado (tipo 4)**

Tiene pendientes transversales al eje de la vía superiores al 100% y sus pendientes longitudinales excepcionales son superiores al 8%, exigiendo el máximo de movimiento de tierras, razón por la cual presenta grandes dificultades en su trazado.

Según Manual de Carreteras. Sección Suelos y Pavimentos versión abril 2014, requiere que:

#### **2.3.4 Suelos**

La exploración e investigación del suelo es muy importante tanto para la determinación de las características del suelo, como para el correcto diseño de la estructura del pavimento. Si la información registrada y las muestras enviadas al laboratorio no son representativas, los resultados de las pruebas aun con exigencias de precisión (...), [no aseguran una confiabilidad en los valores a obtener].

#### **a. Exploración de suelos y rocas**

La Dirección general de caminos y ferrocarriles (2014) señala que “AASHTO para la investigación y muestreo de suelos y rocas recomienda la aplicación de la norma T 86-90 que equivale a la ASTM D420-69”, (...), [para el presente informe se aplicó todo los procedimientos establecidos en estas normas, realizándose

ensayos in situ como en laboratorio]. Para la exploración de suelos y rocas primero deberá efectuarse un reconocimiento del terreno y como resultado de ello un programa de exploración e investigación a lo largo de la vía” (...). De las calicatas o pozos exploratorios deberán obtenerse en cada estrato muestras representativas en número y cantidades suficientes de suelo o de roca, o de ambos, e cada material (...), el tamaño y tipo de muestra requerida depende de los ensayos que se van a efectuar y del porcentaje de partículas gruesas en la muestra, y del equipo de ensayo a ser usado. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 25)

Con las muestras obtenidas en la forma descrita, se efectuaran ensayos en laboratorio y finalmente con los datos obtenidos se pasara a la fase de gabinete, para consignar en forma gráfica y escrita los resultados obtenidos, asimismo se determinara un perfil estratigráfico de los suelos (ejes y bordes), debidamente acotado en un espesor no menor a 1.50m. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 26)

### b. Caracterización de la sub rasante

Con el objeto de determinar las características físico- mecánicas de los materiales se la sub rasante se llevara a cabo investigaciones mediante la ejecución de pozos exploratorios o calicatas de 1.5m de profundidad mínima, el número mínimo de calicatas por kilómetro, está de acuerdo [a la siguiente tabla]:

**Tabla 3**

*Número de calicatas para la exploración de suelos*

Tipo de carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de calicatas	Observación
Autopistas, carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>• Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>• Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido</li> </ul>	
Carreteras Duales o Multicarril, carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>• Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>• Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido</li> </ul>	Las calicatas se ubicaran longitudinalmente y en forma alternada

Carreteras de Primera clase: carreteras con IMDA entre 4000 y 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto.	• 4 calicatas x km
Carreteras de Segunda clase: carreteras con IMDA entre 2000 y 401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto.	• 3 calicatas x km
Carreteras de Tercera clase: carreteras con IMDA entre 400 - 201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto.	• 2 calicatas x km
Carreteras de bajo volumen de tránsito: carreteras con IMDA $\leq$ 200 veh/día, de una calzada	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto.	• 1 calicatas x km

**Fuente:** "Manual de Carreteras" Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos; Sección: Suelos y Pavimentos R.D. N° 10-2014-MTC/14 – versión Abril 2014

El número de calicatas indicado en la Tabla 3, se aplica para pavimentos nuevos, reconstrucción y mejoramiento. (...). En el caso de refuerzo o rehabilitación de pavimentos se tendrá en cuenta los resultados de las mediciones deflectométricas (deflectograma) y la sectorización de comportamiento homogéneo, efectuando por cada sector homogéneo (mínimo 4 calicatas) en correspondencia con los puntos de ensayo, una calicata donde la deflexión es máxima, una segunda calicata donde la deflexión es cercana a la deflexión características, una tercera calicata donde la deflexión es cercana a la deflexión promedio y una cuarta calicata donde la deflexión ha sido mínima. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 27)

### c. Registro de excavación

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

anotará el espesor de cada uno de los estratos del subsuelo, sus características de gradación y el estado de compacidad de cada uno de los materiales. Así mismo se extraerán muestras representativas de las sub rasante para realizar ensayos de módulo de resiliencia (MR) o ensayos de CBR para correlacionarlos con ecuaciones de MR, la cantidad de ensayos dependerá del tipo de carretera (...) [Ver tabla siguiente]: (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 28)

**Tabla 4**

*Número de Ensayos MR y CBR.*

Tipo de Carretera	Nº MR y CBR
Autopistas carreteras de IMDA mayor de 600 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calzada 2 carriles por sentido: 1 MR cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido.</li> <li>• Calzada 3 carriles por sentido: 1 MR cada 2 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido.</li> <li>• Calzada 4 carriles por sentido: 1 MR cada 1 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido.</li> </ul>
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzada separadas, cada una con dos o más carriles.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calzada 2 carriles por sentido: 1 MR cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido.</li> <li>• Calzada 3 carriles por sentido: 1 MR cada 2 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido.</li> <li>• Calzada 4 carriles por sentido: 1 MR cada 1 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido.</li> </ul>
Carreteras de Primera clase: carreteras con un IMDA entre 4000 - 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 MR cada 3 km y 1 CBR cada 1 km.</li> </ul>
Carreteras de segunda clase: carreteras con un IMDA entre 2000 - 401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cada 1.5 km se realizara un CBR. (*)</li> </ul>
Carreteras de tercera clase: carreteras con un IMDA entre 400 - 201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cada 2 km se realizara un CBR. (*)</li> </ul>
Carreteras con un IMDA <= 200 veh/día, de una calzada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cada 3 km se realizara un CBR.</li> </ul>

**Nota:** (\*) La necesidad de efectuar los ensayos de módulos de resiliencia, será determinado en los respectivos términos de referencia, previa evaluación de la zona de estudio y la importancia de la obra.

**Fuente:** "Manual de Carreteras" Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos; Sección: Suelos y Pavimentos R.D. N° 10-2014-MTC/14 – versión Abril 2014

El número de ensayos indicado en la Tabla 4, se aplica para pavimentos nuevos, reconstrucción y mejoramiento. (...). Para el

caso de refuerzo o rehabilitación de pavimentos se tendrá en cuenta los resultados de las mediciones deflectométricas (deflectograma) y la sectorización de comportamiento homogéneo, efectuando por cada sector homogéneo (mínimo 2 CBR) en correspondencia con los puntos de ensayo, un CBR donde la deflexión ha sido máxima y el segundo CBR donde la deflexión es cercana a la deflexión característica. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 28)

De acuerdo a lo mencionado en el Manual de carreteras. Sección Suelos y Pavimentos versión abril 2014, nos hace referencia que:

#### **d. Sub rasante**

Se consideraran como materiales aptos para las capas de sub rasante suelos con  $\text{CBR} \geq 6\%$ . En caso de ser menor (sub rasante pobre o sub rasante inadecuada), se procederá a la estabilización de los suelos, para lo cual se analizarán alternativas de solución, de acuerdo a la naturaleza del suelo, como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo de cimentación, estabilización química del suelo, estabilización con geosintéticos, elevación de la rasante, cambiar el trazo vial, eligiéndose la más conveniente técnica y económica. (...). Para poder asignar la categoría de sub rasante indicada en (...) [tabla 8], los suelos de la explanación debajo del nivel superior de la sub rasante, deberán tener un espesor mínimo de 0.60 m del material correspondiente a la categoría asignada, caso contrario se asignará a la categoría inmediata de calidad inferior. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 40)

El nivel superior de la sub rasante debe quedar encima del nivel de la napa freática como mínimo de 0.60 m, cuando se trate de una sub rasante excelente – muy buena ( $\text{CBR} \geq 20\%$ ); a 0.80 m cuando se trate de una sub rasante buena – regular ( $6\% \leq \text{CBR} < 20\%$ ); a 1.00 m cuando se trate de una sub rasante pobre ( $3\% \leq \text{CBR} < 6\%$ ); y a 1.20 m cuando se trate de una sub rasante inadecuada

(CBR < 3%), En caso necesario, se colocarán subdrenes o capas anticontaminantes y/o drenantes o se elevara la rasante hasta el nivel necesario. Cuando la capa de sub rasante sea arcillosa o limosa y, al humedecerse, partículas de estos materiales puedan penetrar en las capas granulares del pavimento contaminándolas, deberá proyectarse una capa de material separador de 10 cm de espesor como mínimo o un geosintético, según lo justifique el ingeniero responsable. Se estabilizarán las zonas húmedas locales o áreas blandas o sub rasantes inadecuadas, cuya estabilización o mejoramiento será materia de un estudio geotécnico de estabilidad y de asentamiento donde el ingeniero responsable analizará según la naturaleza del suelo diversas alternativas como estabilización con cal o cemento, estabilización química de suelos, geosintéticos, pedraplenes, enrocados, capas de arena, reemplazo, etc.; definiendo y justificando en su informe técnico la solución adoptada, donde se indicara que con la solución adoptada el suelo alcanzará la estabilidad volumétrica, adecuada resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 41)

#### **e. Ensayos a realizar a la sub rasante**

##### **1. Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-422**

Representa la distribución de tamaños de partículas de suelo, por medio del tamizado según especificaciones técnicas (Ensayo MTC E 107). A partir de la cual se puede estimar, con mayor o menor aproximación, las demás propiedades que pudieran interesar. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 30)

Este ensayo describe el análisis del método para determinar los porcentajes de suelo que pasas por los distintos tamices de la serie empleada, hasta el de 74 mm (Nº 200).

De acuerdo al tamaño de las partículas de suelo se definen los siguientes términos:

**Tabla 5***Clasificación de suelos según tamaño de partículas*

Tipo de Material		Tamaño de las partículas
Grava		75 mm - 4.75 mm
Arena		Arena Gruesa: 4.75 mm - 2.00 mm Arena media: 2.00 mm - 0.425 mm Arena fina: 0.425 mm - 0.075 mm
Material fino	Limo	0.075 mm - 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

**Fuente:** "Manual de Carreteras" Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos;  
Sección: Suelos y Pavimentos R.D. N° 10-2014-MTC/14 – versión Abril 2014

### **Cálculos**

Según el Manual de ensayo de materiales (MTC E107 – 2000), nos dice: Calcúlese el porcentaje que pasa, el porcentaje total retenido, o el porcentaje de las fracciones de varios tamaños, con una aproximación de 0.1%, con base en el peso total de la muestra inicial seca.

### **2. La plasticidad - límites de Atterberg ASTM D-4318**

(Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 31). La plasticidad es la propiedad de estabilidad que representa los suelos hasta cierto límite de humedad sin disgregarse, por tanto la plasticidad de un suelo depende, no de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de sus elementos finos. El análisis granulométrico no permite apreciar esta característica, por lo que es necesario determinar los límites de Atterberg. Los límites de Atterberg establecen cuan sensible es el comportamiento de un suelo en relación con su contenido de humedad (agua), definiéndose los límites correspondientes a los tres estados de consistencia según su humedad y de acuerdo a ello puede presentarse un suelo: líquido, plástico o sólido. Estos límites de Atterberg que miden la cohesión del suelo son: el límite líquido (LL, según ensayo MTC E 110), el límite plástico (LP, según ensayo MTC E 111) y el límite de contracción (LC, según ensayo MTC E 112).

Límite líquido (LL), cuando el suelo pasa del estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse.

Límite plástico (LP), cuando el suelo pasa del estado plástico a un estado semisólido y se rompe.

Límite de contracción (retracción), cuando el suelo pasa del estado semisólido a un estado sólido y deja de contraerse al perder humedad.

Además de LL y LP, una característica a obtener es el índice de plasticidad IP (ensayo MTC E 111) que se define como la diferencia entre LL y LP.

$$IP = LL - LP \dots\dots Ec 2$$

El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante bien un suelo. Un IP grande corresponde a un suelo muy arcilloso. En tal sentido, el suelo en relación a su índice de plasticidad puede clasificarse según lo siguiente:

**Tabla 6**

*Clasificación de suelos según índice de Plasticidad.*

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Características	
IP > 20	Alta	Suelos muy Arcillosos	
IP ≤ 20	IP > 7	Media	Suelos Arcillosos
IP < 7	Baja	Suelos poco arcillosos plasticidad	
IP = 0	No Plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla	

**Fuente:** "Manual de Carreteras" Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos; Sección: Suelos y Pavimentos R.D. N° 10-2014-MTC/14 – versión Abril 2014

Se debe tener en cuenta que, en un suelo el contenido de arcilla de acuerdo a su magnitud puede ser un elemento riesgoso en un suelo de sub rasante y en una estructura de pavimento, debido sobre todo a su gran sensibilidad al agua.

### 3. Índice de grupo

Este índice precisamente no es un ensayo, es el resultado de un cálculo con la formula siguiente, usando datos obtenidos de los ensayos mencionados párrafos arriba.

Es un índice normado por AASHTO de uso corriente para clasificar suelos, está basado en gran parte en los límites de atterberg. El índice de grupo de un suelo se define mediante la fórmula:

$$IG= 0.2 (a) + 0.005 (ac) + 0.01 (bd) \dots\dots Ec 3$$

Donde:

a= F-35 (F= Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200 -74 micras). Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.

b= F-15 (F= Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200 -74 micras). Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.

c= LL- 40 (LL= límite líquido). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20.

d= IP-10 (IP= índice plástico). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20 ó más.

El índice de grupo es un valor entero positivo, comprendido entre 0 y 20 o más. Cuando el IG calculado es negativo, se reporta como cero. Un índice cero significa un suelo muy bueno y un índice > a 20, un suelo no utilizable para caminos. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 32).

**Tabla 7**

*Clasificación de suelos según índice de grupo*

Índice de grupo	Suelo de sub rasante
IG >9	Inadecuado
IG está entre 4 a 9	Insuficiente
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 a 2	Bueno
IG está entre 0 a 1	Muy bueno

**Fuente:** "Manual de Carreteras" Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos; Sección: Suelos y Pavimentos R.D. N° 10-2014-MTC/14 – versión Abril 2014

#### 4. Contenido de Humedad ASTM D- 2216

Según el Manual de ensayo de materiales (MTC E108 – 2000) publicado por la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles del Ministerio de Transportes y comunicaciones del Perú.

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje del peso del agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.

#### Cálculos

Se calcula el contenido de humedad de la muestra mediante la siguiente fórmula:

$$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 \quad \text{.....Ec 4}$$

ó

$$w = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo secado al horno}} \times 100 \quad \text{.....Ec 5}$$

Donde:

W = es el contenido de humedad (%)

MCWS = es el peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos

MCS = es el peso del contenedor más el suelo secado al horno, en gramos

MC = es el peso del contenedor, en gramos

MW = es el peso del agua, en gramos

MS = es el peso de las partículas sólidas, en gramos

#### 5. Ensayo CBR

Según la guía del MTC E 132-2000, (...). El CBR es el valor soporte o resistencia del suelo, que estará referido al 95% de la MDS (máxima densidad seca) y a una penetración de carga de 2.54 mm. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 35).

Para la obtención del valor CBR de diseño de la sub rasante, se debe considerar lo siguiente:

a. En los sectores con 6 o más valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinará el valor de CBR de diseño de la sub rasante considerando el promedio del total de los valores analizados por sector de características homogéneas. (Pág. 35)

b. En los sectores con menos de 6 valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinara el valor de CBR de diseño de la sub rasante en función a los siguientes criterios:

- i. Si los valores son parecidos o similares, tomar el valor promedio.
- ii. Si los valores no son parecidos o no son similares, tomar el valor crítico (el más bajo) o en todo caso subdividir la sección a fin de agrupar subsectores con valores de CBR parecidos o similares y definir el valor promedio. La longitud de los subsectores no será menor a 100 m.

Son valores de CBR parecidos o similares los que se encuentran dentro de un determinado rango de categoría de sub rasante según la tabla siguiente. (Pág. 35)

Una vez definido el valor de CBR de diseño, para cada sector de características homogéneas, se clasificara a que categoría de sub rasante pertenece el sector o sub tramo, según lo siguiente:

**Tabla 8**

*Categorías de sub rasante*

Categorías de sub rasante	CBR
S0: Sub rasante inadecuada	CBR < 3%
S1: Sub rasante insuficiente	De CBR ≥3% a CBR < 6%
S2: Sub rasante regular	De CBR ≥6% a CBR <10%
S3: Sub rasante buena	De CBR ≥10% a CBR <20%
S4: Sub rasante muy buena	De CBR ≥20% a CBR <30%
S5: Sub rasante excelente	CBR ≥30%

**Fuente:** “Manual de Carreteras” Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos; Sección: Suelos y Pavimentos R.D. N° 10-2014-MTC/14 – versión Abril 2014

## 6. Ensayo de módulo resiliente

El método de diseño de pavimentos predominante en nuestro medio es el correspondiente a la metodología AASHTO 1993 y el parámetro de importancia requerido por dicha metodología es el módulo resiliente (MR) o elástico del material que conforma el par Pavimento – Sub rasante. Para fines de diseño de pavimentos nuevos, se deben obtener los respectivos módulos de resiliencia (MR) mediante el ensayo de laboratorio, en vez de uso de correlaciones debido a que sus resultados son muy sensibles a los factores relacionados a las propiedades del suelo y procedimientos de ensayo CBR - recordar que es la condición de un suelo sumergido y por ende tendrían un gran sesgo, por lo que la tendencia de las instituciones especializadas en el tema inciden más en el desarrollo del ensayo de módulo resiliente; otra opción a sopesar desde el punto de vista de ingeniería es la adopción de valores típicos del MR, según las características del suelo o material de estudio. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 37).

Para ejecutar el ensayo de módulo resiliente se utilizara la norma MTC E 128 (AASHTO T274). El módulo de resiliencia es una medida de la propiedad elástica de suelos, reconociéndole ciertas características no lineales. El módulo de resiliencia se usa directamente en el diseño de pavimentos flexibles; y para el diseño de pavimentos rígidos, debe convertirse a módulo de reacción de la sub rasante (valor K). A manera referencial se presenta la figura 1, de correlaciones típicas entre las clasificaciones y características de los suelos y el módulo de resiliencia, preparado por la NAPA information series 117 “Guidelines for Use of HMA Overlays to Rehabilitate PPC Pavements”, 1994 y que está incluida en el documento Appendix CC-1 “Correlation of CBR values with soil index properties”. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 38).

Correlaciones típicas de los suelos con el módulo de resiliencia

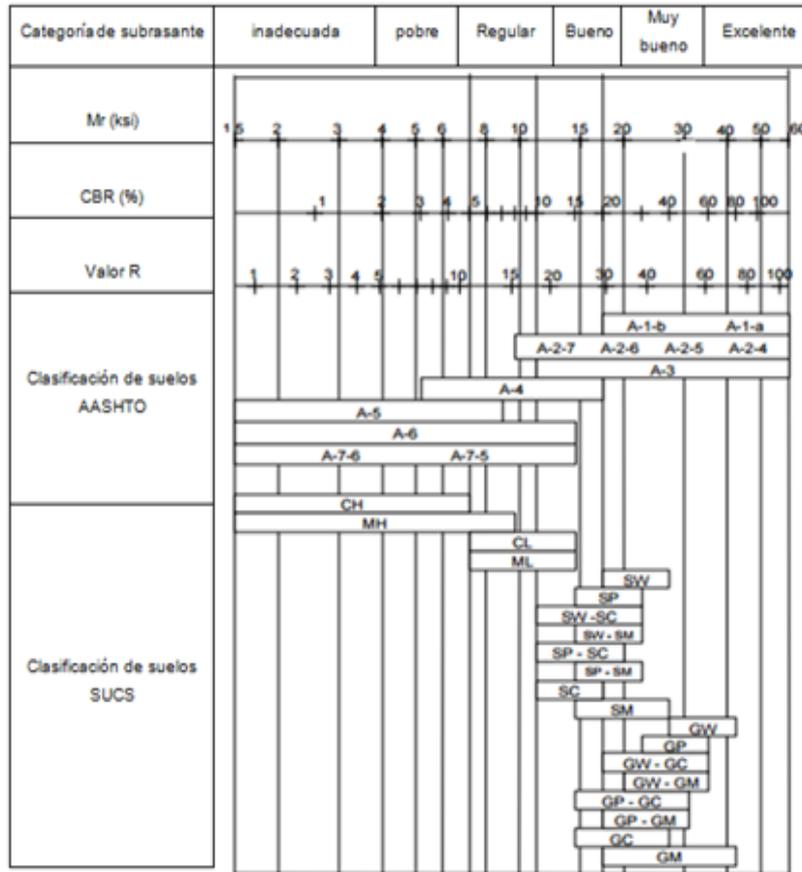


Figura 1: Correlaciones típicas entre las clasificaciones y propiedades de los suelos con el módulo de resiliencia (\*)

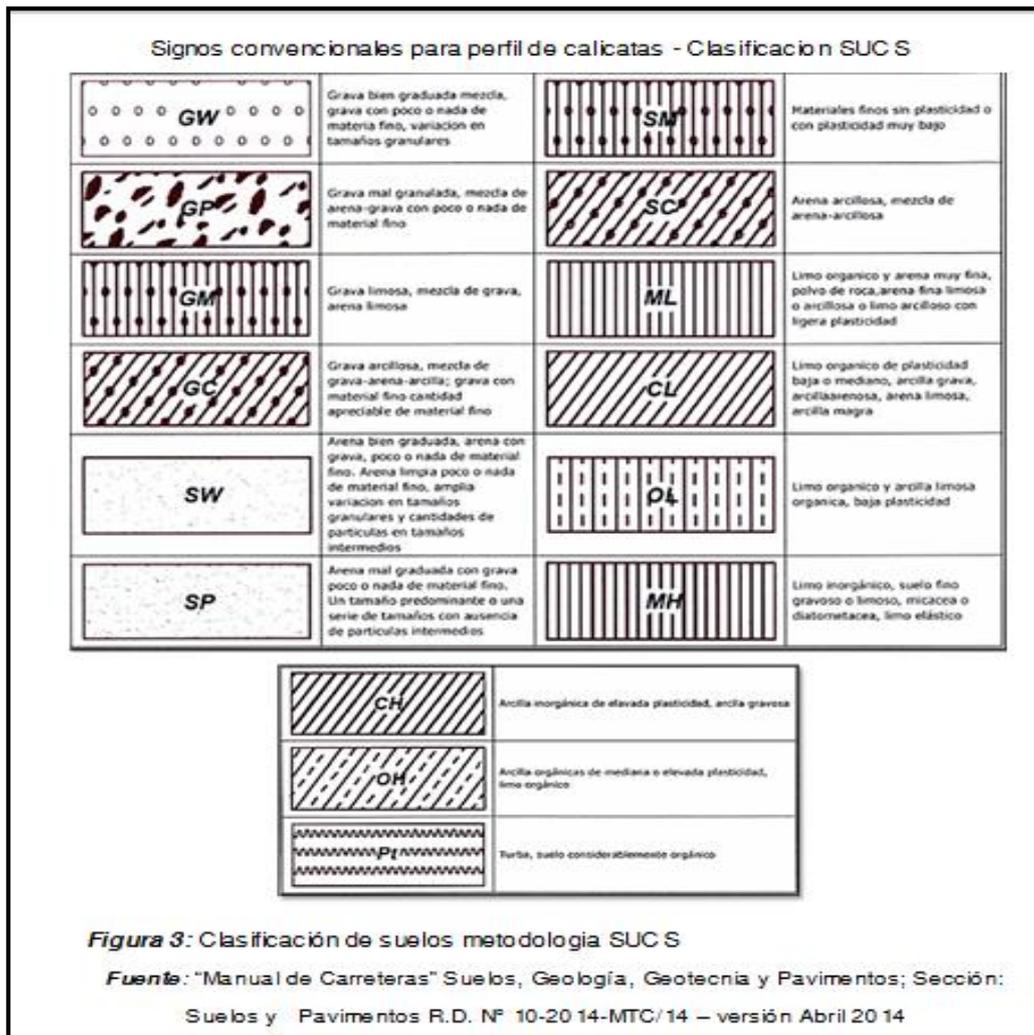
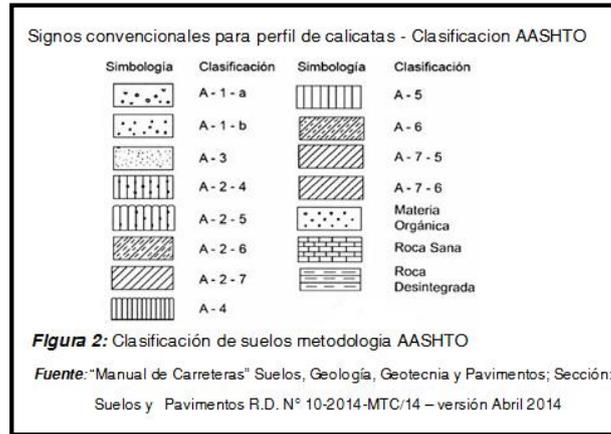
Nota(\*): Valores de CBR Y MR en funcion a la correlacion entre ellas  $Mr(\text{psi}) = 2555 \times \text{CBR}^{0.84}$

Fuente: "Manual de Carreteras" Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos; Sección: Suelos y Pavimentos os R.D. N° 10-2014-MTC/14 – versión Abril 2014

Según manual de carreteras. Sección Suelos y Pavimentos versión abril 2014, nos dice que:

f. Descripción de los suelos

Los suelos encontrados serán descritos y clasificados de acuerdo a la metodología para construcción de vías, la clasificación se efectuara obligatoriamente por AASHTO y SUCS, se utilizaran los signos convencionales (...) [de las figuras 2 y 3]. Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 29).



Según manual de carreteras. Sección Suelos y Pavimentos versión abril 2014, nos dice que:

### g. Clasificación de los suelos

Determinadas las características de los suelos, según los acápites anteriores, se podrá estimar con suficiente aproximación el

comportamiento de los suelos, especialmente con el conocimiento de la granulometría, plasticidad e índice de grupo; y luego clasificar los suelos. La clasificación de los suelos se efectuara bajo el sistema mostrado en (...) [la siguiente tabla]. Esta clasificación permite predecir el comportamiento aproximado de los suelos, que contribuirá a delimitar los sectores homogéneos desde el punto de vista geotécnico. Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 33).

