



**UNS**  
ESCUELA DE  
**POSGRADO**

---

**COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS AMERICAN  
ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION  
OFFICIALS (AASHTO-1993) - (MECHANICAL EMPIRICAL  
PAVEMENT DESIGN GUIDE M-EPDG AASHTO 2008)**

---

**Tesis para optar el grado de  
Doctor en Ingeniería Civil**

**Autor:**

**BR. ABNER ITAMAR LEON BOBADILLA**

**Asesor:**

**Dr. FIDEL GREGORIO APARICIO ROQUE**

**CHIMBOTE - PERÚ  
2020**



**UNS**  
ESCUELA DE  
POSGRADO

## CONSTANCIA DE ASESORAMIENTO DE LA TESIS DOCTORAL

Yo, **FIDEL GREGORIO APARICIO ROQUE**, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la Tesis Doctoral titulada: **COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO 1993) – (MECHANICAL EMPIRICAL PAVEMENT DESIGN GUIDE M-EPDG AASHTO 2008)**, elaborada por el **MS. ABNER ITAMAR LEÓN BOBADILLA** para obtener el Grado Académico de Doctor en **INGENIERÍA CIVIL** en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, 22 de junio del 2021

---

**Dr. FIDEL GREGORIO APARICIO ROQUE**

ASESOR



**UNS**  
ESCUELA DE  
POSGRADO

**CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR**

(NOMBRE DE LA TESIS) **COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO 1993)-(MECHANICAL EMPIRICAL PAVEMENT DESIGN GUIDE M-EPDG AASHTO 2008)**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR EN INGENIERÍA CIVIL

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:

.....  
**Dr. Milton Moisés Cortéz Gutiérrez**

**PRESIDENTE (A)**

.....  
**Dr. Hernán Martín Alvarado Quintana**

**SECRETARIA (O)**

.....  
**Dr. Fidel Gregorio Aparicio Roque**

**VOCAL**

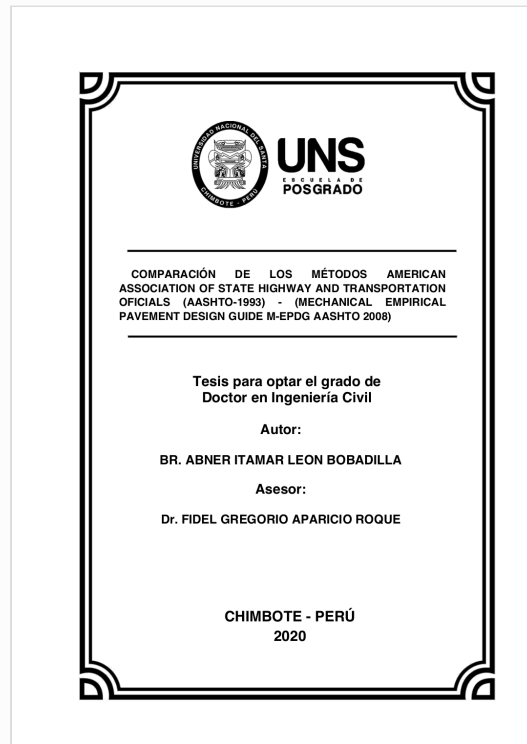


## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Abner Itamar Leon Bobadilla  
Título del ejercicio: POSGRADO  
Título de la entrega: COMPARACION DE LOS METODOS AMERICAN ASSOCIATION ...  
Nombre del archivo: Tesis\_Doctoral\_Abner\_Le\_n\_21.10.21\_para\_presentar.docx  
Tamaño del archivo: 4.9M  
Total páginas: 115  
Total de palabras: 17,870  
Total de caracteres: 97,483  
Fecha de entrega: 22-oct.-2021 10:35a. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega... 1681143475



## DEDICATORIA

*A Dios, por conducirme por la senda de su luz  
Inaccesible, para buscar la excelencia del  
Conocimiento que abarca todo razonamiento  
Humano y que todo lo anhela mientras tengamos  
La vida como don más preciado del ser humano*

*A la memoria de mis padres; Armando y  
Susana que en todo momento supieron  
conducirme desde mi niñez y mención a mi  
hermana que aún queda como reliquia de  
mi familia nuclear inicial.*

*A mi esposa Edita, la mujer que llegó a  
mí vida como regalo de Dios, por estar  
conmigo en las buenas y en las malas, por  
apoyarme con su amor, sus decisiones y su  
sacrificio para haber cristalizado este  
modesto trabajo, también considero muy  
importante el apoyo moral y comprensión  
de mis hijos: Roxanna, Omar y Daniel*

## AGRADECIMIENTO

El primer agradecimiento por la conclusión de este trabajo es a Dios el creador del Universo y del hombre sobre este planeta tierra y particularmente y por haber sido en su proyecto mi existencia, asimismo por considerar la mejora en mi condición de ser humano con la formación humana y académica, al brindarme la oportunidad de llevar a cabo el presente trabajo que humildemente pueda servir a quienes desean alcanzar la mejora en la formación de esta noble profesión de la ingeniería civil, como concepto del desarrollo de los pueblos, también brindar un agradecimiento especial a mi familia conformada por mi amada esposa y mis hijos quienes en todo momento me estimularon para continuar hacia adelante en la conclusión del presente trabajo, reiteradamente un agradecimiento profundo y un reconocimiento especial.

A mi asesor el Dr. Fidel Gregorio Aparicio Roque, por su profesionalismo, por su don de persona y por su conducción en la realización del presente trabajo de investigación, por su atención desinteresada en el momento que más lo necesite, que Dios sea el encargado de proporcionar las mejores y ricas bendiciones por tales acciones positivas que me mostró aún en los momentos más difíciles presentados en la realización de la presente investigación.

Mi gratitud y reconocimiento por siempre.

*El Autor*

## Índice general

Conformidad del asesor.....	i
Aprobación del jurado evaluador.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimiento.....	iv
Indice general.....	v
Resumen.....	xii
Abstract.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	xiv
CAPÍTULO I.....	16
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	16
1.1. Planteamiento y fundamentación del problema de investigación.....	17
1.1.1 Reseña Histórica.....	17
1.1.2 Definición del asfalto.....	18
1.1.3 Composición Físicoquímica del Asfalto.....	19
1.1.4 Estructura Química de los Asfaltos.....	20
1.1.5 Fisuras y Grietas.....	21
1.1.5.1 Fisuras y grietas por fatigamiento.....	21
1.1.5.2 Fisuras y grietas en bloque.....	22
1.1.5.3 Grietas de borde.....	23
1.1.5.4 Fisuras y grietas longitudinales y transversales.....	24
1.1.5.5 Fisuras y grietas reflejadas.....	25
1.1.5.6 Parches deteriorados.....	25
1.1.5.7 Baches en carpetas asfálticas y tratamientos superficiales.....	26
1.1.5.8 Ahuellamiento.....	26
1.2 Antecedentes de la investigación.....	27
1.2.1. Antecedentes.....	27
1.3 Formulación del problema de investigación.....	28
1.4 Delimitación del estudio.....	28
1.4.1 Alcances de la investigación.....	29
1.4.2 Organización del trabajo.....	29

1.5 Justificación e importancia de la investigación.....	30
1.6 Formulación de los objetivos de la investigación.....	30
1.6.1 Objetivo general.....	30
1.6.2 Objetivos Específicos.....	30
CAPÍTULO II.....	32
MARCO TEORICO.....	32
2.1. Fundamentos teóricos de la investigación.....	33
2.2. Marco Conceptual.....	34
2.2.1 Pavimento Flexible.....	34
2.2.1.1 Definición.....	34
2.2.1.2 Ventajas y Desventajas de un Pavimento Flexible. ....	34
2.2.1.3 Componentes estructurales.....	35
2.2.1.4 Terreno de fundación. ....	35
2.2.1.5 Subrasante.....	36
2.2.1.6 Subbase.....	37
2.2.1.7. Base.....	38
2.2.1.8. Capa de rodamiento.....	39
CAPÍTULO III.....	40
MARCO METODOLÓGICO.....	40
3.1 Hipótesis central de la investigación.....	41
3.2 Variables e Indicadores de la Investigación.....	41
3.2.1 Variables.....	41
3.2.2 Variable Independiente.....	41
3.3 Métodos de la investigación.....	41
3.3.1 Método AASHTO 1993 – Factores De Diseño.....	41
3.3.1.1. Generalidades.....	41
3.3.1.2. Método de diseño.....	42
3.3.1.3. Tránsito.....	43
3.3.1.4. Confiabilidad “R” ....	44
3.3.2. Método Mecánico – Empírico AASHTO 2008 – Factores De Diseño.....	46