A continuación se presenta una correlación de los dos sistemas de clasificación más difundidos, AASHTO Y ASTM (SUCS):

**Tabla 9**

*Correlación de tipos de suelos AASHTO - SUCS*

Clasificación de suelos AASHTO M-145	Clasificación de suelos SUCS ASTM – D -2487
A-1-a	GW,GP,GM,SW,SP,SM
A-1-b	GM,GP,SM,SP
A-2	GM,GC,SM,SC
A-3	SP
A-4	CL,ML
A-5	ML,MH,CH
A-6	CL,CH
A-7	OH,MH,CH

**Fuente:** “Manual de Carreteras” Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos; Sección: Suelos y Pavimentos R.D. N° 10-2014-MTC/14 – versión Abril 2014

Para complementar la información se presenta (...) [la tabla 10], que muestra la clasificación de los suelos basada en AASHTO M145 y/o ASTM D 3282.

**Tabla 10**

*Clasificación de los suelos basada en AASHTO M145 y/o ASTM D 3282*

Clasificación general	Suelos granulares 35% máximo que pasa por tamiz de 0.075mm (N° 200)							Suelos finos mas de 35% pasa por el tamiz de 0.075mm (N° 200)				
Clasificación de grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Análisis granulométrico % que pasa por el tamiz de: 2mm (N° 10) 0.425mm (N° 40) F= 0.075mm (N° 200)	máx. 50 máx. 30 máx. 15	máx.50 max.25	min.51 max.10	max.35	max.35	max.35	max.35	min.36	min.36	min.36	min.36	min.36
Caracterización de la fracción que pasa el 0.425 (N° 40)												
Caracterización de la fracción que pasa del tamiz (N° 40)												
LL= limite liquido IP= índice de plasticidad	máx. 6	máx. 6	NP	máx.40 máx.10	min.41 máx.10	máx.40 min. 11	min.41 min. 11	máx.40 máx.10	min.41 máx.10	máx.40 min. 11	min.41 min. 11 (a)	min.41 min. 11 (b)
Tipo de material	Piedras, gravas y arenas		Arenas finas	Gravas y arenas limosas arcillosas			Suelos limosos			Suelos arcillosos		
Estimación general del suelo como sub rasante	Excelente a bueno						Regular a Insuficiente					

a) Índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30

b) Índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30

**Fuente:** "Manual de Carreteras" Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos; Sección: Suelos y Pavimentos R.D. N° 10-2014-MTC/14 – versión Abril 2014

## **2.3.5 Ensayos a realizar**

### **a) Ensayos de campo**

#### **a.1) Densidad de campo o in situ**

Según Chang (s/a), la densidad es una medida del estado de empaquetamiento de las partículas del suelo, para esto la densidad seca es una de las medidas más apropiadas.

El objetivo es determinar la densidad y peso unitario en una superficie de un suelo acabado y compactado por medios mecánicos (...). Se pueden realizar mediante tres métodos: Densidad del suelo por el cono de arena (ASTM D 1556), Densidad y peso unitario por el globo de hule (ASTM 2167) y Densímetro nuclear (ASTM D 2922 Y D 3017).

##### **a.1.1) Método de cono de arena ASTM D 1556**

Según el Manual de ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC), ensayo E 117-2000). Este método se emplea para la determinación de la densidad de suelos en el lugar (in situ), utilizando un equipo denominado cono de arena.

(.....), se aplica a suelos que no contengan una cantidad excesiva de roca o materiales gruesos con un diámetro mayor a 1 ½ pulg. (38mm).

Es aplicable para cualquier suelo o material que pueda ser excavado con herramientas de mano, puede ser ensayado siempre que los vacíos o abertura de los poros en la masa sean lo suficientemente pequeños para prevenir que la arena usada en el ensayo penetre en los vacíos naturales. El suelo u otro material a ensayarse deberán tener la suficiente cohesión o atracción entre partículas para mantener estable los lados de un pequeño hoyo o excavación. (Manual de Ensayo de Materiales E 117-2000, Pág. 1)

## Cálculos

### Volumen del orificio de prueba:

$$V = \frac{(M1 - M2)}{\rho_1} \quad \text{.....Ec 6}$$

Donde:

V = volumen del orificio de prueba, cm<sup>3</sup>

M1 = masa de la arena utilizada para llenar el orificio de prueba, embudo y plato de base, gr.

M2 = masa de la arena utilizada para llenar el embudo y el plato de base, gr.

$\rho_1$  = densidad del volumen de la arena, gr/cm<sup>3</sup>

### Masa seca del material extraído del orificio de prueba (....):

$$M4 = \frac{100 M3}{W + 100} \quad \text{.....Ec 7}$$

Donde:

W = contenido de humedad del material extraído del orificio de prueba, %

M3 = masa húmeda del material del hueco de ensayo, gr.

M4 = masa seca del material del hueco de ensayo, gr.

### Densidad húmeda y seca in-situ del material ensayado (....):

$$\rho_m = \frac{M3}{V} \quad \text{.....Ec 8}$$

$$\rho_d = \frac{M4}{V} \quad \text{.....Ec 9}$$

Donde:

V = volumen del orificio de prueba, cm<sup>3</sup>

M3 = masa húmeda del material del hueco de ensayo, gr.

M4 = masa seca del material del hueco de ensayo, gr

pm = densidad húmeda del material probado o su peso unitario húmedo, gr/cm<sup>3</sup>

pd = densidad seca del material probado o su peso unitario seco, gr/cm<sup>3</sup>

### **a.1.2) Método densímetro nuclear a profundidad reducida ASTM D 2922 Y D 3017**

Según el Manual de ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC), ensayo E 124-2000). Se refiere a la determinación en el terreno del peso unitario húmedo total de un suelo o de un suelo – agregado con fines de investigación, control o diseño, colocando una fuente emisora y un detector de rayos gamma, sobre o dentro del material, o adyacente al mismo. Los métodos nucleares pueden aplicarse hasta profundidades entre 50 y 300 mm (2y 12”).

La intensidad de la radiación detectada depende en parte del peso unitario del material bajo ensayo y la lectura de la misma se transforma en peso unitario húmedo mediante una curva de calibración. Los resultados pueden afectarse por la composición química, la heterogeneidad de la muestra o por su textura superficial y también por distorsión espacial, por cuanto el aparato puede estar más sensible a ciertas zonas del muestreo.

### **Cálculos**

#### **Peso unitario seco**

Para obtener el peso unitario seco empléese uno de los métodos siguientes:

- a) Si la humedad se determinó por métodos nucleares, réstese el peso del agua en kg/m<sup>3</sup>
- b) Si la humedad se halló por métodos diferentes (secamiento en el horno o carburo de calcio) y está dada como porcentaje, procédase así:

$$fd = \frac{f_{hum}}{(w+100)} \times 100 \quad \dots\dots \text{Ec 10}$$

Donde:

fd = peso unitario seco, kg/m<sup>3</sup>

fhum = peso unitario húmedo, kg/m<sup>3</sup>

W = porcentaje de humedad en la muestra

## **b) Ensayos de laboratorio**

Se mencionaran aquellos ensayos que se realizan en gabinete y que son necesarios para la presente investigación, también se señala que alguno de ellos fueron mencionados en el apartado 2.3.3 (e), por lo que no serán necesario describirlos como los casos: análisis granulométrico por tamizado, contenido de humedad y límites de atterberg, CBR.

### **b.1) Equivalente de arena, suelos y agregados finos ASTM D-2419**

Según el Manual de ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC), ensayo E 114-2000). El objetivo de este ensayo es determinar la proporción relativa al contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos. Es un procedimiento rápido del campo. Se utiliza un cilindro graduado plástico, tapón macizo de caucho o goma, tubo irrigador de acero inoxidable, tubo flexible de caucho o plástico, dos botellas de 3,785 l (1 galón), dispositivos para tomar lecturas, recipiente metálico de diámetro 57mm, embudo de boca ancha de 100mm, reloj o cronometro y un agitador mecánico o de operación manual. (Manual de Ensayo de Materiales E 114 -2000, Pág. 1)

### **Cálculos**

El equivalente de arena se calculara con aproximación al décimo (0.1%), así:

$$\text{Equivalente de arena} = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} \times 100 \quad \dots\dots\dots \text{Ec 11}$$

## **b.2) Próctor modificado ASTM D-1557**

Según el Manual de ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC), ensayo E 115-2000). Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 4 ó 6 pulgadas (101,6 ó 152,4 mm) de diámetro con un pisón de 10 lbf (44,5 N) que cae de una altura de 18 pulgadas (457 mm), produciendo una Energía de Compactación de 56 000 lb-pie/pie<sup>3</sup> (2 700 kN-m/m<sup>3</sup>).

**Nota 1:** Los suelos y mezclas de suelos-agregados son considerados como suelos finos o de grano grueso o compuestos o mezclas de suelos naturales procesados o agregados tales como grava, limo o piedra partida.

**Nota 2:** El equipo y procedimiento son los mismos que los propuestos por el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos en 1945. La prueba de Esfuerzo Modificado es a veces referida como Prueba de Compactación de Próctor Modificado.

Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% ó menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 3/4" pulg (19,0 mm).

**Nota 3:** Para relaciones entre Peso Unitario y Contenido de Humedad de suelos con 30% ó menos en peso de material retenido en la malla 3/4" (19,0 mm) a Pesos Unitarios y contenido de humedad de la fracción pasante la malla de 3/4"(19,0 mm), ver ensayo ASTM D 4718 ("Método de ensayo para corrección del Peso Unitario y Contenido de Agua en suelos que contienen partículas sobredimensionadas").

Se proporciona 3 métodos alternativos. El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el método no está especificado, la elección se basará en la gradación

del material. (Manual de Ensayo de Materiales E 115 -2000, Pág. 1)

**METODO "A":**

Molde.- 4 pulg de diámetro (101,6mm), Material.- Se emplea el que pasa por el tamiz N° 4 (4,75 mm). , Capas.- 5, Golpes por capa.- 25, Uso.- Cuando el 20% ó menos del peso del material es retenido en el tamiz N° 4 (4,75 mm).

Otros Usos.- Si el método no es especificado; los materiales que cumplen éstos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B ó C.

**METODO "B":**

Molde.- 4 pulg. (101,6 mm) de diámetro., Materiales.- Se emplea el que pasa por el tamiz de 3/8 pulg (9,5 mm)., Capas.- 5, Golpes por capa.- 25, Usos.- Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz N° 4 (4,75mm) y 20% o menos de peso del material es retenido en el tamiz 3/8 pulg (9,5 mm).

Otros Usos: Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método C.

**METODO "C":**

Molde.- 6 pulg. (152,4mm) de diámetro. , Materiales.- Se emplea el que pasa por el tamiz ¾ pulg (19,0 mm)., Capas.- 5, Golpes por Capa.- 56, Usos.- Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 3/8 pulg (9,53 mm) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz ¾ pulg (19,0 mm)., El molde de 6 pulgadas (152,4 mm) de diámetro no será usado con los métodos A ó B. (Manual de Ensayo de Materiales E 115 -2000, Pág. 2)

**Nota 4:** Los resultados tienden a variar ligeramente cuando el material es ensayado con el mismo esfuerzo de compactación en moldes de diferentes tamaños.

- Si el espécimen de prueba contiene más de 5% en peso de fracción extradimensionada (fracción gruesa) y el material no será incluido en la prueba se deben hacer correcciones al Peso Unitario y Contenido de Agua del espécimen de ensayo ó la densidad de campo usando el método de ensayo ASTM D-4718.
- Este método de prueba generalmente producirá un Peso Unitario Seco Máximo bien definido para suelos que no drenan libremente. Si el método es usado para suelos que drenan libremente el máximo Peso Unitario Seco no estará bien definida y puede ser menor que la obtenida usando el Método de Prueba ASTM D-4253 (Maximum Index Density and Unit Weight of Soil Using a Vibratory Table).

### **Cálculos**

Calcule el Peso Unitario Seco y Contenido de Agua para cada espécimen compactado, Plotee los valores y dibuje la curva de compactación como una curva suave a través de los puntos. Plotee el Peso Unitario Seco con aproximación 0,1 lbf /pie<sup>3</sup> (0,2 KN/m<sup>3</sup>) y contenido de agua aproximado a 0,1%. En base a la curva de compactación, determine el Óptimo Contenido de Agua y el Peso Unitario Seco Máximo. Si más de 5% en peso del material sobredimensionado (tamaño mayor) fue removido de la muestra, calcular el máximo Peso específico y óptimo contenido de Humedad corregido del material total usando la Norma ASTM D4718 (“Método de ensayo para la corrección del Peso Unitario y Contenido de Agua en suelos que contienen partículas sobredimensionadas”). Esta corrección debe realizarse en el espécimen de ensayo de densidad de campo, más que al espécimen de ensayo de laboratorio. Plotear la curva de saturación al 100%. Los valores de contenido de agua para la condición de 100% de saturación puede ser calculadas con el uso de la Ecuación (14) (.....). (Manual de Ensayo de Materiales E 115 -2000, Pág. 12)

**Nota 5:** La curva de saturación al 100% es una ayuda en el bosquejo de la curva de compactación. Para suelos que contienen más de 10% de finos a contenidos de agua que superan el óptimo, las dos curvas generalmente llegan a ser aproximadamente paralelas con el lado húmedo de la curva de compactación entre 92% á 95% de saturación. Teóricamente, la curva de compactación no puede trazarse a la derecha de la curva de 100% de saturación. Si esto ocurre, hay un error en la gravedad específica, en las mediciones, en los cálculos, en procedimientos de ensayo o en el ploteo.

**Nota 6:** La curva de 100% de saturación se denomina algunas veces como curva de relación de vacíos cero o la curva de saturación completa.

### Contenido de Agua, w.

Peso Unitario Seco.- Calcular la densidad húmeda (Ec 10), la densidad seca (Ec 11) y luego el Peso Unitario Seco (Ec 12, 13) como sigue:

$$\rho_m = \frac{(M_t - M_{md})}{1000 * V} \dots\dots\dots \text{Ec 12}$$

Donde:

$\rho_m$  = densidad húmeda del espécimen compactado (Mg/m<sup>3</sup>)

$M_t$  = masa del espécimen húmedo y molde (kg)

$M_{md}$  = masa del molde de compactación (kg)

$V$  = volumen del molde de compactación (m<sup>3</sup>)

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{w}{100}} \dots\dots\dots \text{Ec 13}$$

Donde:

$\rho_d$  = Densidad seca del espécimen compactado (Mg/m<sup>3</sup>)

$w$  = contenido de agua (%)

$$\gamma_d = 62,43 \rho_d \text{ en lbf/ft}^3$$

$$\gamma_d = 9,807 \rho_d \text{ en kN/m}^3$$

Donde:

$\gamma_d$  = peso unitario seco del espécimen compactado.

En el cálculo de los puntos para el ploteo de la curva de 100% de saturación o curva de relación de vacíos cero del peso unitario seco, seleccione los valores correspondientes de contenido de agua a la condición de 100% de saturación como sigue:

$$W_{sat} = \frac{(\gamma_w)(G_s) - \gamma_d}{(\gamma_d)(G_s)} \times 100 \quad \dots\dots\dots \text{Ec 14}$$

Donde:

$W_{sat}$  = Contenido de agua para una saturación completa (%). \_

$\gamma_w$  = Peso unitario del agua 62,43 lbf/ pie 3 ó (9,807kN/m 3 ). \_

$\gamma_d$  = Peso unitario seco del suelo.

$G_s$  = Gravedad específica del suelo.

**Nota 7:** La gravedad específica puede ser calculada para los especímenes de prueba en base de datos de ensayos de otras muestras de la misma clasificación de suelo y origen. De otro modo sería necesario el ensayo de Gravedad Específica.

### **b.3) CBR de suelos (Laboratorio) ASTM D-1883**

Según el Manual de ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC), ensayo E 132-2000). Se describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominados valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio). El ensayo se realiza normalmente sobre el suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tornadas del terreno. Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, sub base y de afirmado. Este método operativo hace referencia a los ensayos para determinación de las relaciones de Peso unitario – Humedad, usando un equipo modificado. (Manual de Ensayo de Materiales E 132 -2000, Pág. 1)

## Cálculos

**Humedad de compactación:** El tanto por ciento de agua que hay que añadir al suelo con su humedad natural para que alcance la humedad prefijada, se calcula como sigue:

$$\% \text{ de agua a añadir} = \frac{H - h}{100 + h} \times 100 \quad \text{..... Ec 15}$$

Donde:

H= humedad prefijada

h= humedad natural

**Densidad o peso unitario:** La densidad se calcula a partir del peso del suelo antes de sumergido y de su humedad, de la misma forma que en los métodos de ensayo citados. Próctor normal o modificado, para obtener la densidad máxima y la humedad óptima.

**Agua absorbida:** El cálculo para el agua absorbida puede efectuarse de dos maneras. Una, a partir de los datos de las humedades antes de la inmersión y después de esta, la diferencia entre ambas se toma normalmente como tanto por ciento de agua absorbida. Otra, utilizando la humedad de la muestra total contenida en el molde. Se calcula a partir del peso seco de la muestra (calculado) y el peso húmedo antes y después de la inmersión.

**Presión de penetración:** Se calcula la presión aplicada por el penetrómetro y se dibuja la curva para obtener las presiones reales de penetración a partir de los datos de prueba; el punto cero de la curva se ajustan para corregir las irregularidades de la superficie, que afectan la forma inicial de la curva.

**Expansión:** La expansión se calcula por la diferencia entre las lectura del deformímetro antes y después de la inmersión. Este valor se refiere en tanto por ciento con respecto a la altura de la muestra en el molde, que es de 127 mm (5"). (Manual de Ensayo de Materiales E 132 -2000, Pág. 8)

$$\% \text{ Expansi3n} = \frac{L2-L1}{127} \times 100 \quad \text{..... Ec 16}$$

Donde:

L1= lectura inicial en mm.

L2= lectura final en mm.

#### **b.4) Abrasi3n de los 3ngeles ASTM C-131**

Seg3n el Manual de ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Per3 (MTC), ensayo E 207-2000). Se refiere al procedimiento que se debe seguir para realizar el ensayo de desgaste de los agregados gruesos hasta de 37.5 mm (1 1/2") por medio de la m3quina de los 3ngeles. El m3todo se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la citada maquina con una carga abrasiva [ver tabla 11]. [Se utiliza] para la abrasi3n de agregados gruesos. (Manual de Ensayo de Materiales E 207 -2000, P3g. 1)

##### **Carga abrasiva.**

La carga abrasiva consistir3 en esferas de acero o de fundici3n, de un di3metro entre 46.38 mm y 47.63 mm y un peso comprendido entre 390 g y 445 g. (Manual de Ensayo de Materiales E 207 -2000, P3g. 3)

La carga abrasiva depender3 de la granulometr3a de ensayo A, B, C o D. de acuerdo con la tabla siguiente:

**Tabla 11**

*Carga Abrasiva*

Granulometr3a de ensayo	N3mero de Esferas	Peso Total (gr)
A	12	5000 +- 25
B	11	4584 +- 25
C	8	3330 +- 20
D	6	2500 +- 15

**Fuente:** Manual de ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Per3 (MTC), ensayo E 207-2000).

### Preparación de la muestra

La muestra consistirá en agregado limpio por lavado y secado al horno a una temperatura constante comprendida entre 105 y 100 °C, separada por fracciones de cada tamaño y recombinadas con una granulometría indicada en la tabla siguiente. La granulometría o granulometrías elegidas serán representativas del agregado tal y como va a ser utilizado en la obra. La muestra antes ensayada deberá ser pesada con aproximación de 1g.

**Tabla 12**

*Granulometría de la muestra de agregado para ensayo*

Pasa tamiz		Retenido en tamiz		Pesos y granulometrías de la muestra para ensayo (gr)			
mm	(alt.)	mm	(alt.)	A	B	C	D
37,5	1 ½"	-25,0	1"	1250 ± 25			
25,0	1"	-19,0	¾"	1250 ± 25			
19,0	¾"	-12,5	½"	1250 ± 10	2500 ± 10		
12,5	½"	-9,5	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10		
9,5	3/8"	-6,3	¼"			2500 ± 10	
6,3	1 ¼"	-4,75	N° 4			2500 ± 10	
4,75	N° 4	-2,36	N° 8				5000 ± 10
Totales				5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

**Fuente:** Manual de ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC), ensayo E 207-2000).

### Cálculo:

El resultado del ensayo es la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra ensayada, expresado como tanto por ciento del peso original.

El resultado del ensayo (% de desgaste) recibe el nombre de coeficiente de desgaste de los ángeles, calcúlese tal valor así:

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{(P1-P2)}{P1} \times 100 \quad \dots\dots\dots \text{Ec 17}$$

Donde:

P1= peso de la muestra seca antes del ensayo.

P2= peso de la muestra seca después del ensayo, previo lavado sobre tamiz de 1.70mm (N° 12).

### **b.5) Sales solubles totales MTC E- 219**

Según el Manual de ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC), ensayo E 219-

2000). Establece el procedimiento analítico de cristalización para determinar el contenido de cloruros y sulfatos, solubles en agua, de los agregados pétreos empleados en bases bituminosas. Este método sirve para efectuar controles en obra, debido a la rapidez de visualización y cuantificación de la existencia de sales. (Manual de Ensayo de Materiales E 219 -2000, Pág. 1)

### **Cálculos**

Se informa que el porcentaje de sales solubles, calculado mediante la siguiente relación:

$$\% \text{ Sales Solubles} = \frac{1}{\frac{C \times A}{D \times B}} \times 100 \quad \text{.....Ec 18}$$

Donde:

A= peso de la muestra al horno (gr)

B= volumen de los líquidos en el matriz aforado y enrasado con agua destilada, cm<sup>3</sup>

C= alícuota del volumen B

D= cristalización de la alícuota al horno (gr)

## **2.3.6 Pavimentos**

### **a) Definición**

Es una estructura de varias capas construida sobre la sub rasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 21).

### **b) Componentes**

#### **b.1) Capa de rodadura**

Es la parte superior de pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento Portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 21).

#### **b.2) 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. Esta capa será de material granular (CBR ≥ 80%) o

será tratada con asfalto, cal o cemento. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 21).

### Requerimiento de materiales

#### i. Granulometría

**Tabla 13**

*Requerimientos granulométricos para bases granulares*

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	-	-
25 mm (1")	-	75 - 95	100	100
9.5 mm (3/4")	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100
4.75 mm (Nº4)	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85
2.0 mm (Nº10)	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70
425 µm (Nº40)	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45
75 µm (Nº 200)	2 - 8	5 - 15	5 - 15	8 - 15

**Fuente:** Manual de Carreteras; Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013

El material de base granular deberá cumplir además con las siguientes características físico – mecánicas y químicos que se indican en la tabla 14. (Especificaciones Técnicas, 2013. Pág. 370).

**Tabla 14**

*Requerimientos de CBR para bases granulares*

Valor relativo de soporte, CBR (1)	Tráfico en ejes equivalentes (<math><10^6</math>)	Min. 80%
	Tráfico en ejes equivalentes (>math>>10^6</math>)	Min. 100%

**Nota:** (1) Referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1" (2.5 mm).

**Fuente:** Manual de Carreteras; Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

#### ii. Agregado grueso

Se denominara así a los materiales retenidos en la malla Nº04, que podrán provenir de fuentes naturales, procesados o combinación de ambos. (Especificaciones Técnicas, 2013. Pág. 370).

Deberán cumplir las características, indicadas en la siguiente tabla:

**Tabla 15***Requerimientos agregado grueso*

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimientos Altitud	
				< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Partículas con una cara fracturada	MTC E 210	D 5821		80% máx.	80% máx.
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E 210	D 5821		40% máx.	50% máx.
Abrasión los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	40% máx.	40% máx.
Partículas chatas y alargadas		D 4791		15% máx.	15% máx.
Sales solubles totales	MTC E 219	D 1888		0.5% máx.	0.5% máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	C 88	T 104		18% máx.

**Fuente:** Manual de Carreteras; Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

**iii. Agregado fino**

Se denominara así a los materiales retenidos en la malla N°04, que podrán provenir de fuentes naturales, procesados o combinación de ambos. (Especificaciones Técnicas, 2013. Pág. 371).

Deberán cumplir las características, indicadas en la siguiente tabla:

**Tabla 16***Requerimientos agregado fino*

Ensayo	Norma MTC	Requerimientos altitud	
		< 3000 msnm	≥3000 msnm
Índice plástico	MTC E 111	4% máx.	2% máx.
Equivalente de arena	MTC E 114	35% máx.	45% máx.
Sales solubles	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209		15% máx.

**Fuente:** Manual de Carreteras; Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

**b.3) 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 controlar de la capilaridad del agua.

Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular ( $CBR \geq 40\%$ ) o tratada con asfalto, cal o cemento. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 21).

## Requerimiento de materiales

### i) Granulometría

**Tabla 17**

*Requerimientos granulométricos para sub bases granulares*

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación A (1)	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	-	-
25 mm (1")	-	75 - 95	100	100
9.5 mm (3/4")	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100
4.75 mm (Nº4)	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85
2.0 mm (Nº10)	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70
425 µm (Nº40)	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45
75 µm (Nº 200)	2 - 8	5 - 15	5 - 15	8 - 15

**Nota:** (1) La curva de gradación "A" deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 m.s.n.m.

**Fuente:** Manual de Carreteras; Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Además, el material también deberá cumplir los requisitos de calidad, indicados en la siguiente tabla:

**Tabla 18**

*Requerimientos de ensayos especiales*

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Abrasión los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	50% máx.	50% máx.
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193	40% máx.	40% máx.
Limite liquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25% máx.	25% máx.
índice de plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 90	6% máx.	4% máx.
Equivalente de arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25% máx.	35% máx.
Sales solubles	MTC E 119	-	-	1% máx.	1% máx.
Partículas chatas y alargadas (2)	-	D 4791	-	20% máx.	20% máx.