3.4 Diseño o esquema de Investigación.....	47
3.5 Población y muestra.....	48
3.6 Actividades del proceso investigativo.....	48
3.7 Técnicas e instrumentos de la investigación.....	48
3.8 Procedimiento para la recolección de datos (Validación y confiabilidad de los instrumentos. ....	48
3.9 Técnicas de procesamiento y análisis de los datos.....	48
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>49</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>49</b>
4.1 Representación física del método AASHTO 1993.....	50
4.2 Representación física del método M-EPDG AASHTO 2008.....	66
4.3 Análisis cuantitativo y cualitativo entre los métodos AASHTO: 1993 y 2008.....	75
4.4 Conclusión del análisis.....	76
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>77</b>
<b>CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS.....</b>	<b>77</b>
5.1. Conclusiones.....	78
5.2. Sugerencias.....	79
Referencias bibliográficas.....	80
<b>ANEXOS VI.....</b>	<b>82</b>
6.1 Ensayos de la relación de soporte de california.....	83
6.2 Resultados del CBR.....	86
6.3 Proctor modificado para el terreno natural.....	87
6.4 Análisis granulométrico.....	90
6.5 Contenido de humedad y densidad seca.....	93
6.6 Proyecto: Resultados del Software Urb. Pacífico 1.....	98

## Índice de tablas

Tabla 1. Composición fisicoquímica del asfalto. ....	19
Tabla 2. Características del material para la sub-rasante. ....	37
Tabla 3. Características del material para la sub-rasante. ....	38
Tabla 4. Características para el material de base. ....	38
Tabla 5. Factor de distribución por carril. ....	44
Tabla 6 . Periodos de diseño en función de carretera. ....	44
Tabla 7. Valores de “r” de confiabilidad, con diferentes clasificaciones funcionales. ....	45
Tabla 8. Crecimiento anual del tránsito. ....	51
Tabla 9. Desviación estándar Zr en función de la confiabilidad. ....	53
Tabla 10. Análisis granulométrico ....	86
Tabla 11. Ensayo del Proctor modificado ....	87
Tabla 12. Densidad máxima-húmeda optima. ....	88
Tabla 13. Expansión. ....	88
Tabla 14. Penetración. ....	89
Tabla 15. Análisis Granulométrico Peso total (gr) = 638.75 gr ....	90
Tabla 16. Clasificación del Suelo. ....	91
Tabla 17. Proctor modificado. ....	91
Tabla 18. Contenido de humedad y densidad seca ....	92
Tabla 19. Compactación de los moldes CBR. ....	93
Tabla 20. Contenido de humedad y densidad seca ....	93
Tabla 21. Prueba de penetración ....	94
Tabla 22. Curva CBR Vs Densidad seca ....	95
Tabla 23. Compactación de los moldes CBR. ....	95
Tabla 24. Contenido de humedad y densidad seca ....	96
Tabla 25. Prueba de penetración ....	96
Tabla 26 CBR VS densidad seca. ....	97