(1) Referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1" (2.5 mm)

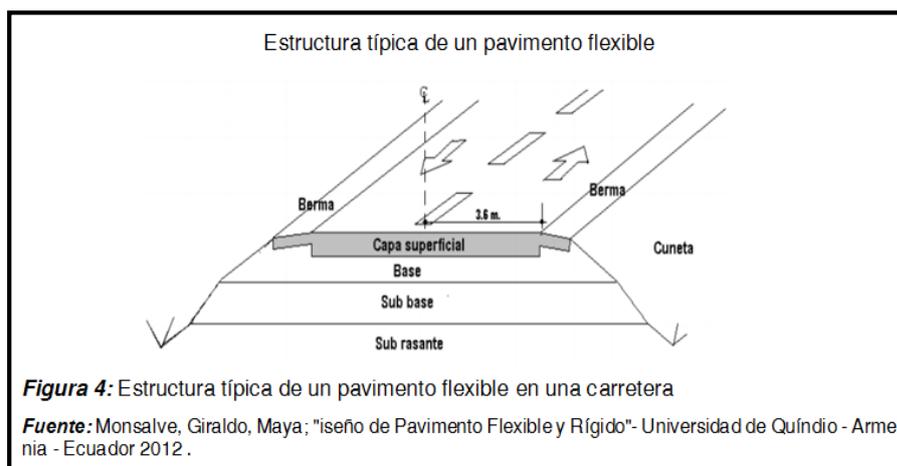
(2) La relación a emplearse para la determinación es 1/3 (espesor/longitud).

**Fuente:** Manual de Carreteras; Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

## c) Tipos de pavimentos

### c.1) Pavimento flexible

Estela, 2016. Es una estructura compuesta por capas granulares (Sub base, base) y como capa de rodadura constituida con materiales bituminoso como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos. Principalmente se considera como capa de rodadura superficial bicapa, micro pavimentos, macadam asfaltico, mezclas asfálticas en frio y mezclas asfálticas en caliente. (Pág. 1)



### c.2) Pavimento semirrígido

Es una estructura de pavimento compuesta básicamente por capas asfálticas con un espesor total bituminoso (carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con asfalto); también se considera como pavimento semirrígido la estructura compuesta por carpeta asfáltica sobre base tratada con cemento o sobre base tratada con cal. Dentro del tipo de pavimento semirrígido se ha concluido los pavimentos adoquinados. (Estela, 2016. Pág. 1)

### c.3) Pavimento rígido

Es una estructura de pavimento compuesta específicamente por una capa de sub base granular, no obstante esta capa puede ser de base granular, o puede ser estabilizada con cemento, asfalto o cal, y una capa de rodadura de losa de concreto de cemento hidráulico como aglomerante, agregados y de ser el caso aditivo.

Dentro de pavimentos rígidos existen tres categorías: (Estela, 2016. Pág. 2)

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

**d) Métodos de diseño de pavimento flexible**

Según el manual de carreteras. Sección Suelos y Pavimentos, versión abril 2014, nos dice: [En la presente investigación] se ha optado para el dimensionamiento de las secciones del pavimento, por los procedimientos más generalizados de uso actual en el país, los procedimientos adoptados son:

- a. Método AASHTO guide for design of Pavement structures 1993
- b. Análisis de la performance o comportamiento del pavimento durante el período de diseño.

Típicamente el diseño de los pavimentos es mayormente influenciado por dos parámetros básicos:

- i. Las cargas de tráfico vehicular impuestas al pavimento.
- ii. Las características de la sub rasante sobre la que se asienta el pavimento.

A continuación se describen las características más importantes para la aplicación de los procedimientos de cálculos usados.

## Método guía AASHTO 1993 de diseño

Este procedimiento está basado en modelos que fueron desarrollados en función de la performance del pavimento, las cargas vehiculares y resistencia de la sub rasante para el cálculo de espesores. Se incluye más adelante la ecuación de cálculo en la versión de la guía AASHTO-93. El propósito del modelo es el cálculo del número estructural requerido (SNr), en base al cual se identifican y determinan un conjunto de espesores de cada capa de la estructura del pavimento, que deben ser construidas sobre la sub rasante para soportar las cargas vehiculares con aceptable serviciabilidad durante el periodo de diseño establecido en el proyecto. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 130).

### I. Periodo de diseño

El periodo de diseño a ser empleado para (...) [la presente investigación] para pavimentos flexibles será hasta 10 años para caminos de bajo volumen de tránsito, periodo de diseños por dos etapas de 10 años y periodo de diseño en una etapa de 20 años. El ingeniero de diseño de pavimentos puede ajustar el periodo de diseño según las condiciones específicas del proyecto y lo que requerido por la entidad. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 131)

### II. Variables

La ecuación básica para el diseño de la estructura de un pavimento flexible es la siguiente:

$$\text{Log}_{10}(W_{18}) = Z_r * S_o + 9.36 * \text{Log}_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10}\left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 2.0}\right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \text{Log}_{10}(MR) - 8.07$$

.....Ec 19

A partir de esta ecuación se desprenden las siguientes definiciones:

- a) **W18**, es número acumulado de ejes simples equivalentes a 18000 lb (80 Kn) para el periodo de diseño, corresponde al número

de repeticiones de EE de 8.2 tn; el cual se establece con base en la información del estudio de tráfico.

### b) Módulo de resiliencia ( $M_R$ )

El módulo de resiliencia es una medida de la rigidez del suelo de sub rasante, el cual para su cálculo, deberá determinarse mediante ensayo de resiliencia determinado de acuerdo a las recomendaciones de AASHTO.

Se utilizara para determinación la ecuación que se detalla en la figura 1, o en todo caso la tabla 9, que se muestra a continuación:

**Tabla 19**

*Módulo resiliente obtenido por correlación con CBR*

CBR % sub rasante	Módulo resiliente sub rasante ( $M_R$ ) (PSI)	Módulo resiliente sub rasante ( $M_R$ ) (MPa)	CBR % sub rasante	Módulo resiliente sub rasante ( $M_R$ ) (PSI)	Módulo resiliente sub rasante ( $M_R$ ) (MPa)
6	8,043.00	55.45	18	16,247.00	112.02
7	8,877.00	61.20	19	16,819.00	115.96
8	9,669.00	66.67	20	17,380.00	119.83
9	10,246.00	71.88	21	17,931.00	123.63
10	11,153.00	76.90	22	18,473.00	127.37
11	11,854.00	81.73	23	19,006.00	131.04
12	12,533.00	86.41	24	19,531.00	134.66
13	13,192.00	90.96	25	20,048.00	138.23
14	13,833.00	95.38	26	20,558.00	141.74
15	14,457.00	99.68	27	21,060.00	145.20
16	15,067.00	103.88	28	21,556.00	148.62
17	15,663.00	107.99	29	22,046.00	152.00
			30	22,529.00	155.33

**Fuente:** "Manual de Carreteras" Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos; Sección: Suelos y Pavimentos R.D. N° 10-2014-MTC/14 – versión Abril 2014

### c) Confiabilidad (%R)

El método AASHTO incorpora el criterio de la confiabilidad (%R) que representa la probabilidad que una determinada estructura se comporte, durante su periodo de diseño, de acuerdo con lo previsto. Esta probabilidad está en función de la variabilidad de los factores que influyen sobre la estructura del pavimento y su comportamiento; sin embargo, solicitudes diferentes a las esperadas, como por extraordinarias, crecimiento excepcional del

tráfico pesado mayor a lo previsto y otros factores, pueden reducir la vida útil prevista de un pavimento.

De acuerdo a la guía AASHTO es suficientemente aproximado considerar que el comportamiento del pavimento con el tráfico, sigue una ley de distribución normal, en consecuencia pueden aplicarse conceptos estadísticos para lograr una confiabilidad determinada; por ejemplo, 90% o 95%, significa que solamente un 10% o 5% del tramo pavimentado, se encontrará con un índice de serviciabilidad inferior al previsto; es decir que el modelo de comportamiento está basado en criterios de serviciabilidad y no en un determinado mecanismo de falla. En consecuencia, a mayor nivel de confiabilidad se incrementara el espesor de la estructura del pavimento a diseñar. La confiabilidad no es un parámetro de ingreso directo en la ecuación de diseño, para ello debe usarse el coeficiente estadístico conocido como desviación normal estándar ( $Z_r$ ). (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 132).

A continuación se especifican los valores recomendados de niveles de confiabilidad para los diferentes rangos del tráfico.

**Tabla 20**

*Valores recomendados de nivel de confiabilidad para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de tráfico*

Tipo de caminos	Tráfico	Ejes equivalentes acumulados		Nivel de confiabilidad ( R)
Caminos de bajo volumen de tránsito	Tp0	75,000	150,000	65%
	Tp1	150,001	300,000	70%
	Tp2	300,001	500,000	75%
	Tp3	500,001	750,000	80%
	Tp4	750,001	1,000,000	80%
	Tp5	1,000,001	1,500,000	85%
Resto de caminos	Tp6	1,500,001	3,000,000	85%
	Tp7	3,000,001	5,000,000	85%
	Tp8	5,000,001	7,500,000	90%
	Tp9	7,500,001	10,000,000	90%
	Tp10	10,000,001	12,500,000	90%
	Tp11	12,500,001	15,000,000	90%

Tp12	15,000,001	20,000,000	95%
Tp13	20,000,001	25,000,000	95%
Tp14	25,000,001	30,000,000	95%
Tp15	> 30'000,000		95%

**Fuente:** "Manual de Carreteras" Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos; Sección: Suelos y Pavimentos R.D. N° 10-2014-MTC/14 – versión Abril 2014

Para un diseño por etapas, según AASHTO, se deben determinar las confiabilidades de cada etapa, teniendo en cuenta la confiabilidad total correspondiente a todo el período de diseño, que para (...), [presente investigación], corresponde a los valores indicados en la tabla anterior, elevado a la potencia inversa del número de etapas. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 133).

Así se tiene la relación siguiente:

$R_{etapa}$  = Confiabilidad de cada etapa

$R_{total}$  = Confiabilidad total para el periodo total de diseño

$n$  = número de etapas

### Tabla 21

*Valores recomendados de nivel de confiabilidad para dos etapas de diseño de 10 años cada una según rango de tráfico*

Tipo de caminos	Tráfico	Ejes equivalentes acumulados		Nivel de confiabilidad ( R )		
				1era Etapa (1)	2da Etapa (2)	Total (1) x (2)
Caminos de bajo volumen de tránsito	Tp0	75,000	150,000	81%	81%	65%
	Tp1	150,001	300,000	81%	84%	70%
	Tp2	300,001	500,000	87%	87%	75%
	Tp3	500,001	750,000	89%	89%	80%
	Tp4	750,001	1,000,000	89%	89%	80%
	Tp5	1,000,001	1,500,000	92%	92%	85%
	Tp6	1,500,001	3,000,000	92%	92%	85%
	Tp7	3,000,001	5,000,000	92%	92%	85%
	Tp8	5,000,001	7,500,000	95%	95%	90%
Resto de caminos	Tp9	7,500,001	10,000,000	95%	95%	90%
	Tp10	10,000,001	12,500,000	95%	95%	90%
	Tp11	12,500,001	15,000,000	95%	95%	90%
	Tp12	15,000,001	20,000,000	97%	97%	95%
	Tp13	20,000,001	25,000,000	97%	97%	95%
	Tp14	25,000,001	30,000,000	97%	97%	95%
	Tp15	> 30'000,000		97%	97%	95%

Fuente: “Manual de Carreteras” Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos; Sección: Suelos y Pavimentos R.D. N° 10-2014-MTC/14 – versión Abril 2014

#### d) Coeficiente estadístico de desviación estándar normal (Zr)

El coeficiente estadístico de desviación estándar normal (Zr) representa el valor de la confiabilidad seleccionada, para un conjunto de datos en una distribución normal. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 134).

**Tabla 22**

*Coeficiente estadística de la desviación estándar (Zr) para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según el nivel de confiabilidad Seleccionado y el rango de tráfico*

Tipo de caminos	Tráfico	Ejes equivalentes acumulados		Desviación estándar normal ( Zr)
Caminos de bajo volumen de tránsito	Tp0	75,000	150,000	-0.878
	Tp1	150,001	300,000	-0.994
	Tp2	300,001	500,000	-1.126
	Tp3	500,001	750,000	-1.227
	Tp4	750,001	1,000,000	-1.227
	Tp5	1,000,001	1,500,000	-1.405
	Tp6	1,500,001	3,000,000	-1.405
	Tp7	3,000,001	5,000,000	-1.405
	Tp8	5,000,001	7,500,000	-1.645
Resto de caminos	Tp9	7,500,001	10,000,000	-1.645
	Tp10	10,000,001	12,500,000	-1.645
	Tp11	12,500,001	15,000,000	-1.645
	Tp12	15,000,001	20,000,000	-1.881
	Tp13	20,000,001	25,000,000	-1.881
	Tp14	25,000,001	30,000,000	-1.881
	Tp15		> 30'000,000	-1.881

Fuente: “Manual de Carreteras” Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos; Sección: Suelos y Pavimentos R.D. N° 10-2014-MTC/14 – versión Abril 2014

**Tabla 23**

*Coefficiente estadística de la desviación estándar ( $Z_r$ ) para dos etapas de diseño de 10 años cada una según el nivel de confiabilidad seleccionado y el rango de tráfico*

Tipo de caminos	Tráfico	Ejes equivalentes acumulados		Desviación estándar normal ( $Z_r$ )
Caminos de bajo volumen de tránsito	Tp0	75,000	150,000	-0.385
	Tp1	150,001	300,000	-0.524
	Tp2	300,001	500,000	-0.674
	Tp3	500,001	750,000	-0.842
	Tp4	750,001	1,000,000	-0.842
	Tp5	1,000,001	1,500,000	-1.036
	Tp6	1,500,001	3,000,000	-1.036
	Tp7	3,000,001	5,000,000	-1.036
	Tp8	5,000,001	7,500,000	-1.282
Resto de caminos	Tp9	7,500,001	10,000,000	-1.282
	Tp10	10,000,001	12,500,000	-1.282
	Tp11	12,500,001	15,000,000	-1.282
	Tp12	15,000,001	20,000,000	-1.645
	Tp13	20,000,001	25,000,000	-1.645
	Tp14	25,000,001	30,000,000	-1.645
	Tp15	> 30'000,000		-1.645

**Fuente:** "Manual de Carreteras" Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos; Sección: Suelos y Pavimentos R.D. N° 10-2014-MTC/14 – versión Abril 2014

### **e) Desviación estándar combinado ( $S_o$ )**

La Desviación estándar combinado ( $S_o$ ), es un valor que toma en cuenta la variabilidad esperada de la predicción de tránsito y de los otros factores que afectan el comportamiento del pavimento; como por ejemplo, construcción, medio ambiente, incertidumbre del modelo. La guía AASHTO recomienda adoptar para los pavimentos flexibles, valores de  $S_o$  comprendidos entre 0.40 y 0.50, en (...)

[presente investigación] se adopta para los diseños recomendados el valor de 0.45. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 136)

### f) Índice de serviciabilidad presente (PSI)

Índice de serviciabilidad presente es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 137).

#### f.1) Serviciabilidad inicial (Pi)

La serviciabilidad inicial (Pi) es la condición de una vía recientemente construida. A continuación se indican los índices de servicio inicial para los diferentes tipos de tráfico:

**Tabla 24**

*Índice de serviciabilidad inicial (Pi) según rango de tráfico*

Tipo de caminos	Tráfico	Ejes equivalentes acumulados		índice de serviciabilidad inicial ( Pi)
Caminos de bajo volumen de tránsito	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
	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
Resto de caminos	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:** "Manual de Carreteras" Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos;

Sección: Suelos y Pavimentos R.D. N° 10-2014-MTC/14 – versión Abril 2014

### f.2) Serviciabilidad final o terminal (PT)

La serviciabilidad terminal (Pt) es la condición de una vía que alcanzado la necesidad de algún tipo de rehabilitación o reconstrucción. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 138).

A continuación se indican los índices de servicio final para los diferentes tipos de tráfico:

**Tabla 25**

*Índice de serviciabilidad final (Pt) según rango de tráfico*

Tipo de caminos	Tráfico	Ejes equivalentes acumulados		Índice de serviciabilidad inicial ( Pi)
Caminos de bajo volumen de tránsito	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
	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
Resto de caminos	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:** "Manual de Carreteras" Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos;

Sección: Suelos y Pavimentos R.D. N° 10-2014-MTC/14 – versión Abril 2014

### f.3) Variación de serviciabilidad ( $\Delta$ PSI)

$\Delta$ PSI es la diferencia entre la serviciabilidad inicial y terminal asumida para el proyecto en desarrollo. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 139).

**Tabla 26***Diferencia de serviciabilidad ( $\Delta PSI$ ) según rango de tráfico*

Tipo de caminos	Tráfico	Ejes equivalentes acumulados		índice de serviciabilidad inicial ( $P_i$ )
Caminos de bajo volumen de tránsito	Tp1	150,001	300,000	1.80
	Tp2	300,001	500,000	1.80
	Tp3	500,001	750,000	1.80
	Tp4	750,001	1,000,000	1.80
	Tp5	1,000,001	1,500,000	1.50
	Tp6	1,500,001	3,000,000	1.50
	Tp7	3,000,001	5,000,000	1.50
	Tp8	5,000,001	7,500,000	1.50
Resto de caminos	Tp9	7,500,001	10,000,000	1.50
	Tp10	10,000,001	12,500,000	1.50
	Tp11	12,500,001	15,000,000	1.50
	Tp12	15,000,001	20,000,000	1.20
	Tp13	20,000,001	25,000,000	1.20
	Tp14	25,000,001	30,000,000	1.20
	Tp15		> 30'000,000	1.20

**Fuente:** "Manual de Carreteras" Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos;

Sección: Suelos y Pavimentos R.D. N° 10-2014-MTC/14 – versión Abril 2014

**g) Número estructural propuesto (SNR)**

Los datos obtenidos y procesados se aplican a la ecuación de diseño AASHTO y se obtiene el número estructural que representa el espesor total del pavimento a colocar y debe ser transformado al espesor efectivo de cada una de las capas que lo constituirán, o sea de la capa de rodadura, de base y sub base, mediante el uso de los coeficientes estructuras. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 140).

Esta conversión se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

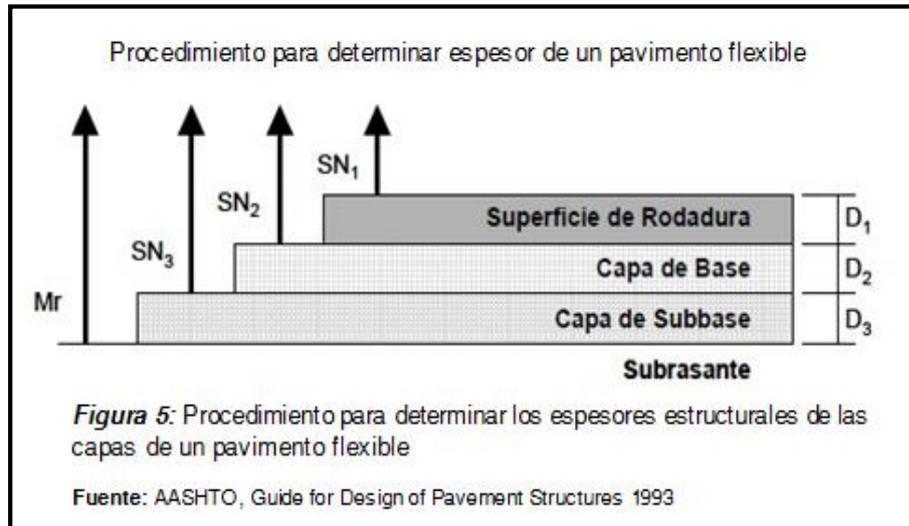
$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3 \quad \dots\dots\dots Ec 20$$

Donde:

$a_1, a_2, a_3$  = coeficientes estructurales de las capas: superficial, base y sub base, respectivamente

$D_1, D_2, D_3$  = espesores (en centímetros) de las capas: superficial, base y sub base, respectivamente

$m_2, m_3$  = coeficiente de drenaje para las capas de base y sub base, respectivamente



Según AASHTO la ecuación SN no tiene una solución única, es decir hay muchas combinaciones de espesores de cada capa que dan una solución satisfactoria. El ingeniero proyectista, debe realizar un análisis de comportamiento de las alternativas de estructuras de pavimento seleccionadas, de tal manera que permita decidir por la alternativa que presente mejores valores de niveles de servicio, funcionales y estructurales, menores a los admisibles, en relación al tránsito que debe soportar la calzada. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 140).

Los valores de los coeficientes estructurales considerados en (...) [la presente investigación] son:

**Tabla 27***Coefficiente estructurales de las capas del pavimento ai*

Componente del pavimento	coeficiente	Valor coeficiente estructural ai (cm)	observación
<b>CAPA SUPERFICIAL</b>			
Carpeta asfáltica en caliente, modulo 2,965 MPa (430,000 PSI) A 20°C (68° F)	a <sub>1</sub>	0.170/cm	Capa superficial recomendada para todos los tipos de tráfico
Carpeta asfáltica en frio, mezcla asfáltica con emulsión.	a <sub>1</sub>	0.125/cm	Capa superficial recomendada para tráfico ≤ 1'000,000 EE
Micropavimento 25 mm	a <sub>1</sub>	0.130/cm	Capa superficial recomendada para tráfico ≤ 1'000,000 EE Capa superficial recomendada para tráfico ≤ 500,000 EE
Tratamiento superficial bicapa	a <sub>1</sub>	(*)	No aplica en tramos con pendientes mayores a 8% y en vías con curvas pronunciadas, curvas de volteo, curvas y contracurvas y en tramos que obliguen al frenado de vehículos. Capa superficial recomendada para tráfico ≤ 500,000 EE
Lechada asfáltica (slurry seal) de 12 mm	a <sub>1</sub>	(*)	No aplica en tramos con pendientes mayor a 8% y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
(*) no se considera por no tener aporte estructural			
<b>BASE</b>			
Base granular CBR 80% compactada al 100% de la MDS	a <sub>2</sub>	0.052/cm	Capa de base recomendada para tráfico ≤ 10'000,000 EE
Base granular CBR 100% compactada al 100% de la MDS	a <sub>2</sub>	0.054/cm	Capa de base recomendada para tráfico > 10'000,000 EE
Base granular tratada con asfalto (Estabilidad Marshall = 1500 lb)	a <sub>2</sub>	0.115/cm	Capa de base recomendada para todos los tipos de tráfico
Base granular tratada con cemento ( resistencia a la compresión 7 días= 35kg/cm <sup>2</sup> )	a <sub>2</sub>	0.070/cm	Capa de base recomendada para todos los tipos de tráfico
Base granular tratada con cemento ( resistencia a la	a <sub>2</sub>	0.080/cm	Capa de base recomendada para todos los tipos de tráfico

compresión 7 días=			
12kg/cm <sup>2</sup> )			
SUB BASE			
Sub base granular CBR			
40% compactada al 100% de la MDS	a <sub>3</sub>	0.047/cm	Capa de sub base recomendada con CBR mínimo 40% para todos los tipos de tráfico.

**Fuente:** "Manual de Carreteras" Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos; Sección: Suelos y Pavimentos R.D. N° 10-2014-MTC/14 – versión Abril 2014

La ecuación SN de AASHTO, también requiere del coeficiente de drenaje de las capas granulares de base y sub base. Este coeficiente tiene por finalidad tomar en cuenta la influencia del drenaje en la estructura del pavimento. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 141).

El valor del coeficiente de drenaje está dado por las variables que son:

- i. La calidad del drenaje
- ii. Exposición a la saturación, que es el porcentaje de tiempo durante el año en que un pavimento está expuesto a niveles de humedad que se aproximan a la saturación.

En el siguiente cuadro se presentan valores de calidad de drenaje con el tiempo que tarda el agua en ser evacuada.

**Tabla 28**

*Calidad del drenaje*

Calidad del drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	El agua no evacua

**Fuente:** "Manual de Carreteras" Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos; Sección: Suelos y Pavimentos R.D. N° 10-2014-MTC/14 – versión Abril 2014

El cuadro siguiente presenta valores de coeficiente de drenaje (m), para porcentajes del tiempo en que la estructura del pavimento está

expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación y calidad del drenaje. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 142).

**Tabla 29**

*Valores recomendados del coeficiente de drenaje (m) para bases y sub bases granulares no tratadas en pavimentos flexibles*

calidad del drenaje	P=% del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercano a la saturación			
	Menor que 1%	1% -5%	5% -25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40 -1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 -1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

**Fuente:** “Manual de Carreteras” Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos; Sección: Suelos y Pavimentos R.D. N° 10-2014-MTC/14 – versión Abril 2014

## 2.3.7 Evaluación de pavimentos

### a) Tipos de Evaluación

#### a.1) Evaluación estructural

##### a.1.1) Evaluación estructural por deflectometría

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. La deflexión es una medida de respuesta del conjunto “Pavimento – sub rasante” frente a una determinada sollicitación, indicando la adecuabilidad del pavimento desde el punto de vista estructural. La medición de las deflexiones se efectuara según lo especificado en el manual de ensayos de materiales del MTC. Una vez efectuadas las mediciones se elaborara un deflectograma, que permitirá analizar la variabilidad de la

capacidad estructural del pavimento existe, para finalmente determinar los sectores de características o comportamiento homogéneo, definiendo para cada sector homogéneo la correspondiente deflexión característica, que es el valor que mejor representa un determinado sector. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 171).

**Tabla 30**

*Definición de deflexión característica según tipo de carretera.*

Tipo de carretera	Deflexión característica Dc	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	$Dc=Dm +1.645xds$	Deflexión característica, para una confiabilidad de 95%
Carreteras Duales o Multicarril: Carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	$Dc=Dm +1.645xds$	Deflexión característica, para una confiabilidad de 95%
Carreteras de Primera Clase: Carreteras de IMDA entre 4000 y 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles	$Dc=Dm +1.645xds$	Deflexión característica, para una confiabilidad de 95%
Carreteras de Segunda Clase: Carreteras de IMDA entre 2000 y 401 veh/día, de una calzada de dos carriles	$Dc=Dm +1.282xds$	Deflexión característica, para una confiabilidad de 90%
Carreteras de Tercera Clase: Carreteras de IMDA entre 400 y 201 veh/día, de una calzada de dos carriles	$Dc=Dm +1.282xds$	Deflexión característica, para una confiabilidad de 90%
Carreteras de Bajo Volumen de Transito: Carreteras de IMDA entre $\leq 200$ veh/día, de una calzada	$Dc=Dm +1.306xds$	Deflexión característica, para una confiabilidad de 85%

**Nota:** Dc= Deflexión Característica, Dm= Deflexión media, ds= desviación estándar

**Fuente:** Manual de Carreteras (Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos) – Sección Suelos y Pavimentos R.D.N° 10-2014-MTC/14

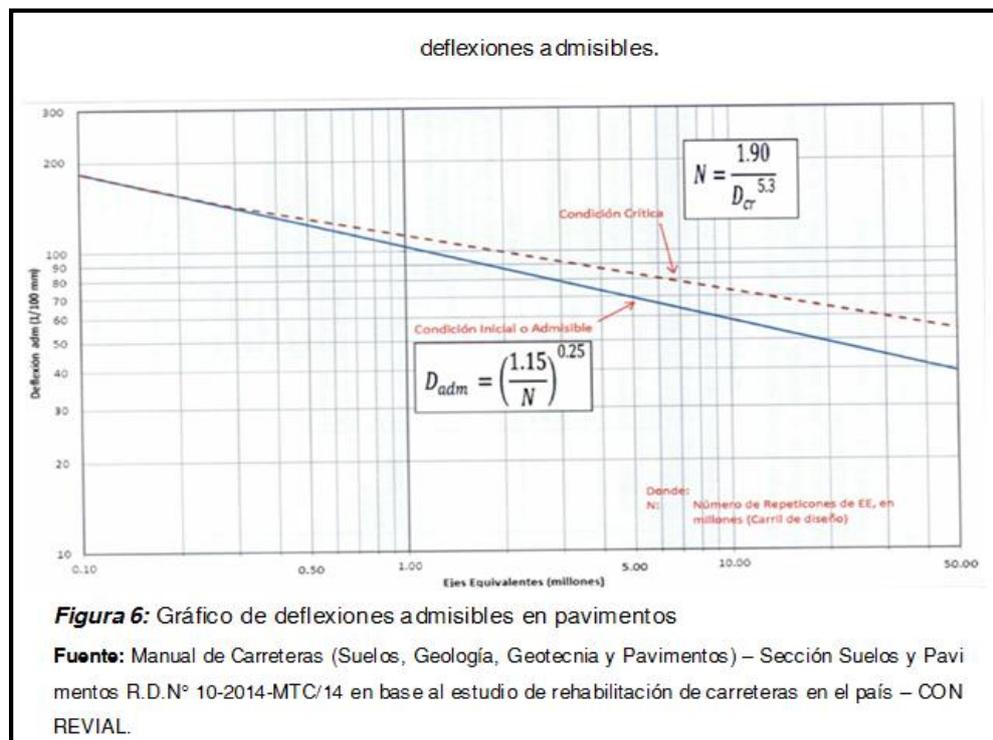
Las deflexiones se comparan con el valor límite admisible, que es la deflexión tolerable que garantiza un comportamiento satisfactorio del pavimento en relación con el tráfico que debe soportar. Se ha adoptado la relación propuesta para el paquete estructural del pavimento, por CONREVIAl (Estudio de Rehabilitación de carreteras del país, MTC-Perú). (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 172).

$$D_{adm} = (1.15/N)^{0.25} \quad \dots\dots\dots \text{Ec 21}$$

**Dónde:**

D<sub>adm</sub>= Deflexión admisible en mm (a comparar con deflexiones viga Benkelman)

N= Numero de repeticiones de ejes equivalentes en millones



## a.2) Evaluación superficial

Existen diversos métodos de evaluación de pavimentos, que son aplicables a calles y carreteras, entre los aplicables al presente estudio están:

### i. Vizir

Paredes, 2012. Es un índice que representa la degradación superficial de un pavimento, representando una condición global que permitirá tomar algunas medidas de mantenimiento y rehabilitación. Este índice ha sido desarrollado por el Laboratoire

Central des Ponts et Chaussées – France o por sus siglas en inglés LCPC. El sistema VIZIR, es un sistema de simple comprensión y aplicación que establece una distinción clara entre las fallas estructurales y las fallas funcionales y que ha sido adoptado en países en vía de desarrollo y en especial en zonas tropicales. (Pág. 3).

**Calificación:**

El objeto del proceso de calificar la condición superficial de un pavimento flexible (asfáltico) de la carretera por secciones de 200m de calzada y bermas.

Para cada sección de 200 m se califica la condición de la capa de rodadura del pavimento de la calzada y de las bermas, considerando cada tipo de deterioro o falla según el nivel de gravedad de dicho tipo y su clase de extensión.

La suma total no debe ser mayor a 1000, en tal sentido la calificación de la condición resulta de la diferencia de la suma total menos la suma puntaje de condición. (Manual de conservación y Mantenimiento Vial 2014. Pág. 108)

Tal como se indica a continuación:

**Calificación de la condición = 1000 – suma puntaje de condición**

La calificación de condición representa la condición superficial del pavimento flexible y se sintetiza en tres tipos de condición:

- i. Bueno
- ii. Regular
- iii. Malo

Los rangos de calificación de condición para asignar la condición superficial del pavimento flexible, de la calzada incluyendo las bermas, en uno de los tipos de condición son:

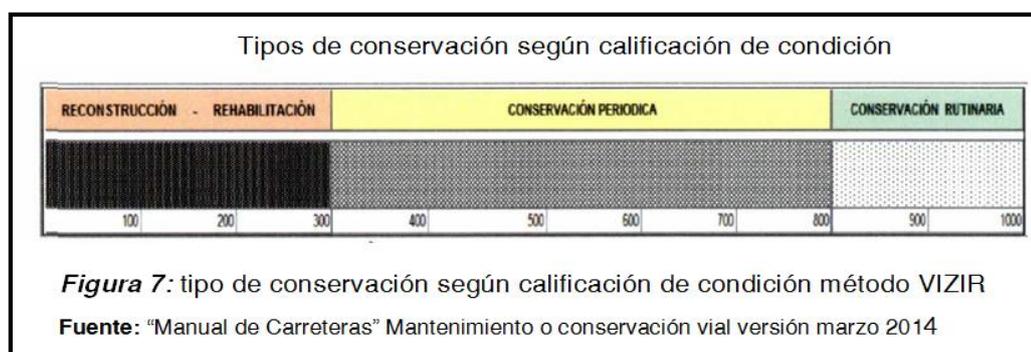
**Tabla 31**

*Tipos de condición según calificación de condición*

Condición	Calificación
Bueno	>800
Regular	>300 y ≤ 800
Malo	≤300

**Fuente:** "Manual de Carreteras" Mantenimiento o conservación vial versión marzo 2014

De acuerdo a la calificación de condición superficial del pavimento flexible se podrá estimar el tipo de conservación a realizar en cada sección de 200m de longitud. (Manual de conservación y Mantenimiento Vial 2014. Pág. 109)



## ii. FHWA / OH99 / 004

Paredes, 2012. Este índice presenta una alta claridad conceptual y es de sencilla aplicación, pondera los factores dando mayor énfasis a ciertos deterioros que son muy abundantes o importantes en regiones donde hay estaciones muy marcadas pero no en áreas tropicales. (Pág. 3).

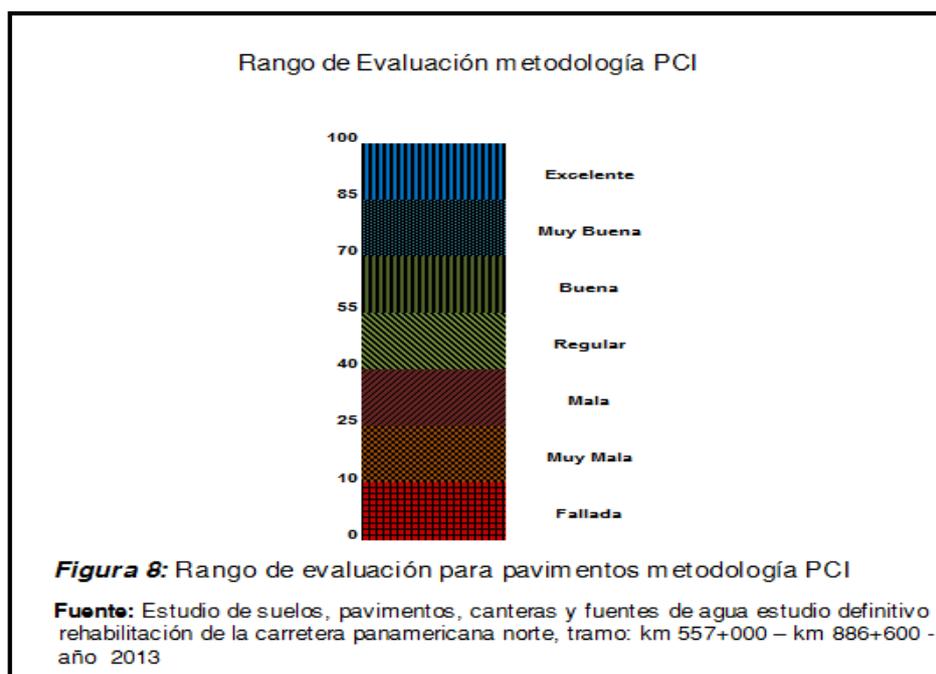
## iii. ASTM D 6433-99

También conocido como Present Condition Index, o por sus siglas PCI. Este índice sirve para representar las degradaciones superficiales que se presentan en los pavimentos flexibles y de hormigón. Ha sido desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos (Shahin, 1976 – 1994); utilizado

para la evaluación de aeropuertos, caminos y lotes de parqueaderos. (Paredes, 2012. Pág. 3).

#### iv. PCI (índice de condición del pavimento)

El Índice de Condición del Pavimento es una calificación numérica asociada a la condición del pavimento que varía entre 0 y 100, valores a los cuales se asocia una descripción verbal que varía de Colapsado a Excelente, según se muestra a continuación:



#### 2.3.8 Deterioros/fallas en pavimentos flexibles

Según: Manual de Carreteras: Mantenimiento o Conservación Vial 2014 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.

##### a) Clasificación de los deterioros o fallas

Los deterioros/fallas de los pavimentos flexibles pueden clasificarse en dos grandes categorías: los deterioros / fallas estructurales y los deterioros / fallas superficiales. Los deterioros de la primera categoría se asocian generalmente con obras de rehabilitación de costo alto. Los deterioros de la segunda categoría se relacionan generalmente con obras de mantenimiento periódico. (Manual de conservación y Mantenimiento Vial 2014. Pág. 86)

### **a.1) Deterioros/Fallas estructurales**

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 superficie. (Manual de conservación y Mantenimiento Vial 2014. Pág. 88)

Las cargas circulantes resultan generalmente en:

- i. Deformaciones verticales elásticas del material de las capas granulares y del suelo de subrasante.
- ii. Deformaciones horizontales elásticas de tensión por flexión en la parte inferior de las capas asfálticas.

Los deterioros o fallas (deformación y/o figuración) no aparecen de inmediato (en general), sino al cabo de la repetición de cargas definida por la curva de fatiga de cada material.

#### **a.1.1) Tipos de fallas estructurales**

##### **1. Deterioro/Falla 1: Piel de cocodrilo**

###### **Descripción**

La piel de cocodrilo está constituida por fisuras que forman polígonos irregulares de ángulos agudos. Puede ser en su principio, poco grave, mostrando polígonos incompletos dibujados en la superficie por fisuras cerradas (es decir, de ancho nulo). El tamaño de la malla disminuye luego bajo el efecto de las condiciones climáticas y del tráfico. Las fisuras se abren y se observan pérdidas de material en sus bordes. (Manual de conservación y Mantenimiento Vial 2014. Pág. 88)

###### **Causas**

(...) Es consecuencia del fenómeno de fatiga de las capas asfálticas sometidas a una repetición de cargas superior a la permisible. Es indicativo de insuficiencia estructural del pavimento.

###### **Niveles de gravedad**

El criterio principal es el orden de magnitud de la malla.

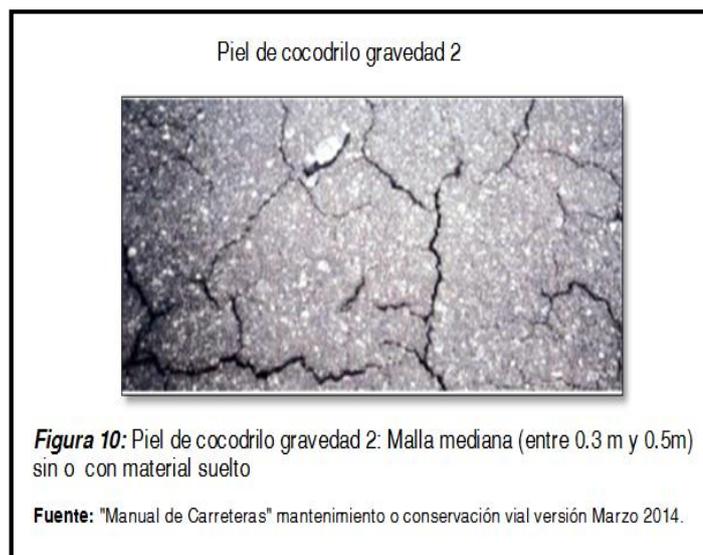
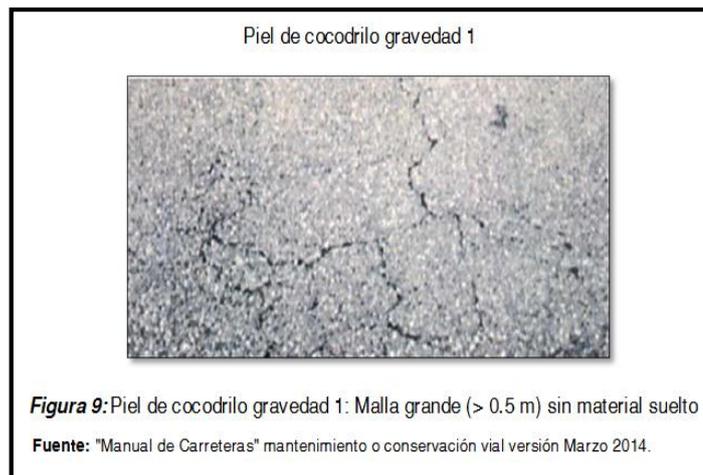
- i. Malla Grande (> 0.5m) sin material suelto
- ii. Malla Mediana (entre 0.3 y 0.5m) sin o con material suelto.
- iii. Malla Pequeña (<0.3m) sin o con material suelto

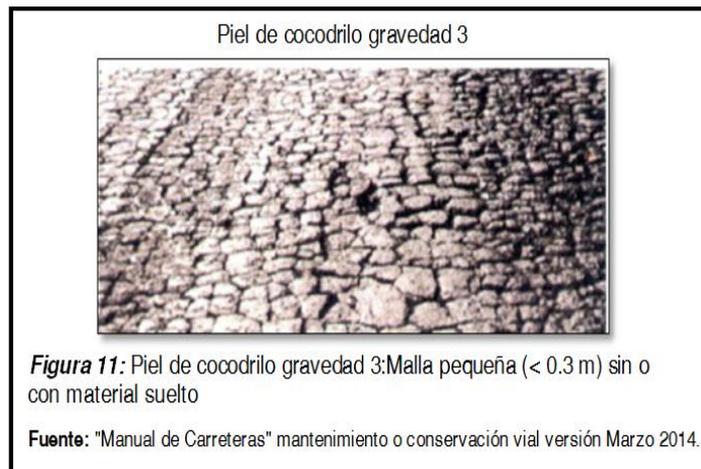
El nivel 1 corresponde a la aparición de red en la superficie. Las fisuras no tienen generalmente un ancho significativo. Se abren en los niveles 2 y 3. (Manual de conservación y Mantenimiento Vial 2014. Pág. 88)

### Posibles medidas correctivas

Según la gravedad de la piel de cocodrilo y su extensión, así como de otros elementos de diagnóstico (deformaciones, deflexión y rugosidad), se consideran:

- i. Ninguna medida.
- ii. Reparaciones por sello o carpeta asfáltica con mezcla en caliente.
- iii. Sello o carpeta asfáltica.
- iv. Rehabilitación o reconstrucción.





## 2. Deterioro/Falla 2: Fisuras longitudinales

### Descripción

En este rubro se incluyen las fisuras longitudinales de fatiga. Discontinuas y únicas al inicio, evolucionan rápidamente hacia una figuración continua y muchas veces ramificada antes de multiplicarse debido al tráfico, hasta convertirse en muy cerradas. (Manual de conservación y Mantenimiento Vial 2014. Pág. 89)

### Causas

El deterioro/falla es consecuencia del fenómeno de fatiga de las capas asfálticas sometidas a una repetición de cargas superior a la permisible. Es indicativo de insuficiencia estructural del pavimento. Esta falla comienza en la parte inferior de las capas asfálticas. La figuración se propaga a la superficie.

### Niveles de gravedad

El criterio principal es el orden de magnitud de la malla.

- i. Fisuras finas en las huellas del tránsito (ancho  $\leq 1\text{mm}$ )
- ii. Fisuras medias, corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho  $> 1\text{mm}$  y  $\leq 3\text{mm}$ )
- iii. Fisuras gruesas, corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho  $> 3\text{mm}$ ). También se denominan grietas.

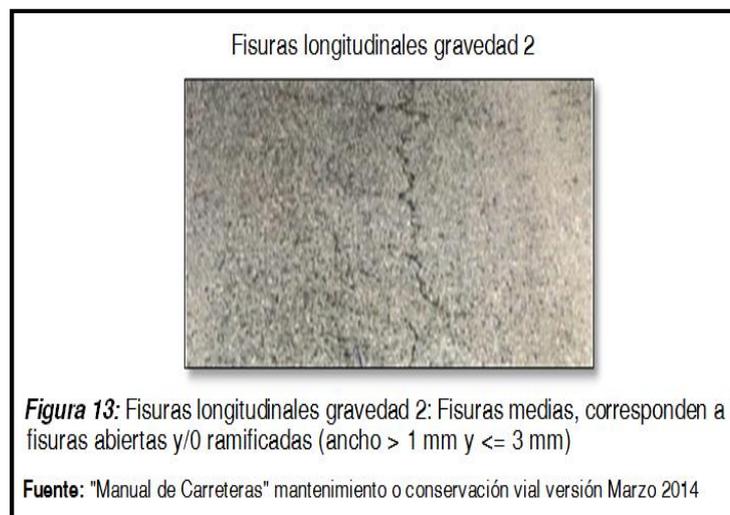
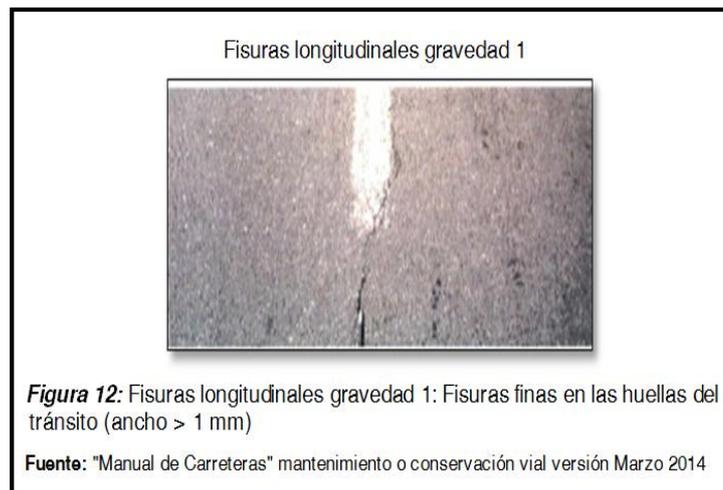
Fisuras longitudinales y transversales: el nivel 1 corresponde al concepto de AASHTO de << hairline crack >> (<< fisura como un cabello >>), se puede considerar que el ancho es generalmente inferior a un mm. En cuanto a las fisuras abiertas de gravedad 2, se considera que su ancho es generalmente superior a un mm con

bordes verticales (sin desintegración de bordes) y menor o igual a 3mm. Se vuelven gravedad 3 cuando los bordes se desintegran y tienen un ancho superior a 3mm.

### **Posibles medidas correctivas**

Según la gravedad de las fisuras y su extensión, así como de otros elementos de diagnóstico (deformaciones, deflexión y rugosidad), se consideran:

- i. Ninguna medida
- ii. Reparaciones por sello o carpeta asfáltica con mezcla en caliente
- iii. Sello o carpeta asfáltica
- iv. Rehabilitación o reconstrucción.





### 3. Deterioro/Falla 3: Deformación por deficiencia estructural

#### Descripción

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

- i. Las deformaciones por deficiencia estructural, depresiones continuas (deterioro 3a) o localizadas (deterioro 3b).
- ii. El ahuellamiento (deterioro 4) relacionado con el comportamiento inestable de la capa de rodadura.

En todos los casos, su gravedad es anotada por la profundidad medida sobre una regla rígida de 1.50m de longitud colocada transversalmente en la calzada. El presente rubro se refiere a las deformaciones por deficiencia estructural.

La depresión localizada es un hundimiento de la superficie del pavimento en un área localizada del mismo. 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. (Manual de conservación y Mantenimiento Vial 2014. Pág. 91)

#### Causas

Los deterioros o fallas 3a y 3b 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. (Manual de conservación y Mantenimiento Vial 2014. Pág. 91)

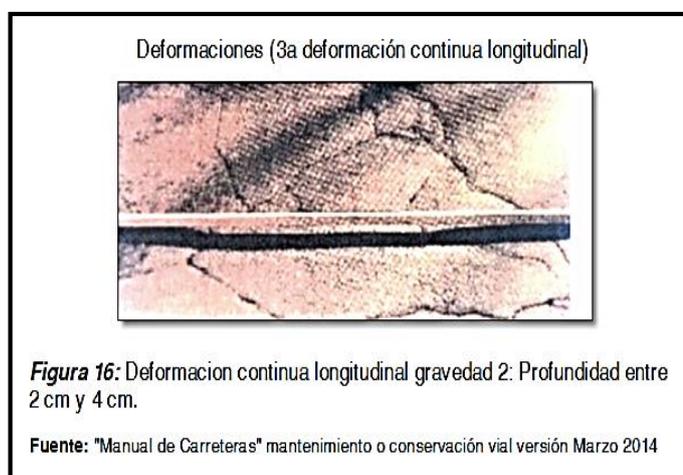
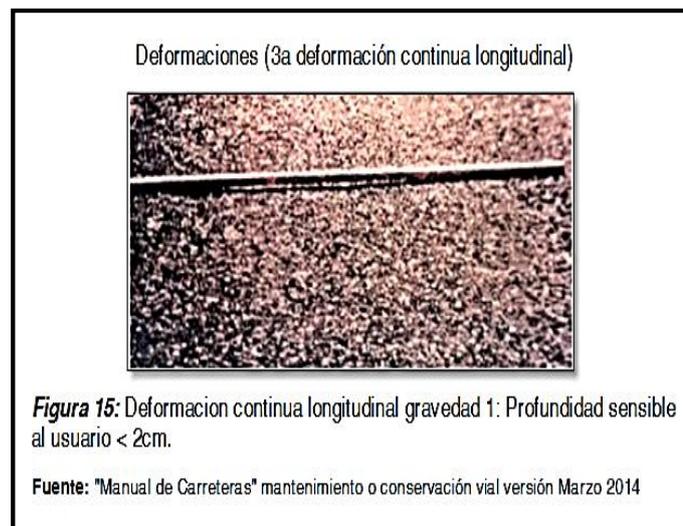
## Niveles de gravedad

- i. Profundidad sensible al usuario < 2cm
- ii. Profundidad entre 2 cm y 4 cm
- iii. Profundidad  $\geq$  4 cm

## Posibles medidas correctivas

Según la gravedad de las deformaciones (ahuellamiento y hundimiento), así como de otros elementos de diagnóstico (fisuraciones, deflexión y rugosidad), se consideran:

- i. Ninguna medida
- ii. Reparaciones por carpeta asfáltica con mezcla en caliente
- iii. Carpeta asfáltica
- iv. Rehabilitación o reconstrucción parcial o total (incluyendo el drenaje si fuera necesario).



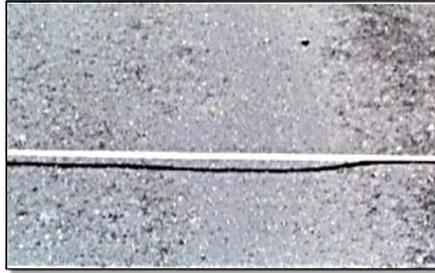
Deformaciones (3a deformación continua longitudinal)



**Figura 17:** Deformación continua longitudinal gravedad 3: Profundidad mayor a 4 cm

**Fuente:** "Manual de Carreteras" mantenimiento o conservación vial versión Marzo 2014

Deformaciones (3b hundimientos)



**Figura 18:** Deformación (3b hundimientos) gravedad 2: Profundidad entre 2 cm y 4 cm

**Fuente:** "Manual de Carreteras" mantenimiento o conservación vial versión Marzo 2014

Deformaciones (3b hundimientos)



**Figura 19:** Deformación (3b hundimientos) gravedad 3: Profundidad mayor 4 cm.

**Fuente:** "Manual de Carreteras" mantenimiento o conservación vial versión Marzo 2014

#### **4. Deterioro/Falla 4: Ahuellamiento**

##### **Descripción**

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

- i. Las deformaciones por deficiencia estructural, depresiones continuas (deterioro 3a) o localizadas (deterioro 3b).
- ii. El ahuellamiento (deterioro 4) relacionado con el comportamiento inestable de la capa de rodadura.