## Índice de figuras

Figura 1. La Historia del Asfalto.....	17
Figura 2. Composición química del asfalto.....	20
Figura 3. Representación esquemática de la composición química del asfalto. ....	21
Figura 4. Fisuras y grietas por fatigamiento.....	21
Figura 5. Fisuras y grietas en bloque. ....	22
Figura 6. Grietas de borde.....	23
Figura 7. Fisuras y grietas longitudinales y transversales.....	24
Figura 8. Fisuras y grietas reflejadas y transversales.....	25
Figura 9. Parche deteriorado. ....	25
Figura 10. Baches en carpetas asfálticas y tratamientos Superficiales. ....	26
Figura 11. Ahuellamiento.....	26
Figura 12. Costo y energía en la producción.....	27
Figura 13. Estructura del pavimento según terreno de fundación.....	36
Figura 14. Criterio de confiabilidad estadística. ....	45
Figura 15. Relación entre Confiabilidad y el Valor Presente Neto.....	46
Figura 16. Modelo Hipotético-deductivo liberalizado.....	47
Figura 17. Abaco para estimar el número estructural de la carpeta asfáltica $a_1$ .....	55
Figura 18. Abaco para estimar el número estructural de la capa base granular $a_2$ .....	56
Figura 19. Abaco para estimar el módulo resiliente de la base granular.....	57
Figura 20. Abaco para estimar el número estructural de la capa subbase granular $a_3$ .....	58
Figura 21. Abaco para determinar el módulo resiliente de la subbase granular.....	59
Figura 22. Nomograma para calcular el número estructural .....	60
Figura 23. Estructura del pavimento según aashto 1993.....	63
Figura 24. Representación física del método AASHTO 1993 .....	65
Figura 25. Crear un nuevo archivo .....	66
Figura 26. Ventana principal .....	67
Figura 27. Datos de tráfico.....	68
Figura 28. Factores de ajuste mensual. ....	68
Figura 29. Distribución vehicular por hora. ....	69
Figura 30. Factor para el crecimiento del tráfico distribución vehicular por hora.....	69
Figura 31. Distribución de cargas por eje. ....	70
Figura 32. Distancia del eje al borde y numero de ejes.....	70

Figura 33. Configuración de ejes. ....	71
Figura 34. Distancia entre ejes. ....	71
Figura 35. Archivo de clima.....	72
Figura 36. Selección de la ciudad o región .....	72
Figura 37. Abrir archivo solicitado .....	73
Figura 38. Estructura del pavimento según mepdg. aashto 2008.....	73
Figura 39. Representación física del método M-EPDG AASHTO 2008.....	74
Figura 40. Equipos para cálculo del CBR moldes .....	83
Figura 41. Equipo CBR martillo de compactación .....	83
Figura 42. Equipp CBR disco espaciador .....	83
Figura 43. Equipo CBR deformímetro.....	84
Figura 44. Equipo CBR placa de metal perforado .....	84
Figura 45. Equipo CBR pistón compactación de energía modificada .....	84
Figura 46. Equipo CBR prensa de lectura electrónica .....	85
Figura 47. Equipo CBR dial.....	85
Figura 48. Curva granulométrica .....	86
Figura 49. Relación Humedad-Densidad .....	87
Figura 50. Penetración .....	89
Figura 51. Curva granulométrica .....	90
Figura 52. Densidad vs humedad .....	92
Figura 53. Carga Vs Penetración .....	94
Figura 54. Curva CBR Vs Densidad Seca .....	95
Figura 55. Curva carga-penetración.....	96
Figura 56. Curva Vs densidad-CBR.....	97
Figura 57. Aplicación de software .....	106
Figura 58. Aplicación de software. ....	116

## Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Método AASHTO 1993 .....	42
Ecuación 2. Determinación del parámetro del tránsito W18 en el carril de diseño .....	43