En todos los casos, su gravedad es anotada por la profundidad medida sobre una regla rígida de 1.50m de longitud colocada transversalmente en la calzada. El presente rubro se refiere a las deformaciones por comportamiento visco-elástico de la capa de rodadura (deterioro 4). La huella aparece en el trazado de las ruedas, en un ancho inferior a 0.8m, sobre los laterales del pavimento de 0.5 a 0.8m del borde, debido a un comportamiento visco-elástico de la capa de rodadura bajo un tráfico pesado y canalizado. (Manual de conservación y Mantenimiento Vial 2014. Pág. 94)

##### **Causas**

Esta puede provenir de las siguientes causas probables:

- i. Defecto de la dosificación de asfalto
- ii. Inadecuación entre el tipo de asfalto y la temperatura de la capa de rodadura
- iii. Inadecuación entre la gradación de los agregados y la temperatura de la capa de rodadura
- iv. Inadecuación entre la gradación de los agregados y la clase de tránsito

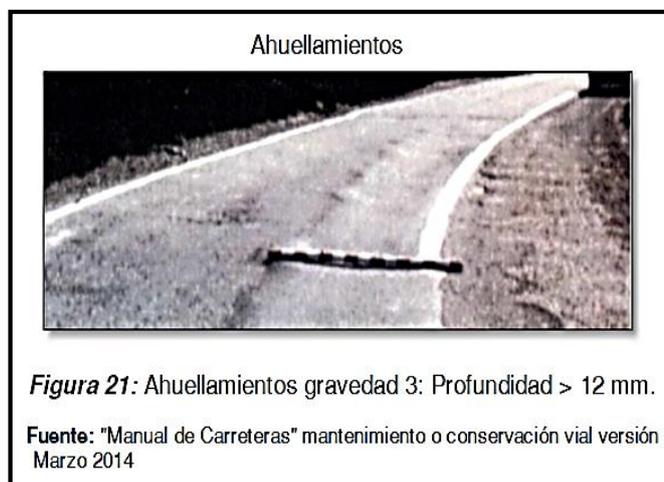
##### **Niveles de gravedad**

- i. Profundidad  $\leq 6$  mm
- ii. Profundidad  $> 6$  mm y  $\leq 12$  mm
- iii. Profundidad  $> 12$  mm

##### **Posibles medidas correctivas**

Según la gravedad de las deformaciones (ahuellamiento y hundimiento), así como de otros elementos de diagnóstico (deflexión y rugosidad), se consideran:

- i. Ninguna medida
- ii. Reparaciones con mezcla en caliente
- iii. Carpeta asfáltica
- iv. Fresado y Carpeta asfáltica
- v. Rehabilitación o reconstrucción parcial o total (incluyendo el drenaje si fuera necesario).



## 5. Deterioro/Falla 5: Reparaciones o parchados

### Descripción

Las reparaciones están destinadas a mitigar los defectos del pavimento, de manera provisional o definitiva: su número, su extensión y su frecuencia son elementos de diagnóstico. Una reparación reciente enmascara un problema, reparaciones

frecuentes lo subrayan. Las reparaciones deben ser calificadas en el momento del examen visual, pues algunas de ellas son tomadas en cuenta para determinar el estado estructural del pavimento. Si la reparación se aplica a deterioros/fallas superficiales y erradica el defecto, no se usara para calificar el estado estructural del pavimento. Si se aplica a la figuración estructural, se considera como factor agravante. Dichos criterios resultan en los niveles de gravedad definidos más abajo. (Manual de conservación y Mantenimiento Vial 2014. Pág. 95)

### **Causas**

Las reparaciones son indicativas de insuficiencia estructural del pavimento o de deterioros/fallas superficiales. No requieren medidas correctivas.

### **Niveles de gravedad**

- i. Reparación o parchado para deterioros/fallas superficiales
- ii. Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en buen estado
- iii. Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en mal estado.





## a.2) Deterioros/Fallas Superficiales

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. (Manual de conservación y Mantenimiento Vial 2014. Pág. 97)

### a.2.1) Tipos de fallas superficiales

#### 1. Deterioro/Falla 1: Peladura y desprendimientos

##### Descripción

Este deterioro incluye:

- i. La desintegración superficial de la carpeta asfáltica debida a la pérdida del ligante bituminoso o del agregado (peladura).
- ii. La pérdida total o parcial de la capa de rodadura, (desprendimiento).

##### Causas

Esta falla indica las siguientes causas probables:

- i. Defecto de adherencia del asfalto o dosificación del mismo
- ii. Asfalto defectuoso o endurecido y perdiendo sus propiedades ligantes.
- iii. Agregados defectuosos (sucios o muy absorbentes)
- iv. Defectos de construcción
- v. Efecto de agentes agresivos (solventes, agua, etc.).

##### Niveles de gravedad

- i. Puntual sin aparición de la base granular (peladura superficial)

- ii. Continuo sin aparición de la base granular o puntual con aparición de la base granular
- iii. Continuo con aparición de la base granular

**Posibles medidas correctivas**

Según la gravedad de los desprendimientos y su extensión, se consideran las siguientes medidas correctivas, en ausencia de otros deterioros/fallas:

- i. Ninguna medida
- ii. Reparaciones con mezcla en caliente o tratamiento superficial
- iii. Carpeta asfáltica, tratamiento superficial





## 2. Deterioro/Falla 2: Baches (Huecos)

### Descripción

Los baches o huecos con consecuencia normalmente del desgaste o de la destrucción de la capa de rodadura. Cuando aparecen, su tamaño es pequeño. Por falta de mantenimiento ellos aumentan y se reproducen en cadena, muchas veces con una distancia igual al perímetro de una rueda de camión. (Manual de conservación y Mantenimiento Vial 2014. Pág. 99)

### Causas

Esta falla proviene de la evolución de otros deterioros y carencia de conservación vial:

- i. Desprendimiento
- ii. Fisuración de fatiga

### Niveles de gravedad

- i. Diámetro < 0.2 m
- ii. Diámetro entre 0.2 y 0.5 m
- iii. Diámetro > 0.5 m.

### Posibles medidas correctivas

Según la gravedad de los baches o huecos y su extensión, se consideran las siguientes medidas correctivas, en ausencia de otros deterioros/fallas:

- i. Ninguna medida
- ii. Reparaciones por carpeta asfáltica con mezcla en caliente
- iii. Rehabilitación o reconstrucción



### 3. Deterioro/Falla 3: Fisuras transversales

#### Descripción

Las fisuras transversales son fracturas del pavimento, transversales (o casi) al eje de la vía. (Manual de conservación y Mantenimiento Vial 2014. Pág. 100)

#### Causas

Esta puede prevenir de las siguientes causas:

- i. Retracción térmica de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debido a un exceso de filler o envejecimiento del asfalto.
- ii. Reflexión de grietas de capas inferiores y apertura de juntas de construcción defectuosas.

#### Niveles de gravedad

Son iguales a los niveles definidos para las fisuras longitudinales

- i. Finas (ancho  $\leq 1$  mm).
- ii. Fisuras medias, corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho  $> 1$  mm y  $\leq 3$  mm).

- iii. Fisuras gruesas, corresponden fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho  $> 3$  mm). También se denominan grietas.

Fisuras longitudinales y transversales: el nivel 1 corresponde al concepto del AASHTO de <<hairline crack>> (<< fisura como un cabello>>), se puede considerar que el ancho es generalmente inferior a 1,0 mm. En cuanto a las fisuras abiertas de gravedad 2, se considera que su ancho es generalmente superior a un mm con bordes verticales (sin desintegración de bordes) y menor o igual a 3 mm. Se vuelven gravedad 3 cuando los bordes se desintegran y tiene un a ancho superior a 3 mm.

### **Posibles medidas correctivas**

Según la gravedad de las fisuras transversales y de los otros deterioros y su extensión, se consideran las siguientes medidas correctivas:

- i. Ninguna medida
- ii. Reparaciones con carpeta asfáltica con mezcla en caliente
- iii. Rehabilitación o reconstrucción.





### 2.3.9 Rehabilitación de pavimentos

#### Generalidades

Marchan, (2005). Al iniciarse en nuestro país la construcción de carreteras se utilizaron procedimientos constructivos rudimentarios, pero acordes a las necesidades de la época, aun cuando en ciertos aspectos técnicos, como lo es el de la utilización de materiales, no se tenían las bases necesarias para optimizar su empleo. Con forme paso el tiempo los procedimientos y equipos de construcción fueron mejorando, aumentándose a esto la implantación de técnicas de laboratorio, para efectuar un control de calidad en los materiales, lo que permitió se construyesen mejores obras viales. (Pág. 120)

Las fuertes cargas producidas por los vehículos automotores, su velocidad de tránsito, el número de sus repeticiones, etc., hicieron que las técnicas de construcción y reconstrucción de pavimentos hayan sufrido una evolución. En la técnica de los pavimentos flexibles o asfálticos y a lo cual se refieren en éste trabajo, existen especificaciones respecto a la calidad de los materiales que vayan a ser usados en la construcción de las diferentes capas que constituyen este tipo de pavimento. Una de las principales inversiones posibles en los caminos es lo referente a la conservación o mantenimiento, ya que si esta es adecuada, no solo garantiza la inversión inicial de la construcción, si no que alarga la

vida tanto del camino como de los vehículos que lo usan. La conservación es un problema tanto económico como técnico, y para la ejecución de los trabajos, estos deben efectuarse oportunamente con el fin de que los gastos que se hagan sean mínimos. Sin embargo, es necesario contar con recursos económicos disponibles y personal con experiencia, ya que sin ello todos los sistemas, materiales y equipo que se empleen, por buenos que sean, tendrán como resultado pérdidas económicas y trabajos defectuosos. En lo que se refiere a reconstrucción de caminos, en la actualidad se le presta gran atención a una nueva técnica que se ha denominado con el término de “Reciclado de pavimentos” o “Recirculación de pavimentos”. (Marchan, 2005. Pág. 121).

#### **Mantenimiento tradicional en pavimentos flexibles.**

Considerando que, de todos los elementos que constituyen un camino, la superficie de rodamiento es lo que más determina la posibilidad de un tránsito rápido, cómodo, y seguro, será por demás importante el corregir oportunamente sus deterioros para evitar que progresen y obliguen a una reconstrucción total para su arreglo.

Desde hace ya algunos años, tradicionalmente se le ha dado mantenimiento normal a los pavimentos flexibles mediante bacheo, sellado de grietas, riego y Renivelación, que bien pueden utilizarse en forma aislada o combinada. A continuación se describen, en términos generales, cada uno de estos trabajos. (Marchan, 2005. Pág. 121).

**a). Relleno de grietas.** Los procedimientos constructivos a utilizar para efectuar la corrección de grietas están en función del tipo (aislado o abundante), del ancho y de la profundidad de los mismos; estos procedimientos van desde relleno de grietas utilizando un producto asfáltico, mortero asfáltico o bien tratamientos superficiales, hasta la programación de una carpeta nueva o sobre carpeta.

**b). Renivelación.** La manera de efectuar la Renivelación, depende de la magnitud de la deformación, los trabajos para corregir dicha

deformación puede ser el sistema de riegos superficiales o bien usando mezcla asfáltica.

**c). Bacheo.** Es reponer una porción de la superficie de rodamiento que ha sido destruida por el tránsito. Estas porciones se dividen por su tamaño en “calaveras” y baches, según sea su dimensión mayor, respectivamente, inferior o superior a quince centímetros (15 cm.) Los métodos para su corrección se basan en la forma de aparición de las “calaveras” y / o baches (Aislados o continuos), a lo largo del camino y de las dimensiones de las mismas. El procedimiento para su reparación deberá ser utilizando mezcla asfáltica.

**d). Riego de sello.** Este procedimiento se puede definir como la capa de material pétreo que se liga a la carpeta por medio de un producto asfáltico.

Atendiendo a la magnitud de los trabajos y organización establecida para efectuarlos, se considera al riego de sello como una labor de reconstrucción cuando la superficie tratada exceda de mil (1000) metros lineales continuos. (Marchan, 2005. Pág. 122).

Los casos en los que se recomienda el riego de sello son los siguientes:

- i. Cuando se quiera proporcionar una superficie de desgaste a una carpeta.
- ii. cuando la carpeta existente este agrietada y / o tenga textura muy abierta, para evitar que se introduzca agua y especialmente que ésta llegue a la base.
- iii. Dar rugosidad a la superficie para hacerla antiderrapante.
- iv. Reavivar el asfalto de una carpeta expuesta a la acción de la intemperie.
- v. Proteger la carpeta cuando se inicia el proceso de desgranamiento y / o desgaste

**Construcción de una carpeta nueva o de una sobre carpeta.**

Cuando se pretende construir una sobre carpeta deberán efectuarse previamente los trabajos de conservación normal que requiera la carpeta existente. (Marchan, 2005. Pág. 127).

Las carpetas o las sobrecarpetas asfálticas deberán satisfacer los siguientes requisitos:

- a) No deberán desplazarse ni desintegrarse por la acción del tránsito, durante su vida útil.
- b) Deberán tener resistencia al intemperismo.
- c) Deberán soportar, sin agrietarse, pequeñas deformaciones.

**Procedimiento:**

**Utilizando el sistema de carpeta asfáltica de mezcla en el lugar.**

Cuando se trata de construir una carpeta nueva, deberá colocarse sobre una base debidamente construida e impregnada, cuando se quiere construir una sobre carpeta, deberán efectuarse previamente todos los trabajos de conservación normal que se requieran. (Marchan, 2005. Pág. 129).

La secuencia que deberá seguirse para la aplicación de este sistema es la siguiente.

- a) Sobre la base impregnada, o sobre la carpeta existente, debidamente limpia, se deberá dar un riego de liga en toda la superficie que quedará cubierta por la carpeta o por la sobre carpeta.
- b) Cuando el asfalto del riego de liga haya adquirido la viscosidad adecuada, se iniciará el tendido de la mezcla asfáltica. Previamente al tendido, los materiales que constituirán la carpeta o la sobre carpeta asfáltica se mezclarán a lo largo del camino con la utilización de la motoconformadora.
- c) Inmediatamente después del tendido de la mezcla, el cual también se hace con la motoconformadora, se procederá a su compactación. En un principio la compactación se hará utilizando un rodillo liso, continuándola con un compactador neumático, posteriormente se volverá a usar el rodillo liso con el objeto de borrar la huella que deje el compactador neumático.

**Utilizando el sistema de mezcla en planta.**

El proceso para efectuar la construcción de la carpeta o de la sobre carpeta utilizando el Sistema de mezcla en planta. (Marchan, 2005. Pág. 130), es el siguiente:

**a)** Sobre la base impregnada, o sobre la carpeta existente limpia, se dará un riego de liga en la superficie que quedará cubierta por la carpeta o por la sobre carpeta.

**b)** Esta etapa corresponde a la transportación de la mezcla asfáltica al lugar de tendido. Previamente a la transportación, deberá efectuarse al mezclado de los materiales que conforman la carpeta en una planta estacionaria.

**c)** Cuando los camiones que efectuarán el transporte de la mezcla asfáltica lleguen al sitio donde se realizará el tendido, estos deberán vaciarla dentro de la caja receptora de una máquina especial para este trabajo, denominada esparcidor, extendedora o terminadora. Esta máquina es de propulsión propia con dispositivos para ajustar el espesor y el ancho de la mezcla tendida. La mezcla asfáltica deberá tenderse a una temperatura mínima de ciento diez grados centígrados. (110° C).

**d)** Inmediatamente después del terminado de la mezcla asfáltica, deberá compactarse por medio de un compactador liso; a continuación se empleará un compactador de neumáticos y por último, nuevamente el compactador liso.

Una vez que han sido analizados todos los factores señalados y que se ha determinado que el refuerzo del pavimento es la medida de rehabilitación más adecuada, se requiere cuantificar la magnitud de dicho refuerzo, establecer las normas y especificaciones a que deberá sujetarse su construcción y señalar la necesidad, de obras de drenaje y / o sub.-drenaje y de todas aquellas que aseguren al máximo el comportamiento satisfactorio del pavimento.

### **2.3.10 Factores externos que afectan un pavimento**

#### **a). El clima**

En el territorio Peruano se distinguen Tres Regiones Naturales: Costa, de clima mediatizado y sin lluvias, la Sierra de temperaturas más marcadas en mínimos y máximos con lluvias moderadas; la Selva, de naturaleza tropical con temperaturas altas y lluvias muy fuertes. Una subregión en la costa norte es calurosa por ser parte

de la zona ecuatorial y en el caso peruano con esporádicas presencias de lluvias tropicales cuando se presenta el fenómeno del Niño, otro factor externo que tiene efectos sobre el comportamiento de los pavimentos rígidos y flexibles es el nivel freático, todos juegan un papel clave para el comportamiento del pavimento. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 77)

En la estructura del pavimento, la humedad y la temperatura son dos de las variables que pueden significativamente afectar la capa de pavimento y las propiedades de la subrasante, y por tanto, su capacidad de soportar cargas.

### **b). Temperatura**

Normalmente en los territorios alto-andinos del Perú, las temperaturas de los pavimentos en los meses de julio a octubre presentan variaciones diarias en rangos cercanos a 40 °C y principalmente fenómenos de “heladas” con fuertes radiaciones solares y vientos fríos, esto es un criterio muy importante a tenerse en cuenta. La T° afecta directamente a la carpeta asfáltica (CA), las bajas temperaturas tienen influencia en la aparición de agrietamientos por fatiga la que se potencia con el ahuellamiento. Por otra parte las temperaturas altas tienen influencia en el ahuellamiento. En los pavimentos rígidos con diferencias fuertes de temperatura se pueden levantar las esquinas debilitándose hasta su rompimiento. Los agrietamientos por baja temperatura y por fatiga incrementan los costos de conservación; y el ahuellamiento causa adicionalmente problemas de seguridad relacionado con el patinaje de los vehículos. En función de las temperaturas regionales distintas debe seleccionarse la aplicación de asfaltos con rangos distintos de penetración, tal como se indica en la presente tabla. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 77)

**Tabla 32**

*Selección del tipo de cemento asfáltico*

Temperatura Media Anual			
24° C o mas	24° C - 15° C	15° C- 5° C	Menos de 5° C
40 - 50 o'		85 - 100	Asfalto Modificado

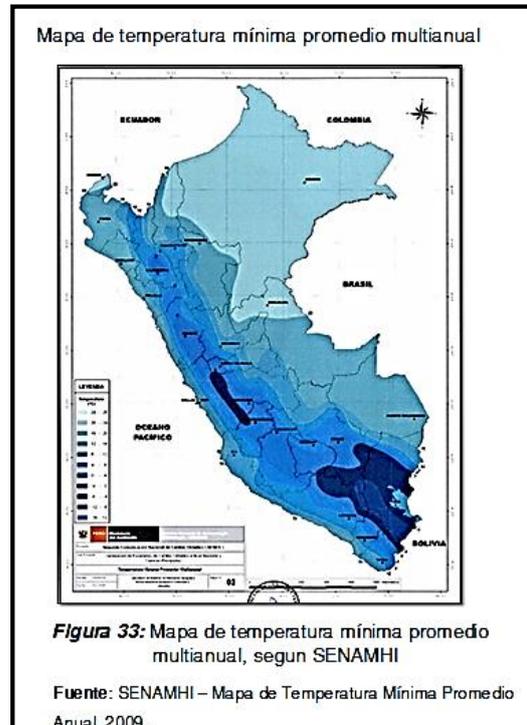
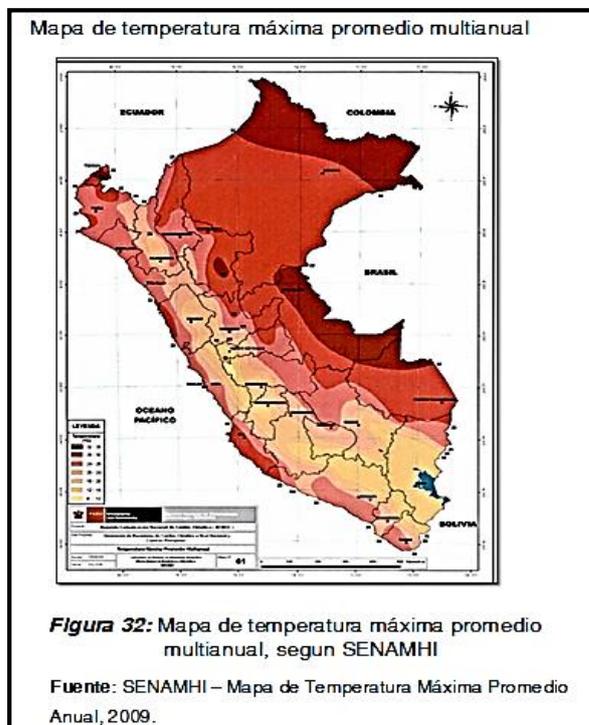
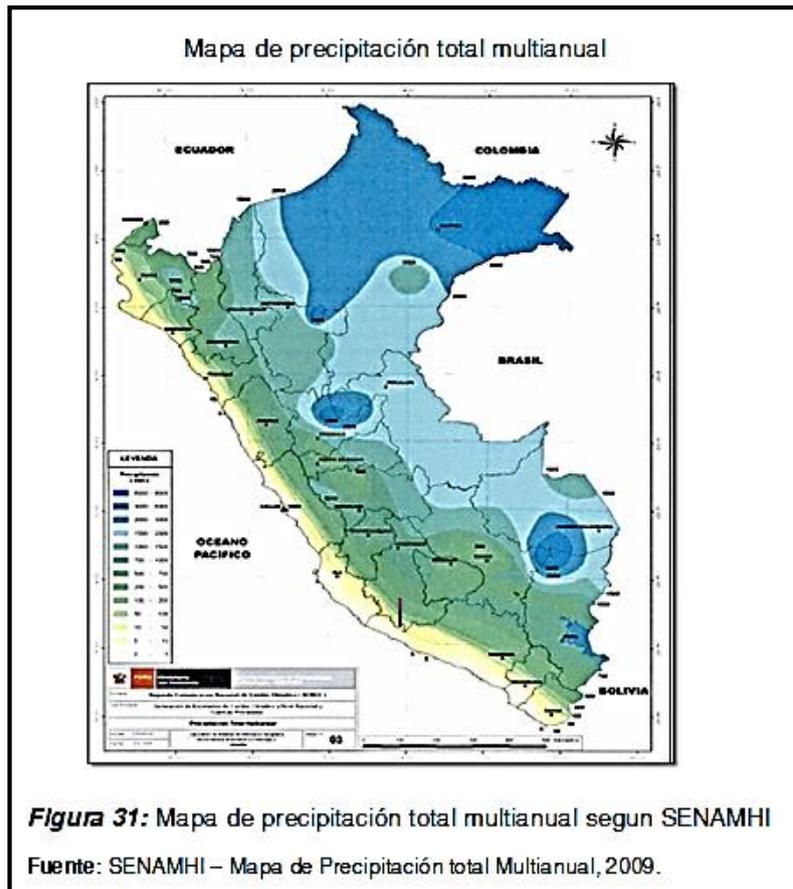
60 - 70 o' Modificado	60 - 70 (* )	120 - 150 (* )
--------------------------	-----------------	-------------------

**Nota:**(\*) Tomar en cuenta lo establecido en Manual de Carreteras: Especificaciones técnicas para Construcción Vigente.

**Fuente:** "Manual de Carreteras": Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección: Suelos y Pavimentos.

### **c). Las precipitaciones de Lluvias**

Las lluvias afectan fuertemente los requerimientos del diseño de las capas granulares y del diseño de los pavimentos, sea directamente por su presencia superficial sobre la superficie del camino y su percolación hacia el interior del pavimento, o sea por el efecto originado por la presencia de aguas cercanas al camino en lagunas y en corrientes de aguas superficiales y/o subterráneas que elevan el nivel de la capa freática bajo la plataforma del camino y la modifican según corresponda al periodo mensual de las lluvias. Un nivel freático alto cercano a las capas superiores de la sub rasante de diseño del proyecto, pueden desestabilizarlas por el fenómeno de la capilaridad del material utilizado. Para el futuro la utilización de las nuevas metodologías de la gestión vial orientadas hacia el análisis más sofisticado de los materiales que se utilizan en la construcción vial con el objeto de lograr pavimentos con horizontes de vida de 50 años, requerirá como lo indica AASHTO de la implantación de una sistematización rigurosa de la información del clima, así como el tráfico para cada tramo vial. Este esfuerzo técnico y económico deberá planificarse cuidadosamente para su implantación progresiva desde lo antes posible por el MTC en coordinación con el SENAMHI. (Sección Suelos y Pavimentos, 2014. Pág. 78)



## 2.4 Definición de términos básicos

Para presentar la información siguiente, se ha tomado como guía base la publicación de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles del Ministerio de Transportes y comunicaciones del Perú, Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial, junio 2013. Versión actualizada.

1. **Pavimento.-** Estructura construida sobre la subrasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: sub base, base y rodadura. (Glosario de Términos, MTC 2013. Pág. 37)
2. **Superficie de rodadura.-** Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos compuesta por uno o más carriles, no incluye la berma. (Glosario de Términos, MTC 2013. Pág. 46)
3. **Base.-** Capa de material selecto y procesado que se coloca entre la parte superior de una sub base o de la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa puede ser también de mezcla asfáltica o con tratamientos según diseños. La base es parte de la estructura de un pavimento. (Glosario de Términos, MTC 2013. Pág. 8)
4. **Sub base.-** Capa que forma parte de la estructura de un pavimento que se encuentra inmediatamente por debajo de la capa de Base. (Glosario de Términos, MTC 2013. Pág. 45)
5. **Sub rasante.-** Superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte o relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado. (Glosario de Términos, MTC 2013. Pág. 45)
6. **Afirmado.-** Capa compactada de material granular o procesada, con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito. Debe poseer la cantidad apropiada de material fino cohesivo que permita mantener aglutinadas las partículas. Funciona como superficie de rodadura en carreteras y trochas carrozables. (Glosario de Términos, MTC 2013. Pág. 2)
7. **Calzada.-** Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos, compuesta por una o más carriles, no incluye berma.

- 8. Ejes equivalentes.-** Son factores de equivalencia que representan el factor destructivo de las distintas cargas, por tipo de eje que conforman cada tipo de vehículo pesado, sobre la estructura del pavimento.
- 9. Deterioro.-** Disminución de la vida útil de la vía, por razones de uso y ambientales. Es aceptable que con el paso del tiempo, los efectos ambientales y el uso algunos elementos de la vía comiencen a presentar malformaciones, desgastes en ellos, además de que es imposible evitarlos; estos generalmente se presentan solo en la superficie de rodamiento (deterioros superficiales) si se efectuara una conservación se evita que este deterioro se convierta en falla.
- 10. Falla.-** Pérdida de la capacidad operativa del elemento. Se trata de una discontinuidad en el material originado por las fuerzas que actúan sobre él y que logran superar la resistencia del mismo. Existe una rotura no superficial en el material y su conservación es mayor. Estos no solo se presentan en la superficie de rodamiento sino también en las diferentes capas que forman la vía (deterioros estructurales).
- 11. Piel de Cocodrilo.-** Grietas interconectadas formando polígonos que asemejan la piel de un cocodrilo.
- 12. Peladura y Desprendimiento.-** Desgaste acelerado en la superficie de la capa de rodamiento produciendo áreas lisas.
- 13. Bacheo.-** Actividad de mantenimiento rutinario que consiste en rellenar y compactar los baches o depresiones que pudieran presentarse en la superficie de rodadura. (Glosario de Términos, MTC 2013. Pág. 8)
- 14. Asfalto.-** Material cementante, de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por betunes de origen natural u obtenidos por refinación del petróleo. El asfalto se encuentra en proporciones variables en la mayoría del crudo de petróleo. (Glosario de Términos, MTC 2013. Pág. 6)
- 15. Abrasión.-** Desgaste mecánico de agregados gruesos y rocas resultante de la fricción o impacto dentro de la maquina denominada LOS ANGELES, la que rota alrededor de su eje. (Glosario de Términos, MTC 2013. Pág. 2).

16. **Agregado Angular.-** Agregados que poseen bordes bien definidos formados por la intersección de caras planas rugosas. (Glosario de Términos, MTC 2013. Pág. 2)
17. **Calicata (perforación).-** Excavación superficial que se realiza en un terreno, con la finalidad de permitir la observación de los estratos del suelo a diferentes profundidades y eventualmente obtener muestras generalmente disturbadas. (Glosario de Términos, MTC 2013. Pág. 10)
18. **CBR (California Bearing Ratio).-** Valor soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo.
19. **Cuarteo.-** Procedimiento de reducción del tamaño de una muestra. (Glosario de Términos, MTC 2013. Pág. 15)
20. **Densidad en el sitio (in situ).-** Procedimiento para determinar el peso unitario de los suelos en el terreno. (Glosario de Términos, MTC 2013. Pág. 17).
21. **Límite Líquido.-** Contenido de agua del suelo entre el estado plástico y el líquido de un suelo. (Glosario de Términos, MTC 2013. Pág. 31).
22. **Límite plástico.-** Contenido de agua de un suelo entre el estado plástico y el semi-sólido. (Glosario de Términos, MTC 2013. Pág. 31).
23. **Módulo resiliente (suelos).-** Esfuerzo repetido axial de desviación de magnitud, duración y frecuencias fijas, aplicado a un espécimen de prueba apropiadamente preparado y acondicionado. (Glosario de Términos, MTC 2013. Pág. 33).
24. **Muestras de campo.-** Materiales obtenidos de un yacimiento, de un horizonte de suelo y que se reduce a tamaños, cantidades representativos y más pequeñas según procedimientos establecidos. (Glosario de Términos, MTC 2013. Pág. 34).
25. **Sales Solubles (en agregados de pavimentos flexibles).-** Procedimiento para determinar el contenido de cloruros y sulfatos, solubles en agua, de los agregados.
26. **Viga Benkelman.-** Instrumento que se usa para determinar la deflexión de un pavimento flexible producido por una carga estática. (Glosario de Términos, MTC 2013. Pág. 51).

## **CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO**

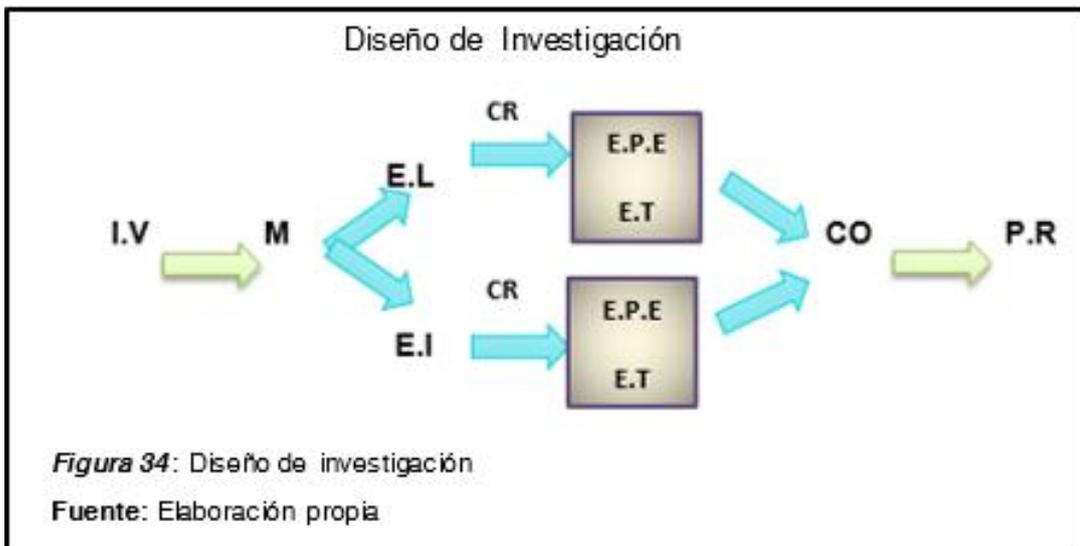
### 3.1. Tipo y diseño de investigación

#### 3.1.1. Tipo de investigación

Cuantitativo – cuasi experimental

Se aplica este método porque la investigación amerita la realización de ensayos de laboratorio y pruebas de campo, obteniendo resultados

#### 3.1.2. Diseño de la investigación



**I.V:** Infraestructura vial.

**M:** Muestreo

**E.L:** Ensayos de laboratorio.

**E.I:** Ensayos in situ

**C.R:** Comparación de resultados

**E.P.E:** Estructura del pavimento existente

**E.T:** Expediente técnico

**CO:** Conclusiones

**P.R:** Propuesta de rehabilitación.

### 3.2. Población y muestra

#### 3.2.1. Población

La población fue la infraestructura vial de la av. Fitzcarrald, tramo carretera Pomalca – Av. Víctor Raúl Haya de la Torre, que tuvo una longitud de 1+ 255.76 km, y un ancho de calzada promedio de 8.50 m.

### 3.2.2. Muestra

Son las extracciones establecidas por puntos a lo largo de la infraestructura vial con un valor de 03 Calicatas, es preciso mencionar que según señala la tabla 3 (Número de calicatas para la exploración de suelos) para el tipo de vía estudiada la cantidad de calicatas requeridas por kilómetro sería de 04, pero por razones de permisos y por recomendaciones del asesor solamente se realizaron las señas párrafos arriba, las mismas que fueron evaluadas en laboratorio así como también en campo.

### 3.3. Hipótesis

La evaluación estructural de la infraestructura vial de la avenida Fitzcarrald, tramo carretera Pomalca – av. Víctor Raúl Haya de la Torre, nos permite proponer una rehabilitación integral del pavimento existente.

### 3.4. Variables

Variable Independiente - Evaluación Estructural

Según el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos 2014. Sección: Suelos y Pavimentos nos indican que 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.

Por otro lado existen varios autores que nos mencionan a cerca de la definición de evaluación estructural.

**Morales, Javier (2005)** La evaluación estructural se refiere a una apreciación de los tramos cuyo estado de deterioro ha decaído hasta un nivel en el cuál el pavimento ha reducido su capacidad de resistir cargas; y cualquier programa de mantenimiento tradicional ya no es factible. Por lo tanto, dichos tramos deben ser rehabilitados para que vuelvan a ser transitables. Morales, Javier (2005).

## Variable Dependiente - Propuesta de Rehabilitación

(Gonzales Rubén, Soengas Cecilia y Botasso Gerardo, La Plata, Argentina. s/a). Si nos enfocamos específicamente en rehabilitación, existen muchas opciones para rehabilitar una infraestructura vial, pero lo difícil es determinar cuál de ellas es la mejor; sin embargo, la respuesta a dos preguntas importantes que debemos formularnos inicialmente ayudara a encontrar la solución correcta, es decir la más económica y que cumpla con las expectativas de los propietarios de la vía:

### **¿Qué se encuentra realmente mal en el pavimento existente?**

Una observación superficial y una observación estructural. Consiste en una inspección visual observada con unos pocos ensayos básicos (medidas de deflexión), será suficiente para entender el mecanismo de falla. (Gonzales Rubén, Soengas Cecilia y Botasso Gerardo. Pág. 5)

### **¿Qué se desea hacer?**

¿Se espera hacer una inversión para un periodo de diseño de veinte años o un desembolso más pequeño para disminuir la tasa actual de deterioro y lograr que el pavimento se mantenga por otros cinco años? Las respuestas a estas dos inquietudes reducirán las opciones de rehabilitación a aquellas que resulten económicas dentro del contexto de la naturaleza del problema y del periodo de tiempo necesario. (Gonzales Rubén, Soengas Cecilia y Botasso Gerardo. Pág. 5)

## **3.5. Operacionalización**

**Tabla 33**

*Operacionalización de variables*

Variables	Definición	Indicadores	Unidad de medida	Técnica	INTRUMENTACION	
					Instrumentos de recolección de datos	Instrumentos de medida
INDEPENDIENTE Evaluación Estructural	<p>Según el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección: Suelos y Pavimentos nos indican que, 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.</p> <p>La evaluación estructural se refiere a una apreciación de los tramos cuyo estado de deterioro ha decaído hasta un nivel en el cuál el pavimento ha reducido su capacidad de resistir cargas; y cualquier programa de mantenimiento tradicional ya no es factible. Por lo tanto, dichos tramos deben ser rehabilitados para que vuelvan a ser transitables.</p>	Límites de Atterberg	%	Observación y análisis de documentos	MTC E-110, 111	Copa Casagrande
		Granulometría	%		MTC E-107, 204	Tamices de malla cuadrada, estufa
		Porcentaje de Humedad	%		MTC E-108	Horno, balanza, etc.
		Sales Solubles Totales	%		MTC E-219	Balanza, Mecheros, pipetas, agua destilada, tubos de ensayo, estufa.
		Equivalente de Arena	%		MTC E-114	Cilindro graduado de plástico, etc.
		Próctor Modificado	%		MTC E-115	Molde, horno
		Ensayo CBR	%		MTC E-132, 133	Prensa, molde de metal, etc.
		Lavado Asfáltico	%		MTC E-302	Crisol Gooch
		Densidad de Asfalto			-	-
		Ensayo de Abrasión	%		MTC E-207	Maquina los Ángeles
Chatas y Alargadas	%	MTC E-221	Calibradores Metálicos			

Ensayos de Laboratorio

DEPENDIENTE: Propuesta de Rehabilitación	Si nos enfocamos específicamente en rehabilitación, existen muchas opciones para rehabilitar una infraestructura vial, pero lo difícil es determinar cuál de ellas es la mejor; sin embargo la más económica y que cumpla con las expectativas de los propietarios de la vía, sería la mejor.	Pruebas de Campo	Densidad de Base	%		MTC E-117	Cono de Arena
			Densidad de Subbase	%		MTC E-117	Cono de Arena
		Estudio de Trafico		Veh/día	Observación y Análisis.	Manual MTC	Observación
		Resultados de Evaluación Estructural		-	Observación y Análisis.	-	Observación
		Factores Externos		Tº	Observación y Análisis.	Manual MTC. Sección Suelos y Pavimentos	Observación

**Fuente:** Elaboración propia

### **3.6. Abordaje metodológico, técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.6.1. Abordaje metodológico**

Si bien es cierto el tipo y diseño de investigación es cuantitativa y cuasi – experimental, pero para el abordaje metodológico también hemos incluido como una investigación experimental ya que se han realizado ensayos en laboratorio, pruebas de campo, levantamiento topográfico y estudio de tráfico. Decimos que es experimental por que desarrollamos todos nuestros objetivos en base a nuestra variable independiente llamada evaluación estructural.

#### **3.6.2. Técnicas de recolección de datos**

Se realizó la recolección de datos mediante las siguientes técnicas:

**Guía de observación**, ya que se realizó un estudio de tráfico vial, una evaluación superficial (visual) de la infraestructura vial la av. Fitzcarrald, tramo de estudio.

**Entrevistas**, se llevó a cabo una reunión con Ingenieros de: Gerencia Regional de Transportes, Municipalidad Provincial de Chiclayo, expertos en la materia para tener conocimiento de las causas del deterioro de la infraestructura vial de la Av. Fitzcarrald tramo de estudio durante los últimos 20 años.

#### **3.6.3. Instrumentos de recolección de datos**

Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron diferentes formatos del Laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Señor de Sipán, las cuales fueron validadas por el director de escuela de Ingeniería Civil.

### **3.7. Procedimiento para la recolección de datos**

La recolección de datos se realizó en VI etapas las cuales se describen a continuación:

Diagrama del procedimiento de recolección de datos

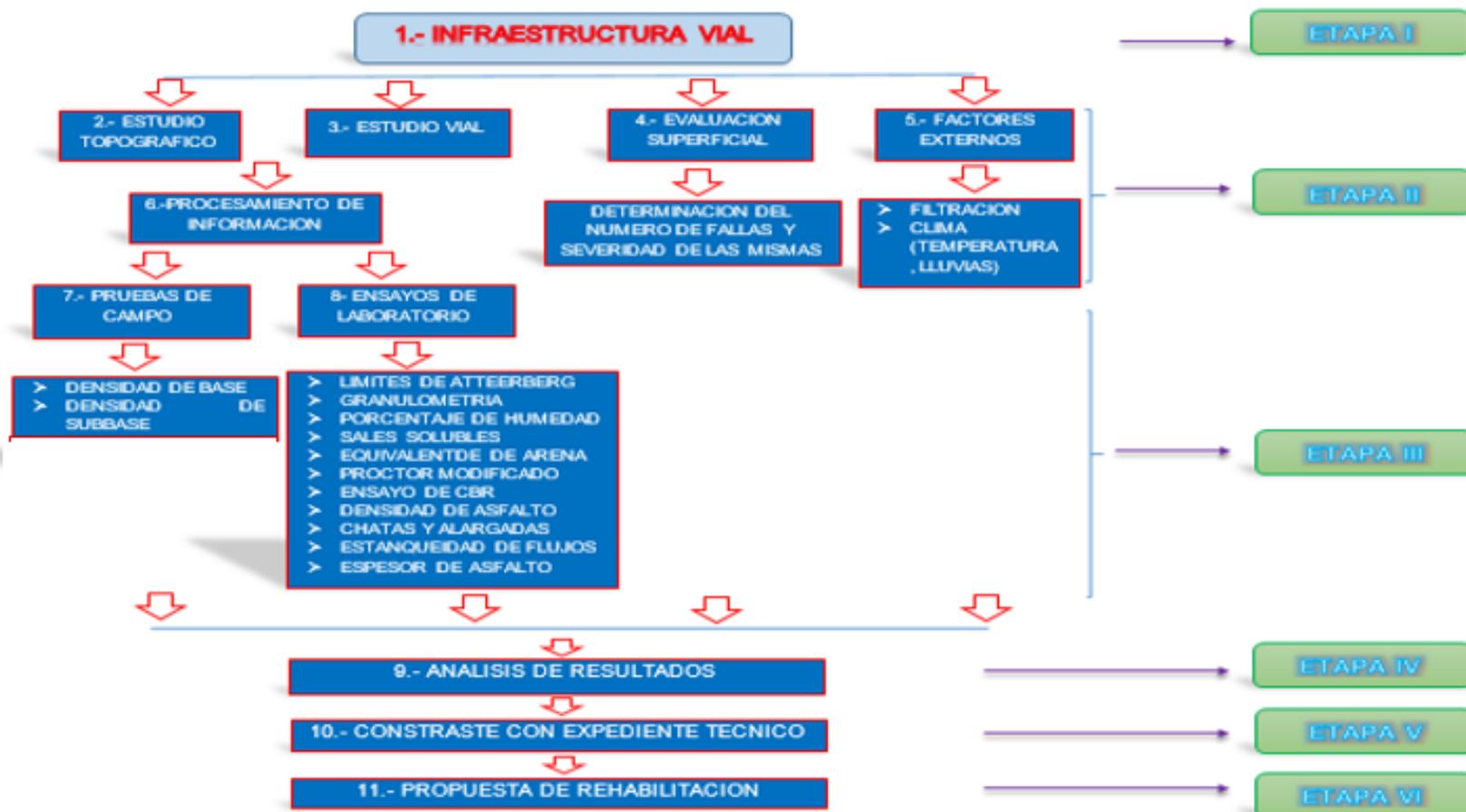


Figura 35: Procedimiento de recolección de datos

Fuente: Elaboración propia

### 3.7.1. Descripción del procedimiento

**Etapa I:** Consistió en la búsqueda de información sobre antecedentes de evaluación de infraestructuras viales con pavimentos asfálticos a nivel internacional, nacional y local.

**1.- Infraestructura vial.-** La infraestructura vial es el conjunto de componentes físicos que interrelacionados entre sí de manera coherente y bajo cumplimiento de ciertas especificaciones técnicas de diseño y construcción, ofrecen condiciones cómodas y seguras para la circulación de los usuarios que hacen uso de ella.

**Etapa II:** Consistió en estudios que pueden realizarse en simultáneo o por separado sin existir un orden de prelación, pero se asumió según el siguiente orden:

**2.- Estudio topográfico.-** Este estudio consistió en realizar un levantamiento topográfico con equipo especializado para el mismo (Estación Total), para luego procesar la información en gabinete, realizando el plano de planta y perfil longitudinal de la infraestructura vial (PPL - 01), como se muestra en el ANEXO 08, esta información conjuntamente con el estudio vial permitieron determinar el número de calicatas a realizar para la evaluación estructural.

**3.- Estudio vial.-** Para este estudio se realizó el conteo de vehículos durante las 24 horas del día y en un periodo de una semana, según requerimientos del MTC, con la finalidad de obtener datos confiables. Con esta información se clasificó adecuadamente la vía para realización del número de calicatas posteriormente.

**4.- Evaluación superficial.-** Esta evaluación consistió en cuantificar y clasificar las fallas y/o deterioros encontrados en el pavimento según clasificación del MTC. Así mismo en base a la cuantificación, clasificación, características geométricas también se realizó la evaluación basada en la metodología VIZIR permitiendo así definir el tipo de conservación necesaria.

**5.- Factores externos.-** Para esta evaluación consideraremos dos aspectos:

- **Filtración.-** se verifico si el agua encontrada en las calicatas son aporte del canal Yortuque, el mismo que es adyacente a la vía.

- **Clima.-** Este factor resulta importante para la etapa de construcción de la vía, pero como región costa donde no se presentan precipitaciones continuas, no afecta ni afectará considerablemente a la estructura del pavimento.

**6.- Procesamiento de información.-** Todos los datos obtenidos en campo como fueron: el estudio topográfico, estudio vial, evaluación superficial se procesaron en gabinete, presentándose en formatos Excel, AutoCAD según corresponda, los mismos que se muestran en los ANEXOS 01,02y 03.

**Etapa III:** Contando con la información de las Etapas I y II, se realizaron los ensayos y actividades de campo necesarios para evaluar estructuralmente el pavimento, ya que de acuerdo a los resultados obtenidos proponer una óptima rehabilitación de la vía.

**7.- Pruebas de campo.-** Se han ido describiendo anteriormente, las cuales son: Densidad de base, sub base y sub rasante. Estas pruebas se realizaron con los debidos permisos de la MPCH y acompañados por profesionales especialistas por parte del gobierno provincial como de la Universidad Señor de Sipán.

**8.- Ensayos de laboratorio.-** Estas ensayos se realizaron en la Universidad Señor de Sipán, en el laboratorio de Suelos:

#### **Etapa IV:**

**9.- Análisis de resultados.-** Con los resultados obtenidos de las pruebas de campo y de los ensayos de laboratorio, se procedió al análisis e interpretación de estos, los mismos que se contrastaron con los requerimientos mínimos exigidos por el Manual de Suelos y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, permitiendo así determinar las verdaderas causas de las fallas producidas en la infraestructura vial de la Av. Fitzcarrald, Tramo Carretera Pomalca – Av. Víctor Raúl Haya de la Torre.

## **Etapas V:**

**10.- Contraste con expediente técnico.-** En esta etapa se realizó netamente en gabinete, contrastando los resultados obtenidos en las etapas anteriores con las especificaciones técnicas y planos principalmente, documentos que forman parte del expediente técnico de ejecución de obra.

## **Etapas VI:**

**11.- Propuesta de rehabilitación.-** Finalmente una vez aclarada todas las hipótesis, se procedió a la elaboración una propuesta de rehabilitación, tomando en consideración los resultados obtenidos de las etapas anteriores y la factibilidad técnica y económica.

### **3.8. Análisis estadístico e interpretación de los datos**

Nuestros aliados para la obtención de información en su mayoría fueron formatos utilizados por la Universidad y también los que precisa los manuales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) en sus publicaciones actualizadas (2014).

### **3.9. Principios éticos**

#### **3.9.1. Ética de recolección de datos:**

Los datos obtenidos mediante ensayos de laboratorio (LEM) de la "USS", así como los realizados en campo, serán fidedignos y de ninguna manera se alterarán o falsificarán; debido a que esta información será usada más adelante para otras investigaciones y es lógico preceder información veraz para las orientaciones de las mismas. (Pentti Routio, 2007).

#### **3.9.2. Ética de publicación:**

La presente investigación se realizó con la finalidad de ser publicada y ofrecer nuevos conocimientos en la parte de evaluaciones estructurales de pavimentos, de tal manera que si posteriormente es tomada como referencia para temas

semejantes, se deberá realizar la citación correspondiente de los autores, para evitar el plagio. (Pentti Routio, 2007).

### **3.9.3. Ética de aplicación:**

El código ético profesional es el principal sustento que se tendrá en cuenta al momento de aplicar los beneficios obtenidos de la presente investigación, para luego realizar una evaluación sobre las ventajas y desventajas originadas y de qué manera afectan o contribuyen a la sociedad. (Pentti Routio, 2007).

### **3.9.4. Código ético de la profesión:**

El código ético profesional elaborado por el Colegio de Ingenieros del Perú (CIP) será la base para las aplicaciones correspondientes por las faltas incurridas, de acuerdo al comportamiento regulado por el Código. Según indica lo siguiente:

#### **Capítulo III**

##### **Sub capítulo I**

##### **De la relación con la sociedad**

**Artículo 99.-** Los ingenieros cuidaran que los recursos humanos, económicos, naturales y materiales, sean racional y adecuadamente utilizados, evitando su abuso o dispendio, respetaran y harán respetar las disposiciones legales que garanticen la preservación del medio ambiente.

**Artículo 100.-** Los ingenieros ejecutaran todos los actos inherentes a la profesión de acuerdo a las reglas técnicas y científicas procediendo con diligencia; autorizarán planos, documentos o trabajos solo cuando tengan la convicción de que son idóneos y seguros, de acuerdo a las normas de ingeniería.

**Artículo 103.-** Los ingenieros están obligados a cuidar el territorio de trabajo de la ingeniería peruana y fomentar el desarrollo tecnológico del Perú.

##### **Sub capítulo II**

##### **De la relación con el público**

**Artículo 106.-** Los ingenieros, al explicar su trabajo, méritos o emitir opiniones sobre temas de ingeniería, actuarán con seriedad y convicción, cuidando de no crear conflictos de intereses, esforzándose por ampliar el conocimiento del público a cerca de la ingeniería y de los servicios que presta a la sociedad.

**Artículo 107.-** Los ingenieros, no participaran en la difusión de conceptos falsos, injustos o exagerados acerca de la ingeniería en la actividad pública o privada, de proyectos, productos, métodos o procedimientos relativos a la ingeniería.

### **Sub capítulo III**

#### **De la competencia y perfeccionamiento del profesional**

**Artículo 109.-** Los ingenieros realizarán trabajos de ingeniería solamente cuando cuenten con estudios o experiencia en el campo específico de la ingeniería de que se trata.

**Artículo 111.-** Los ingenieros autorizarán planos, documentos o trabajos sólo cuando hayan sido elaborados por ellos, o ejecutados bajo su control.

### **Sub capítulo IV**

#### **De la promoción y publicidad**

**Artículo 115.-** Los ingenieros podrán hacer promoción de sus servicios profesionales solo cuando ella no contenga lenguaje jactancioso o engañoso o en cualquier forma denigrante de la profesión. En la promoción que realicen los ingenieros se abstendrá de garantizar resultados que por razones técnicas, económicas o sociales sean de imposible o dudoso cumplimiento.

## **3.10 Criterios de rigor científico**

### **Fiabilidad (Validez interna)**

La presente investigación se encuentra sujeta a datos fehacientes, debido a que los equipos del laboratorio de ensayo de materiales (LEM) de la “USS”, están en muy buenas condiciones, garantizando esta investigación con los instrumentos

de medida (formatos de laboratorio) tomados por la Universidad y del manual del MTC (formatos de requerimientos). (THAI, 2011)

### **Objetividad**

Cumplimos con este criterio porque nos basamos en la propuesta de rehabilitación de acuerdo a los resultados obtenidos de los diferentes ensayos de los materiales de la infraestructura vial en evaluación, por lo tanto no se tiene ninguna afinidad. (THAI, 2011)

### **Aplicabilidad (Validez Externa)**

Los resultados obtenidos y la propuesta presentada se podrán aplicar en diferentes situaciones similares que existen en nuestra ciudad para resolver esta problemática a nivel nacional o internacional. (THAI, 2011)

## **CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

#### 4.1. Resultados en tablas y figuras

##### a) Estudio de tráfico de la Av. Fitzcarrald, tramo de estudio.

Se realizó un estudio de tráfico durante el mes de setiembre del año 2016, durante las 24 horas del día en un periodo de una semana, a continuación el cuadro resumen de conteo por el tipo de vehículo.

**Tabla 34**

*Cuadro resumen de conteo por tipo de vehículo.*

<b>Tipo de Vehículo</b>	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>Miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>	<b>Sábado</b>	<b>Domingo</b>
AUTOS	4909	4844	4827	4889	4784	4749	4753
STATION WAGON	142	170	158	153	162	158	164
CAMIONETA (PICKUP)	529	537	533	553	546	539	506
CAMIONETA (COMBIS)	150	150	156	161	153	142	138
BUS 2E	16	17	16	14	13	14	13
BUS 3E	13	13	15	14	9	13	9
CAMION 2E	165	195	190	197	192	184	191
CAMION 3E	30	44	39	46	42	39	42
CAMION 4E	27	34	27	26	28	25	24
CAMION 5E	22	29	21	24	27	22	29
CAMION 6E	47	52	53	55	59	53	56
VOLQUETE 2E	53	57	54	53	54	47	55
VOLQUETE 3E	83	86	86	93	89	81	86
VOLQUETE 4E	31	34	28	28	31	28	31
<b>TOTAL</b>	<b>6217</b>	<b>6262</b>	<b>6203</b>	<b>6306</b>	<b>6189</b>	<b>6094</b>	<b>6097</b>

El índice medio diario anual (IMDa) asciende a 6141 veh/día, el tráfico liviano representó el 91.44 %, mientras que el tráfico pesado un 8.56 %, siendo los autos para el primer caso los vehículos de mayor presencia con un 77.83% y los camiones de 2 ejes para el segundo caso con un 3.03% (Anexo 02).