## RESUMEN

La presente investigación, se centra en diseñar el pavimento flexible para la Av. Pacífico del distrito de Nuevo Chimbote dado el mal estado en el que se encuentra, comparando los métodos AASHTO 1993 y MEPDG 2008, se hace presente que el trabajo se desarrolló en la Universidad Nacional del Santa, los métodos empleados para el referido diseño se sustentaron en la metodología empleada por el AASHTO 1993, así como el método desarrollado también por el AASHTO 2008, o también llamado MEPDG-2008; uno de los principales objetivos específicos fue recolectar la información de campo mediante el empleo de calicatas a cielo abierto concordante con el Reglamento Nacional de Edificaciones, asimismo se realizó el diseño del pavimento flexible mediante el método AASHTO 1993, otro objetivo específico fue emplear la norma AASHTO 2008, o también llama MEPDG - 2008, luego se consideró pertinente determinar cuál de los dos métodos llegó a considerarse óptimo, para ser tenido en cuenta para diseñar los pavimentos flexibles en Nuevo Chimbote. Los resultados de la presente investigación muestra que las calicatas practicadas dieron como resultado un suelo SP, en concordancia con la clasificación SUCS, para considerar la clasificación AASHTO la nomenclatura generalmente ha dado un suelo A-2-4 (0), considerando su sub índice, el CBR, arrojó resultados tal como 31.80 %, teniendo en cuenta la densidad máxima seca ( $\text{g/cm}^3$ ) igual a 2.405 y contenido óptimo de humedad igual a 6.620 % , finalmente por el método AASHTO 1993, el diseño de la estructura del pavimento fue: espesor de la carpeta asfáltica: 5 cm; espesor de la base granular 20 cm.; espesor de la subbase granular: 30 cm, en total 55 cm; por el método AASHTO MEPDG – 2008, se obtuvieron los siguientes resultados para la estructura del pavimento: espesor de la carpeta asfáltica: 10 cm; espesor de la base granular 30 cm.; espesor de la subbase granular: 40 cm, en total 80 cm; por lo cual concluimos que el Tipo de suelo es SP, extraído de las calicatas, referente al diseño por AASHTO 1993, su estructura es un tanto endeble, sin embargo por el método AASHTO 2008, la estructura del pavimento es robusta y nos permite tener un grado de conservadorismo más real, finalmente como conclusión final definimos que es recomendable emplear el método AASHTO 2008, por cuanto las capas del pavimento son mucho más robustas y permitirían el cumplimiento de vida útil del diseño.

*Palabras claves: Pavimentos, método AASHTO, Carpeta asfáltica, base granular, subbase granular.*

## ABSTRACT

The present investigation, focuses on designing the flexible pavement for the Pacific Avenue of the district of Nuevo Chimbote given the poor condition in which it is located, comparing the methods AASHTO 1993 and MEPDG 2008, it is present that the work was developed in the Universidad Nacional del Santa, the methods used for the referred design were based on the methodology used by the AASHTO 1993, as well as the method also developed by the AASHTO 2008, or also called MEPDG-2008; One of the main specific objectives was to collect the field information through the use of open-pit calicatas in accordance with the National Building Regulations, also the design of the flexible pavement was carried out using the 1993 AASHTO method, another specific objective was to use the AASHTO standard 2008, or also called MEPDG - 2008, then it was considered pertinent to determine which of the two methods came to be considered optimal, to be taken into account to design flexible pavements in Nuevo Chimbote. The results of the present investigation show that the calicatas practiced resulted in an SP soil, in accordance with the SUCS classification, to consider the AASHTO classification the nomenclature has generally given an A-2-4 soil (0), considering its sub index , the CBR, produced results such as 31.80%, taking into account the maximum dry density ( $g / cm^3$ ) equal to 2,405 and optimum moisture content equal to 6,620%, finally by the 1993 AASHTO method, the design of the pavement structure was: asphalt binder thickness: 5 cm; granular base thickness 20 cm .; thickness of the granular subbase: 30 cm, in total 55 cm; by the AASHTO MEPDG - 2008 method, the following results were obtained for the pavement structure: asphalt binder thickness: 10 cm; granular base thickness 30 cm .; thickness of the granular subbase: 40 cm, in total 80 cm; Therefore we conclude that the Type of soil is SP, extracted from the calicatas, referring to the design by AASHTO 1993, its structure is somewhat weak, however by the AASHTO 208 method, the pavement structure is robust and allows us to have a degree of more real conservatism, finally as a final conclusion we define that it is advisable to use the AASHTO 2008 method, because the pavement layers are much more robust and would allow the fulfillment of the design life.

Keywords: Pavements, AASHTO method, Asphalt binder, granular base, granular subbase.

# **INTRODUCCIÓN**



## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de investigación se trata de mostrar que la vida útil de un pavimento depende exclusivamente del método de diseño que se tenga en cuenta, puesto que la mayoría de los métodos toman en cuenta parámetros universalmente conocidos, mencionaremos algunos de ellos, que aun habiendo caído en desuso, continúan siendo tomados en cuenta, tales como: índice de grupo, Wyoming, Instituto del Asfalto, etc., y los que en este trabajo consideramos los métodos AASHTO 1993 y el MEPDG , versión 2008.