##### b) El estudio topográfico de la infraestructura vial de la av. Fitzcarrald tramo de estudio.

Se realizó con la finalidad de conocer características geométricas de la vía, principalmente su sección y longitud, presentándose a continuación:

**Tabla 35***Características geométricas Av. Fitzcarrald*

Progresiva	Ancho de Calzada promedio (m)	Longitud (m)
0+000 - 1 +255.76	8.50	1255.76

Respecto a la sección de la vía, su ancho de calzada a lo largo del tramo presentó una variación que va desde los 8.45 m hasta los 8.64 m, adoptándose un valor promedio de 8.50 m. También se menciona que al lograr el alcance de este objetivo conjuntamente con el estudio de tráfico, nos permitió definir el número de puntos de exploración necesarios para la realización de la evaluación estructural basados en la clasificación del manual de carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, para mayor detalle se puede apreciar en el plano (PPL-01) (Anexo 08).

### c) Evaluación superficial de la Av. Fitzcarrald, tramo de estudio

**Tabla 36***Cuadro resumen de fallas según la clasificación de condición y tipo de conservación.*

Progresiva	Ubicación	Calificación de condición	Tipo de conservación
<b>0+000 - 0 +200</b>	Entre carretera a Pomalca – Calle La Gloria	Malo	Rehabilitación
<b>0+200 - 0 +400</b>	Entre Calle La Gloria – Psje. Miraflores	Malo	Rehabilitación
<b>0+400 - 0 +600</b>	Entre Psje. Miraflores – Calle P. Olavide	Malo	Rehabilitación
<b>0+600 - 0 +800</b>	Entre Calle P. Olavide – Calle A. Lastres	Malo	Rehabilitación
<b>0+800 - 1 +000</b>	Entre Calle A. Lastres – Calle F. de Paula y Vigil	Bueno	Conservación rutinaria
<b>1+000 - 1 +255.76</b>	Entre Calle F. de Paula y Vigil – Av. Víctor Raúl Haya de la Torre	Bueno	Conservación rutinaria

Tomando en consideración la información consignada en la tabla 36, es preciso señalar que el tipo de daño/deterioro de mayor presencia fue piel de cocodrilo, de tamaños de malla variable que van desde los 10cm, llegando inclusive hasta los 20cm, situada en el Km 0+752m específicamente. También es preciso mencionar que estos daños/deterioros estuvieron acompañados de deformaciones de profundidad de hasta 10cm respecto al nivel de rasante del pavimento existente.

#### d) Evaluación estructural tramo de estudio

A continuación describiremos los resultados de los ensayos in situ como en laboratorio, Cada uno de ellos tendrá su referencia, de acuerdo a la normativa correspondiente.

##### d.1) Ensayos in situ

Se presenta los resultados obtenidos de los ensayos de densidad de campo mediante el método del cono de arena para base, sub base y sub rasante para las 03 calicatas realizadas.

##### Referencias:

- Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in situ mediante el método del cono de arena. N.T.P. 399.143: 1999.

##### d.1.1) Densidad de campo Base Granular

**Tabla 37**

*Resultados de densidad de campo – Base granular*

<b>Densidad de campo por el Método cono de arena</b>		
Calicata	Contenido de Humedad Natural (%)	Densidad Natural Seca (g/cm <sup>3</sup> )
1	7.55	2.139
2	5.26	1.944
3	5.65	2.072

##### d.1.2) Densidad de campo Sub Base Granular

**Tabla 38**

*Resultados de densidad de campo – Sub base granular*

<b>Densidad de campo por el Método cono de arena</b>		
Calicata	Contenido de Humedad Natural (%)	Densidad Natural Seca (g/cm <sup>3</sup> )
1	7.55	1.981
2	5.26	1.794
3	5.65	1.900

### d.1.3) Densidad de campo Sub Rasante

**Tabla 39**

*Resultados de densidad de campo – Sub rasante*

<b>Densidad de campo por el Método cono de arena</b>		
Calicata	Contenido de Humedad Natural (%)	Densidad Natural Seca (g/cm <sup>3</sup> )
1	4.00	2.058
2	4.50	1.862
3	6.40	1.949

Estos resultados, conjuntamente con el ensayo de próctor modificado realizado en laboratorio, determinaron el grado de compactación de la base granular que se presentará en el apartado 4.2 Discusión de resultados.

### d.2) Registro Exploratorio

Se presenta el registro exploratorio de las 03 calicatas realizadas.

**Tabla 40**

*Registro Exploratorio Av. Fitzcarrald tramo Carretera Pomalca – Av. Víctor R. Haya de la Torre*

Progresiva	Ubicación	Capa	Espesor (cm)
<b>0+322</b>	Altura del PSJE. Miraflores	Carpeta Asfáltica	5.6
		Base	20
		Sub base	15
		Over ó Cascote	40
		Nivel Freático	-120
<b>0+510</b>	Entre Calle José Baquijano y Pablo Olavide	Carpeta Asfáltica	3.8
		Base	20
		Sub base	15
		Over ó Cascote	40
		Nivel Freático	-70
<b>0+915</b>	Altura Calle Naylamp	Carpeta Asfáltica	6.1
		Base	20
		Sub base	20
		Over ó Cascote	0
		Nivel Freático	N.P

### **d.3) Ensayos de Laboratorio**

Se presenta los resultados obtenidos de los ensayos: Granulometría por tamizado, Límites de Atterberg, Contenido de Humedad, Sales Solubles Totales, Próctor Modificado - CBR, Lavado Asfáltico, Abrasión de los Ángeles, % Partículas Chatas y Alargadas y Equivalente de Arena para las 03 calicatas realizadas.

#### **Referencias:**

- Análisis Granulométrico por tamizado Norma ASTM D-422; MTC E 107-2000.
- Ensayo para determinar límite líquido, plástico e índice de plasticidad. Norma N.T.P 399.131.1999; MTC E 110 -2000 y MTC E 111-2000.
- Ensayo para determinar contenido de humedad de un suelo. N.T.P 330.127.1998.
- Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelo y agua subterránea. N.T.P. 399.152: 2002.
- Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama del Próctor y CBR. N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883 / MTC E 132 – 2000.
- Standard Test Methods for Quantitative Extraction of Bitumen From Bituminous Paving / Extracción Cuantitativa de asfalto en mezclas para pavimentos. ASTM D 2172 / MTC E 502-2000.
- Resistencia al desgaste de los agregados gruesos de tamaños menores de 37.5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de los Ángeles. MTC E 207 / ASTM C-131.
- Partículas Chatas Y Alargadas N.T.P. 400.040.
- Equivalente de arena N.T.P. 339.146 ASTM D-2419.

#### **d.3.1) Análisis Granulométrico por tamizado, Contenido de humedad y Límites de Atterberg.**

Se presenta los resultados de los porcentajes de partículas para las capas base -sub base y sub rasante de cada una de las calicatas realizadas.

**Tabla 41**

*Resumen de resultados de granulometría, contenido de humedad y límites de Atterberg.*

Capa	Ensayo	Resultados								
		C-01			C-02			C-03		
		% Grava	% arena	% limo y arcilla	% Grava	% arena	% limo y arcilla	% Grava	% arena	% limo y arcilla
Base y Sub Base	<b>Análisis granulométrico por tamizado</b>	85.4	2.4	12.2	87.7	2.7	9.6	90.8	4.2	5
	<b>Contenido de humedad</b>	7.55%			5.26%			5.65%		
	<b>Límites de Atterberg (%)</b>	LL 28.32	LP 13.87	IP 14.45	LL 25.35	LP 17.49	IP 7.86	LL 19	LP 17.49	IP 1.51
Sub Rasante	<b>Análisis granulométrico por tamizado</b>	0.0	3.6	96.4	0.0	3.6	96.4	0.0	3.5	96.5
	<b>Contenido de humedad</b>	23.12%			24.42%			27.15%		
	<b>Límites de Atterberg (%)</b>	LL 63.33	LP 29.89	IP 33.44	LL 65.22	LP 30.34	IP 34.88	LL 61.08	LP 17.49	IP 43.59

Las calicatas C1, C2 y C3, fueron realizadas en el carril izquierdo por facilidades de tránsito, seguridad personal, de equipos y/o herramientas.

#### **d.3.2) Sales Solubles Totales**

Las sales solubles totales se presenta en % y en partículas por millón (PPM) para las capas de base granular, sub base granular y sub rasante de cada una de las calicatas realizadas.

**Tabla 42***Sales Solubles totales en PPM y %*

<b>Sales Solubles Totales</b>			
	<b>Calicata</b>	<b>% PPM</b>	<b>(%)</b>
Base y Sub Base	1	2679	0.27
	2	3333	0.33
	3	3000	0.30
Sub Rasante	1	32679	3.27
	2	32361	3.24
	3	23095	2.31

Del ensayo realizado se obtiene el menor porcentaje 0.27% de sales para el material de afirmado de las capas de base y sub base, siendo el mismo valor para ambas ya que presentan el mismo material, por otro lado la sub rasante presenta valores elevado de sales.

#### **d.3.3) CBR (Diagrama de Próctor y CBR)**

De la obtención de la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del ensayo próctor modificado se obtuvo el % de CBR al 95% para cada una de las capas del pavimento flexible de las calicatas realizadas.

**Tabla 43***Próctor modificado y CBR al 95% en base y sub base*

Calicata	<b>Próctor modificado</b>		<b>CBR (0.1")</b>	
	MDS (g/cm <sup>3</sup> )	OCH (%)	Densidad seca g/cm <sup>3</sup> )	CBR (%)
1	2.233	6.18	2.076	32.90
2	2.324	5.66	2.101	41.20
3	2.349	7.91	2.110	57.00

**Tabla 44***Próctor modificado y CBR al 95% en sub rasante*

Calicata	Próctor modificado		CBR (0.1")	
	MDS (g/cm <sup>3</sup> )	OCH (%)	Densidad seca g/cm <sup>3</sup> )	CBR (%)
1	1.773	12.74	1.673	2.90
2	1.780	10.85	1.650	3.20
3	1.843	10.24	1.750	3.50

De acuerdo al ensayo de compactación del primer punto de investigación, podemos decir que al obtener una densidad máxima seca de 2.349 g/cm<sup>3</sup> con un contenido de humedad óptima de 7.91%, esto indica que va disminuyendo la relación de vacíos hasta encontrar el punto óptimo y proporcionalmente con la porosidad, dándose de esta manera las relaciones esperadas para un ensayo de próctor modificado. Lo mismo será para las exploraciones 2 y 3 tanto en base, sub base y sub rasante.

#### **d.3.4) Lavado asfáltico**

El objetivo de la realización de este ensayo fue determinar el contenido de asfalto (%) presente en la mezcla asfáltica para cada una de las calicatas realizadas.

**Tabla 45***Contenido de asfalto – carpeta asfáltica C1, C2 y C3*

% de Asfalto	
Calicata	(%)
01	8.50
02	9.42
03	8.59

El mayor contenido de asfalto en la mezcla se encontró en la calicata 02 con un 9.42 %.

### d.3.5) % Desgaste por medio de máquina de los Ángeles

Se determinó la resistencia al desgaste del material seleccionado de las mallas 1", ¾", ½" y 3/8". Utilizándose la gradación "A", con una carga abrasiva de 12 esferas en un Total de Revoluciones 500 revoluciones. Se obtuvo un desgaste de 25.8% para C-01, 24.8% para C-02, y 20.1% para C-03, con una uniformidad de 0.4% para las tres calicatas.

**Tabla 46**

*Abrasión "Los Ángeles" agregado grueso C1, C2 y C3*

<b>Desgaste por abrasión Máquina los Ángeles</b>			
Calicata	Abrasión (%)	Unif. (%)	
1	25.8	0.4	
2	24.8	0.4	
3	20.1	0.4	

### d.3.6) % de Partículas chatas y alargadas

El objetivo de la realización de este ensayo fue determinar el % de partículas chatas y alargadas presentes en el agregado grueso para cada una de las calicatas.

**Tabla 47**

*% de partículas chatas y alargadas C1, C2 y C3*

<b>Partículas chatas y alargadas</b>			
Calicata	P.ch (%)	P.a. (%)	P.ch y a (%)
01	1.27	0.44	1.71
02	1.63	0.47	2.1
03	1.68	0.06	1.74

### d.3.7) % de equivalente de arena

Se determinó el contenido de arena presente en la capa de base y sub base granular del pavimento flexible para cada calicata.

**Tabla 48**

*% de equivalente de arena.*

<b>Equivalente de arena</b>	
Calicata	EA (%)
01	101
02	92
03	107

En base a los ensayos realizados se tomaron tres muestras para de la capa de base y sub base, obteniéndose como resultado el promedio 101% de equivalente de arena para C-01, 92% para C-02 y 107% para C-03.

## 4.2. Discusión de resultados

El estudio topográfico de la infraestructura vial de la av. Fitzcarrald tramo carretera Pomalca – Av. Víctor Raúl Haya de La Torre, se realizó con la finalidad de conocer la sección y longitud real de la vía en estudio, la misma que nos permitió determinar la clasificación de la vía, según el manual de carreteras diseño geométrico en su versión actualizada 2014, donde estipula que perteneció a la una carretera dual o Multicarril, con un IMDA entre (6000 a 4001 veh/día), también nos especifica el número mínimo de exploraciones (calicatas) para pavimentos nuevos, reconstrucción o mejoramiento según manual de suelos, geología, geotecnia y pavimentos versión actualizada abril 2014 para nuestra clasificación se debieron realizar un total de 04 calicatas por kilómetro y en forma alternada, sin embargo por sugerencias el asesor especialista y razones de permisos de la Municipalidad provincial de Chiclayo, nos recomendaron realizar tres exploraciones, dos correspondientes a las zonas más críticas (zonas con mayores fallas) y 1 donde la infraestructura vial este en buen estado.

Para la obtención de los resultados del estudio de tráfico vial, se instalaron dos puntos de conteo vehicular, el primero ubicado al inicio de la vía (Km 0+000) y otro específicamente en la progresiva 0+290 (altura Av. Bolognesi), puesto que este fue un punto de desviación del tráfico, en la mayoría de casos ligero (Autos, combis), los mismos que nos señalan que el 70% de estos, circulan diariamente en la vía, para brindar el servicio de taxi, colectivo o interdistrital para el caso de combis, por otro lado alcanzar este objetivo nos permitió clasificar el tipo de carretera, que con conjuntamente con el estudio topográfico nos permitió definir el número de puntos de exploración.

Los resultados encontrados y descritos anteriormente nos permitieron lograr alcanzar los objetivos trazados en la investigación; siendo uno de ellos evaluar superficialmente la infraestructura vial de la av. Fitzcarrald tramo carretera Pomalca – Av. Víctor Raúl Haya de La Torre, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 49**

*Evaluación Superficial Av. Fitzcarrald*

Progresiva	Ubicación	Calificación de condición	Tipo de conservación
<b>0+000 - 0 +200</b>	Entre carretera a Pomalca – Calle La Gloria	Malo	Rehabilitación
<b>0+200 - 0 +400</b>	Entre Calle La Gloria – Psje. Miraflores	Malo	Rehabilitación
<b>0+400 - 0 +600</b>	Entre Psje. Miraflores – Calle P. Olavide	Malo	Rehabilitación
<b>0+600 - 0 +800</b>	Entre Calle P. Olavide – Calle A. Lastres	Malo	Rehabilitación
<b>0+800 - 1 +000</b>	Entre Calle A. Lastres – Calle F. de Paula y Vigil	Bueno	Conservación rutinaria
<b>1+000 - 1 +255.76</b>	Entre Calle F. de Paula y Vigil – Av. Víctor Raúl Haya de la Torre	Bueno	Conservación rutinaria

Uno de los resultados obtenidos se refiere a la evaluación superficial del pavimento los cuales se aprecian en el Anexo 03, donde detalla que de la progresiva 0+000 hasta la progresiva 0+800 m de pavimento presentan fallas, cuya puntuación final y de acuerdo a la metodología Vizir, descrita en el manual de conservación vial del Ministerio de transportes y comunicaciones (2014), requieren rehabilitación, mientras que la progresiva siguiente 0+800 hasta la progresiva 1+255.76 simplemente el tipo de conservación necesaria es un mantenimiento preventivo estos resultados no coinciden con la evaluación

superficial hecha por Llúncor, Cachay (2014) bajo la metodologías PCI y VIZIR de la carretera Pimentel- Santa Rosa esto debido a que esta presenta una menor carga vehicular, las condiciones climatológicas son diferentes y además no tiene factores externos que influyan en su deterioro.

En cuanto a las pruebas de campo, se realizó con la finalidad de determinar las características físicas y mecánicas de cada una de las capas que conformaron la estructura del pavimento flexible de la infraestructura vial de la Av. Fitzcarrald tramo carretera Pomalca – av. Víctor Raúl haya de La torre, estos se realizaron en tres puntos de exploración C-1 (Km 0+322), C-02 (Km 0+510) y C-3 (Km 0+915), presentándonos los siguientes resultados:

**Tabla 50**

*Registro de exploración – Ensayo de campo Av. Fitzcarrald tramo de estudio*

Progresiva	Ubicación	Estructura	Espesor (cm)	Ensayo realizado	Grado de compactación
0+322	Altura del PSJE. Miraflores	Carpeta	5.6	-----	-----
		Asfáltica			
		Base	20	Densidad in Situ	94%
		Sub base	15	Densidad in Situ	87%
		Over ó Cascote	40	-----	-----
		Nivel Freático	- 120	-----	-----
0+510	Entre Calle José Baquijano y Pablo Olavide	Carpeta	3.8	-----	-----
		Asfáltica			
		Base	20	Densidad in Situ	85%
		Sub base	15	Densidad in Situ	79%
		Over ó Cascote	40	-----	-----
		Nivel Freático	- 70	-----	-----
0+915	Altura calle Naylamp	Carpeta	6.1	-----	-----
		Asfáltica			
		Base	20	Densidad in Situ	88%
		Sub base	20	Densidad in Situ	81%
		Over ó Cascote	N.P	-----	-----
		Nivel Freático	N.P	-----	-----

De los puntos de exploración anteriormente descritos se extrajeron muestras para la realización de ensayos en laboratorio que nos permitieron verificar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que componen la estructura del pavimento, también se menciona que la base y sub base presentaron el mismo material.

De las tres exploraciones a cielo abierto realizadas en la Av. Fitzcarrald tramo de estudio, específicamente en las progresivas 0+322 (C-1), 0+510 (C-2) y 0+915 (C-3), tal como se muestra en Anexo 04: Registro de exploración del pavimento, presentaron a la profundidad de exploración (1.50 m) en cada una de ellas diferentes estructuras del pavimento flexible. En la progresiva 0+322 se encontró: carpeta asfáltica= 2.2", Base e=8" y Sub base e=6", Cascote e=16", el nivel freático se encontró a la profundidad de 1.20m, en la progresiva 0+510 se encontró: carpeta asfáltica= 1.5", Base e=8" y Sub base e=6", Cascote e=16" y cuyo nivel freático se encontró a la profundidad de 0.70m, mientras que en la progresiva 0+915 se encontró lo siguiente: Carpeta asfáltica e= 2.4", Base y Sub base e= 8", además a la profundidad explorada no se encontró el nivel freático, se reitera también que para los dos primeros puntos de las exploraciones se realizaron en el tramo que presentaron severas fallas y/o deterioros, caso diferente para el tercer punto donde el pavimento se encontró en buen estado de conservación.

De los registros exploratorios obtenidos en campo, estos difieren del expediente técnico de ejecución de obra, elaborado por el área de estudios y proyectos de la Municipalidad provincial de Chiclayo en el año 2008 y cuya ejecución se realizó al año siguiente, por lo tanto no se cumplió con las especificaciones técnicas, documentos que forman parte del mismo, específicamente en el capítulo III - estructura del pavimento, se menciona que la estructura del pavimento flexible sería la siguiente: realizar el mejoramiento de la subrasante con cascote e= 6", seguido de una capa anticontaminante de hormigón e=6", capa sub base de afirmado e=4", capa base de afirmado e=6" y carpeta asfáltica en caliente e=2", además de mencionarnos de ciertos requerimientos de calidad de cada uno de los materiales que conformarían dicha estructura, los cuales se contrastarán líneas abajo.

De los ensayos realizados en laboratorio y cuyos resultados difieren con los requerimientos mínimos tanto para el agregado grueso y fino para cada una de las capas de la estructura de un pavimento flexible tal como lo señala el manual

del MTC, “Especificaciones técnicas para la construcción EG 2013”, tablas 13, 14,17 y 18 de la presente investigación.

En relación al análisis granulométrico por tamizado según la base teórica no se cumplió con ninguna gradación especificada en las tablas 13 y 17, por otro lado en las especificaciones técnicas menciona que el material debe cumplir con cualquier gradación, sin embargo en la evaluación no cumplió el requerimiento para ambas capas.

A continuación se comparara en una tabla los resultados con los requerimientos según norma.

**Tabla 51**

*Requerimientos agregado fino*

<b>REQUERIMIENTOS AGREGADO FINO</b>						
<b>ENSAYOS</b>		<b>NORMA MTC</b>	<b>REQUERIMIENTOS DE ALTITUD</b>		<b>Resultados Obtenidos en Laboratorio</b>	<b>Observación</b>
			<b>&lt; 3000 msnm</b>	<b>≥ 3000 msnm</b>		
Índice Plástico	C-1				<b>14.45%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
	C-2	MTC E 111	4 % máx.	2% mín.	<b>7.86%</b>	<b>NO CUMPLE</b>
	C-3				<b>1.51%</b>	<b>CUMPLE</b>
Equivalente de Arena	C-1				<b>18.00%</b>	<b>CUMPLE</b>
	C-2	MTC E 114	35% mín.	45% mín.	<b>19.00%</b>	<b>CUMPLE</b>
	C-3				<b>24.00%</b>	<b>CUMPLE</b>
Sales Solubles	C-1				<b>0.27%</b>	<b>CUMPLE</b>
	C-2	MTC E 219	0.5 % máx.	0.5 % máx.	<b>0.33%</b>	<b>CUMPLE</b>
	C-3				<b>0.30%</b>	<b>CUMPLE</b>
Durabilidad al sulfato de magnesio		MTC E 209	-----	15% máx.	-----	No es Necesario

**Tabla 52***Requerimientos agregado grueso*

ENSAYOS	NORMA MTC	REQUERIMIENTOS AGREGADO GRUESO				Resultados Obtenidos en Laboratorio	Observación
		NORMA ASTM	NORMA AASHTO	REQUERIMIENTOS DE ALTITUD			
				< 3000 msnm	≥ 3000 msnm		
Partículas con una cara fracturada	MTC E 210	D 5821	-----	80 % mín.	80 % mín.	-----	No se Realizó
Partículas con dos cara fracturada	MTC E 210	D 5821	-----	40 % mín.	50 % mín.	-----	No se Realizó
Abrasión de los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	<b>40 % máx.</b>	40 % máx.	<b>25.80%</b>	<b>CUMPLE</b>
Partículas Chatas y Alargadas	-----	D 4791	-----	<b>15 % máx.</b>	15% máx.	<b>2.10%</b>	<b>CUMPLE</b>
Sales solubles Totales	MTC E 219	D 1888	-----	<b>0.5 % máx.,</b>	0.5 % máx.,	-----	No se Realizó
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	C88	T 104	-----	18% máx.	-----	No es Necesario

Según los resultados obtenidos en laboratorio, definimos que para los requerimientos de agregado fino en el ensayo de límites de Atterberg, el índice de plasticidad no cumple para las calicatas 1 y 2, pero si para la calicata 3. Los demás ensayos presentados en este cuadro si cumplen con los requerimientos estipulados.

Con respecto al ensayo de Relación de Soporte de California (CBR), tenemos los resultados de Sub rasante y para sub base y base.

**Tabla 53***Requerimientos de Ensayo CBR para bases y sub bases.*

Ensayo CBR								
Calicata	RESULTADOS			CBR (%)	Requerimientos		observación	
	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	CBR a la penetración	% MDS		Base	Sub base	Base	Sub base
01	2.234			58.0			<b>No cumple</b>	<b>Cumple</b>
02	2.309	0.1"	100	71.7	80% min	40% min.	<b>No cumple</b>	<b>Cumple</b>
03	2.336			70.7			<b>No cumple</b>	<b>Cumple</b>

Si observamos los resultados comprobamos que cumplen los parámetros para Sub base, más no para Base, ya que en esta te impide tener un CBR menor al 80%.

**Tabla 54***Requerimientos de Ensayo CBR para sub rasante*

<b>Ensayo CBR</b>					
<b>RESULTADOS</b>					
Calicata	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	CBR a la penetración	% MDS	CBR (%)	Condición
01	1.769			4.8	<b>Insuficiente</b>
02	1.767	0.1"	100	4.8	<b>Insuficiente</b>
03	1.835			4.4	<b>Insuficiente</b>

Como se observa en la tabla 8 (caracterización de sub rasante), de los valores encontrados en el ensayo CBR, la sub rasante del tramo de estudio se clasifica por su condición como insuficiente, ya que se encuentra entre el 3% a 6%, por lo que se requirió un mejoramiento de la misma con cascote (over), pero contrastado con el registro exploratorio y expediente técnico, el espesor fue igual al recomendado.