Se ha revisado la problemática del distrito de Nuevo Chimbote en la provincia Del Santa, en el Departamento de Ancash, donde los pavimentos que básicamente son flexibles y que el estado en el que se encuentran es deplorable y que las razones por las cuales se encuentran dicho estado están en función al mal diseño, a la mala elección del método de diseño y al mantenimiento que debe de hacerse a dicha estructural vial; en lo referente al mantenimiento se debe de anotar que poco se hace para tener en cuenta su vigencia, por el contrario se desprecia su gran valor y se les demuele de manera irreverente para hacer las instalaciones de desagüe para el cambio de colectores, que si bien es cierto es muy importante, dicho cambio, es muy importante considerar su reposición y al momento de hacerlo considerar el monolitismo, porque cuando se hace la reposición solamente se hace al área que fue demolida por el disco abrasivo, sin considerar que el suelo o terreno de fundación es deleznable y que no se puede respetar al 100 % la geometría que brinda dicha herramienta, como resultado final, la reposición se constituye en un pavimento joven con distinto comportamiento al pavimento antiguo y que cuando se entrega al servicio uno se deteriora más rápido que el otro.

Se ha considerado los dos tipos de diseño de las versiones de AASHTO, para las avenidas más importantes de distrito de Nuevo de Chimbote, tales como la Av. Pacífico, como la avenida principal del distrito, por cuanto esta avenida es la que conecta los dos distritos más principales de la provincia del Santa, por cuanto tienen la mayor población, así como la población vehicular.

Asimismo deseamos mencionar que es conveniente hacer una reflexión referente a cuál de los dos métodos AASHTO debemos prestar mayor atención y cuál de ellos se debe recomendar para ser tenido en cuenta por los proyectistas, al momento de elegir y hacer el diseño de un pavimento flexible para cualesquier vía en el distrito de Nuevo Chimbote.

**CAPÍTULO I**  
**PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

## 1.1 Planteamiento y Fundamentación del Problema de Investigación

### 1.1.1. Reseña Histórica

Un pavimento asfáltico bien diseñado y apropiadamente construido dura muchos años. Puede ser mantenido con sólo realizar periódicos reemplazos de la capa superficial.

El tiempo de poner a punto una vía pavimentada con asfalto es regularmente menor, lo que redundaría en una disminución de costos y de rápida obtención de beneficios económicos por parte de los usuarios de la misma. (Yarango, 2014, p. 11)



Figura 1. *La Historia del Asfalto.*

Fuente: Yarango (2014). *Rehabilitación de la carretera de acceso...vida útil del pavimento*, p. 11

La historia del asfalto se inició hace miles de años, siendo utilizado de su versión natural en yacimientos que se encontraban en estanques y lagos de asfalto, así como en rocas asfálticas.

Los antiguos pobladores de Mesopotamia lo emplearon como sellante en los tanques y embalses de agua. Fue también utilizado por los fenicios en la construcción de sus barcos mercantes. En los días de los Faraones, los egipcios lo usaron como material que, aplicado a las rocas a lo largo del río Nilo, prevenían la erosión del suelo, y el cesto del niño Moisés fue impermeabilizado con asfalto. (Yarango, 2014, p. 11) 625 D.C.

Es en Babilonia donde se registra el primer uso de asfalto como material para la construcción de carreteras. Los antiguos griegos fueron también usuarios del asfalto. De hecho, la palabra "asfalto" proviene de la palabra griega "asphaltos" que significa "seguro". Los romanos lo utilizaron para sellar sus famosos baños y acueductos. (Yarango, 2014, p. 12)

1800 - Principios de siglo

El uso de asfalto para construir carreteras creció de manera exponencial durante los años 1800. Uno de los constructores, Thomas Telford, construyó más de 900 millas de carreteras en Scotland, perfeccionando el método de construir carreteras con rocas partidas. De manera similar, su contemporáneo John Loudon McAdam, usó rocas partidas unidas para formar una superficie dura para construir Scottish turnpike. Más tarde, para reducir el polvo y el mantenimiento, los constructores emplearon "tar" caliente como elemento para unir y pegar las piedras, produciendo de ésta manera el llamado pavimento "tarmacadam" (Yarango, 2014, p. 12).

La Asociación Nacional de Pavimento Asfáltico (NAPA, por sus siglas en inglés) creó el National Center for Asphalt Technology (NCAT) o Centro Nacional de Tecnología Asfáltica, en la Universidad de Auburn, Alabama, como un mecanismo sistemático y centralizado para la investigación del asfalto. La NCAT recientemente abrió otro centro de investigación y se ha convertido en la institución líder del mundo en materia de investigación sobre pavimento asfáltico. (Yarango, 2014, p. 14).

### **1.1.2. Definición del asfalto**

El asfalto es un producto negro, viscoso, pegajoso, que por sus propiedades y características tiene actualmente toda una variedad de usos. Por su versatilidad y fácil manejo es ampliamente utilizado en diferentes ramas de la construcción.

La palabra "asfalto" proviene de los antiguos Griegos, de la palabra Griega "asphaltos", que significa "seguro". (Yarango, 2014, p. 14)

En la antigüedad, Obtenido de forma natural en estanques y lagos de asfalto, fue muy utilizado en la construcción de caminos y edificios. En Babilonia, por ejemplo, se empleaba como material de construcción. Indicios históricos muestran que su primer uso para la construcción de carreteras ocurrió en Babilonia, 625 A.C. Hay frecuentes referencias en el Antiguo Testamento a sus propiedades impermeabilizadoras y su uso en la construcción de barcos.

Aunque en los primeros tiempos los materiales asfálticos eran naturales, actualmente se obtienen artificialmente como producto del refinamiento del petróleo. Los depósitos naturales de asfalto suelen formarse en pozos o lagos a partir

de residuos de petróleo acumulados en el interior de la tierra, que se abren paso hacia la superficie a través de fisuras en la corteza terrestre. Entre los ejemplos de formaciones de este tipo se pueden citar los pozos de alquitrán de La Brea, en Los Ángeles, California (conocido también por sus fósiles de flora y fauna de tiempos prehistóricos), el lago Asfaltites o mar Muerto, el lago de la Brea, en la Isla Trinidad, y el lago Bermúdez, en Venezuela. (Yarango, 2014, p. 15).

### 1.1.3. Composición Fisicoquímica del Asfalto.

La composición del asfalto es una “Enciclopedia” de Química Orgánica. En un análisis detallado de los asfaltos encontramos: saturados, anillos nafténicos y aromáticos, sencillos o múltiples, radicales ácidos, aldehídos, cetonas, está constituido por cadenas de Peso Molecular de hasta 200.000. (Yarango, 2014, p. 15).

Tabla 1  
*Composición fisicoquímica del asfalto.*

<b>Elemento</b>	<b>Betún A</b>	<b>Betún B</b>	<b>Betún C</b>	<b>Betún D</b>
<b>Carbono (%)</b>	83.77	85.78	82.90	86.77
<b>Hidrógeno (%)</b>	9.91	10.19	10.45	10.93
<b>Nitrógeno (%)</b>	0.28	0.26	0.78	1.10
<b>Azufre (%)</b>	5.25	3.41	5.43	0.99
<b>Oxígeno (%)</b>	0.77	0.36	0.29	0.20
<b>Vanadio (ppm)</b>	180	7	1380	4
<b>Níquel (ppm)</b>	22	0.4	109	6

Fuente: Yarango (2014). *Rehabilitación de la carretera de acceso... Vida útil del pavimento; p. 16*

La composición química de los asfaltos es muy compleja, básicamente está constituida por cadenas de moléculas compuestas fundamentalmente por carbono, hidrógeno, azufre, oxígeno, nitrógeno y complejos de vanadio níquel, hierro, calcio y magnesio.

La composición específica de un asfalto en particular dependerá de la procedencia del petróleo crudo del cual procede. (Yarango, 2014, p. 16).