Respecto al ensayo de lavado asfalto se presenta los siguientes resultados:

**Tabla 55***Gradación Mezcla asfáltica C1*

Tamiz	Abertura (mm)	% que Pasa
1 1/2"	37.5	100
1"	25	100
3/4"	19	100
1/2"	12.5	90
3/8"	9.5	83.8
1/4"	6.3	74.8
N°4	4.75	69.2
N°8	2.36	55.1
N°10	2	52.3
N°16	1.18	43.1
N°20	0.85	38.2
N°30	0.6	32.2
N°40	0.425	27.9
N°50	0.3	22.5
N°60	0.25	19.1
N°100	0.15	6.3
N°140	0.106	2.3

N°200	0.075	0.5
Contenido de Asfalto en la muestra:		8.50%

---

**Tabla 56**

*Gradación Mezcla asfáltica C2*

Tamiz	Abertura (mm)	% que Pasa
1 1/2"	37.5	100.0
1"	25	100.0
3/4"	19	100.0
1/2"	12.5	90.3
3/8"	9.5	78.7
1/4"	6.3	65.4
N°4	4.75	59.7
N°8	2.36	47.2
N°10	2	44.9
N°16	1.18	37.5
N°20	0.85	33.3
N°30	0.6	28.2
N°40	0.425	24.6
N°50	0.3	19.9
N°60	0.25	17.2
N°100	0.15	6.9
N°140	0.106	2.8
N°200	0.075	0.9
Contenido de Asfalto en la muestra:		9.42%

---

**Tabla 57***Gradación Mezcla asfáltica C3*

<b>Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>% que Pasa</b>
1 1/2"	37.5	100.0
1"	25	100.0
3/4"	19	100.0
1/2"	12.5	92.8
3/8"	9.5	85.6
1/4"	6.3	73.3
N°4	4.75	67.5
N°8	2.36	53.5
N°10	2	50.0
N°16	1.18	37.4
N°20	0.85	30.4
N°30	0.6	22.6
N°40	0.425	17.5
N°50	0.3	12.6
N°60	0.25	10.4
N°100	0.15	5.1
N°140	0.106	2.3
N°200	0.075	0.8
Contenido de Asfalto en la muestra:		8.59%

De las tablas 55, 56 y 57, se determina que la mezcla asfáltica no cumple con los husos granulométricos de mezclas asfálticas normales (MAC) tal como lo estipula la sección 410 de especificaciones técnicas EG-2013, siendo el porcentaje de finos mucho mayor que el grueso, por lo que el contenido de asfalto tiene un porcentaje relativamente mayor al normal (6%) según señala el Ing. Nepton Ruíz Saavedra especialista en pavimentos de nuestra región.

## **CAPÍTULO V: PROPUESTA DE INVESTIGACION**

La propuesta de rehabilitación integral de la infraestructura vial de la Av. Fitzcarrald tramo carretera a Pomalca – Av. Víctor Raúl Haya de la Torre surge debido a las serias deficiencias y/o errores en la elaboración del expediente técnico de obra por parte de los funcionarios de la Municipalidad Provincial de Chiclayo, la incompatibilidad del mismo con la ejecución, los deficientes procesos constructivos que incluyen una mala calidad de materiales empleados en los conformación de las capas estructurales del pavimento asfáltico de la avenida Fitzcarrald tramo de estudio.

Esta vía presenta fallas y/o deterioros superficiales y principalmente estructurales de alto nivel de severidad tales como: piel de cocodrilo, hundimientos, ahuellamientos, abultamientos, grietas transversales, etc.

Por otro lado las fuertes cargas producidas por los vehículos automotores, su velocidad de tránsito, el número de sus repeticiones, etc., hicieron que las técnicas de construcción y reconstrucción de pavimentos hayan sufrido una evolución. En la técnica de los pavimentos flexibles o asfálticos y a lo cual se refieren en la presente investigación, existen especificaciones respecto a la calidad de los materiales que vayan a ser usados en la construcción de las diferentes capas que constituyen este tipo de pavimento.

Una de las principales inversiones posibles en los caminos es lo referente a la conservación o mantenimiento, ya que si esta es adecuada, no solo garantiza la inversión inicial de la construcción, si no que alarga la vida tanto del camino como de los vehículos que lo usan. La conservación es un problema tanto económico como técnico, y para la ejecución de los trabajos, estos deben efectuarse oportunamente con el fin de que los gastos que se hagan sean mínimos. Sin embargo, es necesario contar con recursos económicos disponibles y personal con experiencia, ya que sin ello todos los sistemas, materiales y equipo que se empleen, por buenos que sean, tendrán como resultado pérdidas económicas y trabajos defectuosos. Existiendo diferentes tipos de rehabilitación de un pavimento asfáltico tales como Método del reciclado, Fresado y Recapeo, etc.

Respecto a las actividades propuestas para llevar a cabo la rehabilitación de la infraestructura vial tramo en estudio se presenta a continuación el cronograma de actividades y metas de forma cuantitativa.

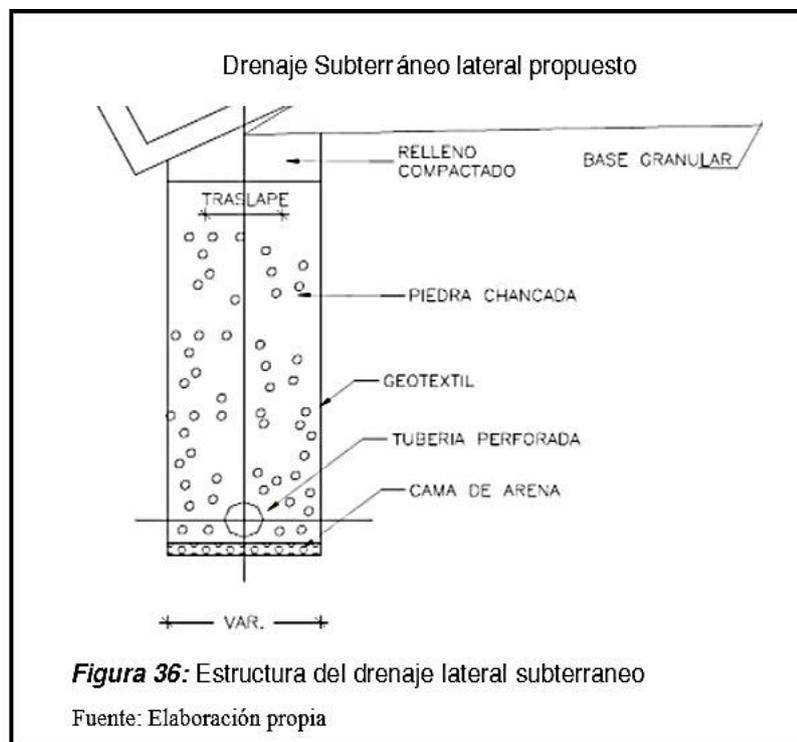
**Tabla 58***Actividades y metas cuantitativas propuesta de rehabilitación*

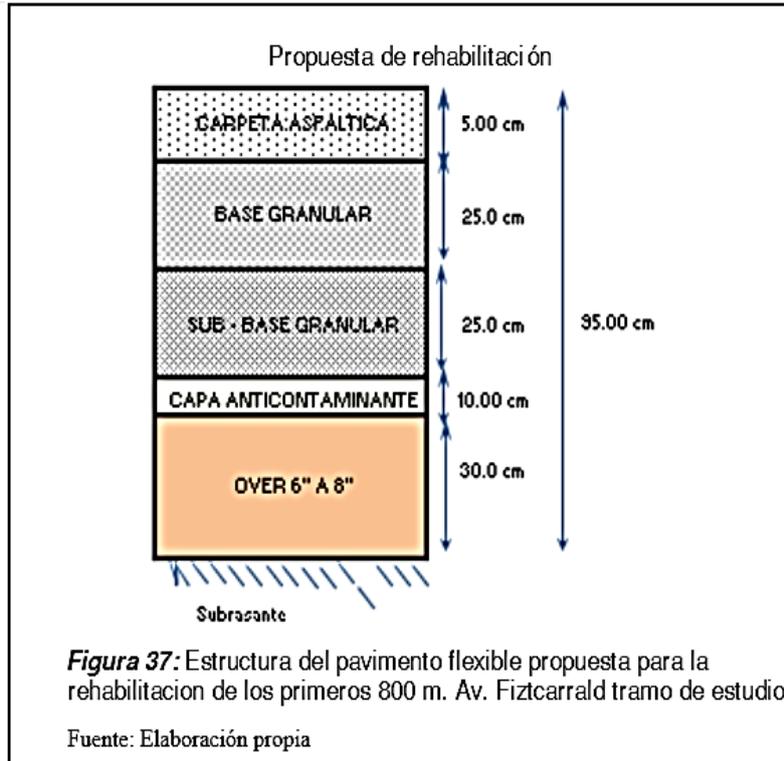
Ítem	Descripción	Und.	Total
<b>01</b>	<b>OBRAS PROVISIONALES</b>		
01.01	ALMACEN DE OBRA	mes	3.00
01.02	CARTEL DE IDENTIFICACION DE LA OBRA DE 8.50mx3.60m	und	1.00
<b>02</b>	<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>		
02.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS	GLB	1.00
02.02	REPLANTEO DEL DISEÑO GEOMETRICO	m2	10,673.96
<b>03</b>	<b>PAVIMENTO FLEXIBLE</b>		
<b>03.01</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>		
03.01.01	CORTE DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EXISTENTE	m3	5,440.00
03.01.02	ELIMINACION MATERIAL PRODUCTO EXCAVACIÓN	m3	7,072.00
<b>03.02</b>	<b>PAVIMENTO</b>		
03.02.01	PERFILADO Y COMPACTADO DE SUBRASANTE	m2	6,800.00
03.02.02	MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE CON OVER= 0.30 M.	m2	6,800.00
03.02.03	MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE C/ARENILLA E= 0.10m	m2	6,800.00
03.02.04	SUB BASE GRANULAR E= 0.25m	m2	6,800.00
03.02.05	BASE GRANULAR E= 0.25m	m2	6,800.00
03.02.06	IMPRIMACION ASFALTICA (DOSIF. 0.40 gl/m2 - TANQUE 1800gl.)	m2	6,800.00
03.02.07	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE e=2"	m2	6,800.00
<b>04</b>	<b>DRENAJE SUBTERRÁNEO a=0.30m y H= 0.90m</b>		
04.01	CORTE DE TERRENO NATURAL H= 0.95 M.	m3	228.00
04.02	RELLENO CON PIEDRA CHANCADA 1/2"	m3	192.00
04.03	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL PROPIO	m3	36.00
04.04	CAMA DE ARENILLA E= 0.10 M.	m2	240.00
04.06	TUBERIA PERFORADA PVC=4"	m	800.00
04.07	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GEOTEXIL NO TEJIDO TIPO 2	m2	640.00
04.05	ELIMINACION MATERIAL EXCEDENTE	m3	178.25
<b>05</b>	<b>SEÑALIZACION</b>		
05.01	MARCAS EN EL PAVIMENTO - LINEAS	m	1,600.00
05.02	MARCAS EN EL PAVIMENTO - PINTADO DE SIMBOLOS	m2	105.24
<b>06</b>	<b>VARIOS</b>		
06.01	NIVELACION DE BUZONES EN GENERAL	und	6.00
06.02	NIVELACION DE CAJA DE CONEXION DOMICILIARIA DE AGUA	und	52.00
06.03	NIVELACION DE CAJA DE CONEXION DOMICILIARIA DE DESAGUE	und	52.00
06.04	TRAZO Y REPLANTEO FINAL DE OBRA	m2	10,673.96
06.05	LIMPIEZA FINAL DE OBRA	m2	10,673.96
<b>07</b>	<b>SEGURIDAD Y SALUD</b>		
07.01	ELABORACION, IMPLEMTACION Y ADMINISTRACION DEL PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO	GLB	1.00
07.02	EQUIPOS DE PROTECCION INDIVIDUAL	und	10.00
07.03	EQUIPOS DE PROTECCION COLECTIVA	GLB	1.00
07.04	SEÑALIZACION TEMPORAL DE SEGURIDAD	GLB	1.00
07.05	CAPACITACION EN SEGURIDAD Y SALUD	GLB	1.00
07.06	RECURSOS PARA RESPUESTAS ANTE EMERGENCIAS EN SALUD DURANTE EL TRABAJO	GLB	1.00

Se concluye que en sus primero 800 m de longitud, se plantea en base a los resultados obtenidos la rehabilitación completa de la estructura del pavimento asfáltico que incluye la construcción de un drenaje subterráneo lateral y en el

tramo restante solamente un mantenimiento rutinario debido a que se encuentra en condiciones regulares de transitabilidad al mes de septiembre del año 2016

La estructura de la propuesta de rehabilitación del pavimento comprende: carpeta asfáltica de 2", base granular de  $e=0.25$  m, sub base granular  $e=0.25$  m, capa anticontaminante  $e=0.10$  m y Over o cascote  $e=12$ " para mejorar la sub rasante, acompañado de un drenaje subterráneo longitudinal de ancho  $a=30$  cm y de profundidad  $h=0.90$  metros, cuyos componentes son: material granular debidamente compactado, filtro de piedra chancada, geotextil y tubería perforada con su respectiva cama de arena como se muestra en las figuras siguientes:





El costo de la propuesta asciende a S/ 1'525,310.73 (Son: Un millón quinientos veinticinco mil trescientos diez con 73/100 nuevos soles), presupuesto al año 2016 y tomando en consideración los precios de mano de obra vigentes.

## **CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 6.1. Conclusiones

La infraestructura vial Av. Fitzcarrald, tramo de estudio tiene una longitud de 1255.76 m, un ancho de calzada promedio de 8.50 m, en todo tramo evaluado y adyacente a la calzada con una separación de 1.50 m recorre un canal sección transversal trapezoidal con transiciones en el puente de la intersección con la Av. Bolognesi, dicho elemento de conducción hídrico tiene una profundidad de 1.50 m en la parte más baja ubicada en la intersección antes mencionada.

Según el estudio de tráfico vial que se realizó se obtuvo un índice medio diario (IMDa) de 6146 vehículos y según la proyección de estudio a 20 años, se tendrá un total de 9553 vehículos por día, Indicándonos que pertenece según clasificación de carreteras a una carretera Dual o Multicarril.

Con la evaluación superficial realizada, concluimos que las fallas más predominantes se encuentran desde la progresiva 0+000 hasta las progresiva 0+800 km, por lo que según la metodología de evaluación Vizir, tomando en cuenta las consideraciones indicadas en el manual de conservación vial MTC (2014), establecemos su condición como “malo”, requiriendo rehabilitación, por lo contrario desde la progresiva anterior hasta la 1+255.76, su condición es buena y solo requieren mantenimiento rutinario.

En el registro de exploración del pavimento, se encontró un espesor de carpeta asfáltica de 2.2”, Base e= 6”, Sub base e= 8” y over 2= 16”, y la profundidad explorada (1.50m). Estas condiciones son de la exploración C-1, además se encontró nivel freático a una profundidad de 1.20 m. Para la exploración C-2 tenemos una carpeta asfáltica e= 1.5”, base e= 8”, sub base e= 6” y cascote e=16”, encontrándose nivel freático a una profundidad de 0.70 m. Para la exploración C-3, tenemos una carpeta asfáltica e= 2.4”, base y sub base e= 8”, en este punto no se encontró nivel freático.

Los resultados obtenidos en campo son incompatibles con el expediente Técnico de ejecución de obra, elaborado por el área de estudios y proyectos de la MPCH (2008), donde estipula en las especificaciones técnicas, específicamente en el capítulo III – estructura del pavimento, se menciona que se realizara el mejoramiento de subrasante con cascote e= 6”, seguido de una capa anticontaminante de hormigón e 6”, capa sub base de afirmado e= 4”, capa base de afirmado de e= 6” y carpeta asfáltica en caliente usando RC 250, e= 2”.

Para los ensayos de laboratorio realizados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM) de la universidad Señor de Sipán, obtuvimos lo siguiente:

Se determinó que para los requerimientos de agregado fino, no cumplió el índice de plasticidad para las muestras 1 y 2, caso contrario para la muestra 3. Los ensayos de equivalente de arena y sales solubles están dentro de los parámetros establecidos por la norma, por lo tanto cumplen con estas. Según requerimientos del agregado grueso si cumplen con los parámetros.

Con respecto al ensayo especial CBR, concluimos que los resultados: 58.1%, 71.7% y 70.7% cumplen para sub bases, mas no para bases. Ahora para la subrasante tenemos un terreno con condición insuficiente, es decir que necesita mejoramiento para un mejor comportamiento del pavimento, debido a que los resultados de CBR, no superan el 6% categorizado por norma como inadecuado.

La propuesta de rehabilitación del tramo afectado para mejorar la transitabilidad vehicular en la avenida estudiada. Consta de una nueva estructura y de un drenaje lateral subterráneo de ancho de 30 cm y de profundidad 0.90 metro debajo de la subrasante acompañado de un filtro de material granular, geotextil y tubería perforada de 4” y demandara un costo de S/ 1'525,310.73 (Son: Un millón quinientos veinticinco mil trescientos diez con 73/100 nuevos soles), presupuesto al mes de noviembre del año 2016.

## **6.2. Recomendaciones**

Los materiales que serán usados para la rehabilitación de la infraestructura vial deberán cumplir los requisitos mínimos de los manuales suelos y pavimentos, especificaciones técnicas del Ministerio de Transportes y comunicaciones.

Instalar un piezómetro en un periodo determinado, de tal manera que permita tener datos con mayor precisión para poder estimar el nivel freático que se alcanza en las distintas épocas del año y verificar así su grado de afectación real a la infraestructura vial.

Evaluar económica, técnica y ambientalmente otras alternativas de drenaje subterráneo incluidas en la propuesta de rehabilitación.

## REFERENCIAS

Arroyo Urbina, A. y Vargas Gariza, J. B. (1992). *Evaluación, alternativas de diseño y proyecto de rehabilitación de pavimentos de las urbanizaciones san Lorenzo, Bolognesi y mercado mayorista, Lambayeque.*

[Borja Suarez Manuel, 2011. "Nuevos pavimentos urbanos para Chiclayo", Perú.](#)

[Recuperado de:](#)

<https://ingenieriaactual.wordpress.com/2011/10/25/nuevos-pavimentos-para-chiclayo/>

[Chiclayo al día. Problemas y carencias de la ciudad de Chiclayo: una mirada a su infraestructura, Perú.](#)

<http://vigilaperulambayeque.blogspot.pe/2011/09/problemas-y-carencias-de-la-ciudad.html>

Camposano Olivera, J. E. y García Cárdenas, K. V. (2012). *Diagnóstico del estado situacional de la vía av. Argentina – av. 24 de junio por el método: Índice de condición de pavimentos de la Universidad Peruana los Andes, departamento de Huancayo.*

Colegio de Ingenieros del Perú. Código Deontológico del Colegio de ingenieros del Perú, periodo 2010-2012. Recuperado de:

[http://www.cdlima.org.pe/docs/Codi\\_Deontologico.pdf](http://www.cdlima.org.pe/docs/Codi_Deontologico.pdf)

Cremades, I. (2010). Los asfaltos, pasado, presente y futuro. *Asfáltica Revista Técnica*, 23. Recuperado de:

<http://www.monografias.com/trabajos94/pasado-presente-y-futuro-del-uso-asfaltos-mexico/pasado-presente-y-futuro-del-uso-asfaltos-mexico.shtml>

Diario Correo, 2015. "Puno: Carretera que costo S/. 28 millones ya está deteriorada", Perú. Recuperado de:

<http://diariocorreo.pe/ciudad/puno-carretera-que-costó-s-28-millones-ya-esta-deteriorada-642781/>

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles - Manual de Carreteras. Mantenimiento o Conservación Vial. MTC. (Marzo 2014). Recuperado de: [http://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/Manual%20de%20Carreteras%20Conservacion%20Vial%20a%20marzo%202014\\_digit\\_original\\_def.pdf](http://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20de%20Carreteras%20Conservacion%20Vial%20a%20marzo%202014_digit_original_def.pdf)

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. Manual de Carreteras Diseño Geométrico DG-2014 (Octubre 2014). Recuperado de: [http://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/DG%202014\\_\(Oct\\_2014\).pdf](http://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/DG%202014_(Oct_2014).pdf)

El comercio (2016). “¿Por qué es peligrosos conducir en este país?”, Cuba. Recuperado de: <http://elcomercio.pe/mundo/latinoamerica/cuba-que-peligro-conducir-este-pais-video-noticia-1870647>

El Herald, 2014. “Mal estado de carreteras impide integración en CA. Recuperado de: <http://www.elheraldo.hn/mundo/606790-217/mal-estado-de-carreteras-impide-integracio>

El Mundo, 2013. “Una carretera en mal estado eleva un 34% el consumo del auto y reduce su vida”, Madrid. Recuperado de: <http://www.elmundo.es/elmundomotor/2013/06/03/conductores/1370279696.html>

Estela Adrianzén Robert, 2016. “Mezclas Asfálticas”. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/329770694/Mezclas-Asfalticas>

Castells, José. Barcelona, 1934. "La moderna construcción de carreteras", H. Hentrich. Editorial Labor S.A. Recuperado de: <http://www.xtec.cat/~cgarci38/ceta/historia/asfalto.htm>

González, R.; C. y Gerardo Botasso, *Mantenimiento y rehabilitación de pavimentos en áreas urbanizadas del laboratorio de materiales de construcción, área de materiales viales U. T. N. – Facultad Regional la Plata. la plata, Argentina.*

Luis Fajardo, 2015. BBC Mundo. “Los países con las mejores y las peores carreteras en América Latina”. Recuperado de:

[http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/06/150609\\_economia\\_mejores\\_peores](http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/06/150609_economia_mejores_peores)

Llúncor Rojas, Jorge C. (2014). *Evaluación de la condición del pavimento flexible de la carretera Pimentel - Santa Rosa del departamento de Lambayeque aplicando El método vizir de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo del departamento de Lambayeque.*

Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. (Abril 2014). Recuperado de:

[http://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/Seccion%20Suelos%20y%20Pavimentos\\_Manual\\_de\\_Carreteras.pdf](http://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Seccion%20Suelos%20y%20Pavimentos_Manual_de_Carreteras.pdf)

Marchan Moreno, R. M. (2005). *Métodos de Rehabilitación de Pavimentos del Instituto Politécnico Nacional de México.*

Morales Olivares, Javier P. (2005). *Técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto utilizando sobrecapas de refuerzo de la universidad de Piura.*

Osorio Lird, A. (2008). *Metodología de evaluación in-situ de la capacidad de soporte de bases y Sub bases granulares de pavimentos flexibles con el Deflectómetro de impacto liviano de la pontificia universidad Católica de Chile.*

Paredes Mata Larry H. (2012). *Evaluación del nivel de incidencia de las patologías del concreto en las veredas de la urbanización el mirador y san*

*Martín, distrito de independencia, provincia de Huaraz, región Ancash, abril 2012.*

Pentti Routio, 2007. “Ética de la Investigación”. Traducido por Jesús B. Bermejo.  
Recuperado de:

<http://www2.uiah.fi/projects/metodi/251.htm#tutksuoj>

Portal del Turismo, 2016. “Perú ocupa puesto 94 en ranking sobre infraestructura en transporte”. Recuperado de:

<http://www.portaldeturismo.pe/index.php/local/item/949-peru-ocupa-puesto-94-en-ranking-sobre-inf>

Rabanal Pajares, Jaime E. (2014). *Análisis del estado de conservación del pavimento flexible de la vía de evitamiento norte, utilizando el método del índice de condición del pavimento de la Universidad Privada del Norte, departamento de Cajamarca.*

Rodríguez Mineros, C. E. y Rodríguez Molina, J. A. (2004). *Evaluación y Rehabilitación de pavimentos flexibles por el método del reciclaje de la Universidad de el Salvador.*

THAI, 2011. Técnicas y Herramientas de apoyo a la Investigación. “Medidas de rigor en investigación cualitativa y cuantitativa, Bloque – I”. Recuperado de:

<https://www.tel.uva.es/descargar.htm;jsessionid...?id=17882>

Torres Jason, 2012. El Crhoy. “Deterioro en carreteras nacionales supera el 75% según LANAMME”, Costa Rica. Recuperado de:

<http://www.crhoy.com/deterioro-en-carreteras-nacionales-supera-el-75-segun-lanamme/>

Velázquez, José, 2011. “Construcción de Terracerías y Pavimentos – Historia del asfalto”. Recuperado de:

<https://asfaltomex.jimdo.com/pasado-presente-y-futuro-del-uso-de-los-asfaltos-en-m%C3%A9xico/>

## **ANEXOS**

**Anexo 01:** Estudio topográfico

**Anexo 02:** Estudio de tráfico

**Anexo 03:** Evaluación superficial

**Anexo 04:** Ensayos de campo y laboratorio

**Anexo 05:** Diseño de propuesta de rehabilitación

**Anexo 06:** Metrados y presupuesto – propuesta de rehabilitación

**Anexo 07:** Vistas Fotográficas

**Anexo 08:** Planos



Para este estudio, se ubicó un BM-1 en la intersección de carretera Pomalca con Av. Fitzcarrald, con elevación de 40 m.s.n.m. La imagen muestra la ubicación del BM (eje de canal - Puente), sobre el canal Yortuque.



Se realizó el estudio de tráfico vial según reglamento, durante una semana las 24 horas del día. Cuya clasificación de acuerdo a la demanda es de Autopistas de segunda clase con un IMDa de 6141 veh/día. La imagen muestra un vehículo de carga semi tráiler de 6 ejes.



Se realizó esta exploración C1 en el km 0+322, para determinar el perfil estructural del pavimento flexible, se encontró nivel freático a 1.20 m de profundidad.



Se realizó este ensayo para cada una de las calicatas y cada de las capas estructurales del pavimento flexible (base y sub base), incluido la sub rasante, se utilizaron equipos de Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM) de la Universidad Señor de Sipán, otorgadas a los tesisistas, previa solicitud.

#### Extracción de Muestras



**Vista Fotográfica 5:** Exploración de muestras Calicata Nº 2  
Fuente: Elaboración propia

Se realizó esta exploración C2 en el km 0+510, para determinar el perfil estructural del pavimento flexible, se encontró nivel freático a 0.70 m de profundidad.

#### Tamizado de material extraído



**Vista Fotográfica 6:** Tamizado de material de las 3 exploraciones.  
Fuente: Elaboración propia

Las muestras de las tres exploraciones extraídas en campo, se tamizaron por la malla Nº 04 para separar el agregado grueso del fino, y posteriormente realizar los ensayos mencionados y descritos en nuestra base teórica.



Previa realización de este ensayo se limpió las muestras de asfalto extraídas, luego se colocaron al horno por unos minutos y proceder a la disgregación para posteriormente colocar en la bomba centrífuga añadiéndose el tricloroetileno para realizar el ensayo.



Se realizó este ensayo para las 3 muestras extraídas por el método "C", que consta con un molde de 6 pulg. de diámetro con 5 capas de 12, 25 y 56 golpes cada una. Este ensayo también se efectuó para las muestras de sub rasante.