#### 1.1.4. Estructura Química de los Asfaltos

Cuando el asfalto es disuelto en n-heptano, los materiales duros son precipitados, estos materiales son llamados asfaltenos, nombre propuesto por Boussingault en 1837. Existen otras fracciones asfálticas precipitadas por otros solventes, pero esta es la mejor manera de distinguir a estos materiales como insolubles en n-pentano. (Yarango, 2014, p. 16).

Las sustancias solubles en n-heptano se denominan en general petrolenos, también llamados maltenos. Las resinas se encuentran en los petrolenos, pueden ser parcialmente precipitadas por algunos solventes o adsorbidas de los petrolenos por medio de arcillas u otras minerales activados, estas resinas, previamente adsorbidas, pueden pasar a un proceso de desorción del mineral por solventes previamente seleccionados. (Yarango, 2014, p. 16).

“Los carbenos son materiales duros presentes en los asfaltenos de algunos asfaltos. Estos son solubles en disulfuro de carbono pero insolubles en tetracloruro de carbono”. (Yarango, 2014, p. 16).

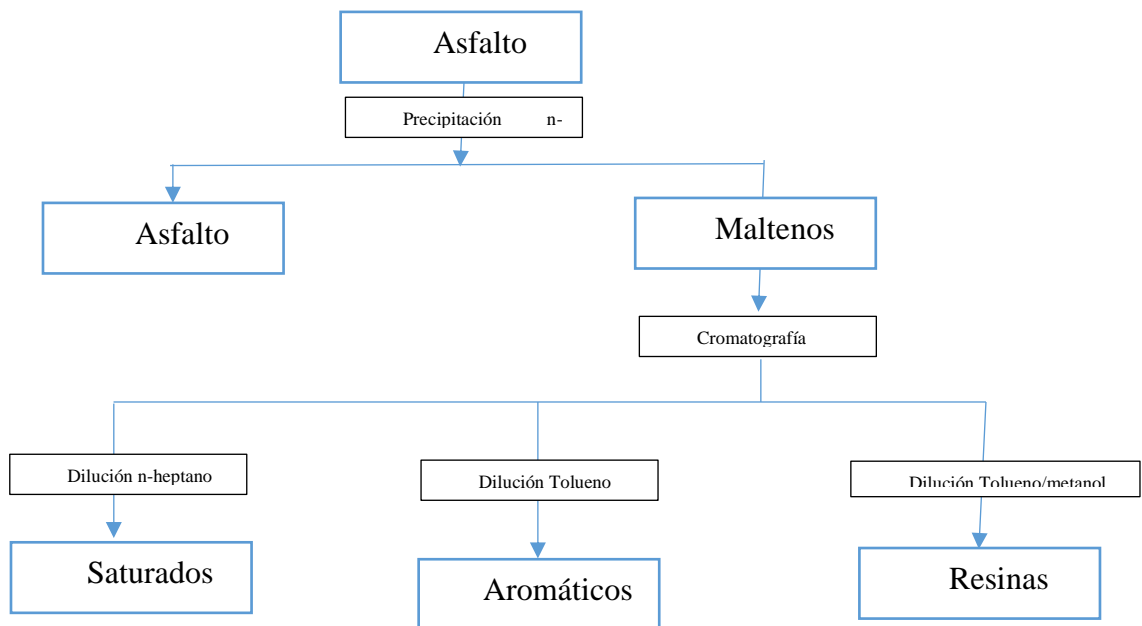


Figura 2. *Composición química del asfalto.*

Fuente: Yarango (2014). *Rehabilitación de la carretera de acceso...vida útil del pavimento*; p. 17

##### a. Asfaltenos

“Son estructuras complejas de compuestos aromáticos de color negro o marrón que contienen además del carbón otros elementos químicos tales como nitrógeno,

azufre, oxígeno , en general, son compuestos polares, de alto peso molecular.” (Yarango, 2014, p. 17).

#### **b. Maltenos**

Son sustancias solubles en normal h-heptano y está constituido por resinas, saturados y **aromáticos**. Son compuestos muy polares de color marrón o marrón claro, sólido o semisólido, solubles en n-heptano y, al igual que los asfaltenos, son compuestos de carbón, hidrógeno y cantidades menores de nitrógeno, oxígeno y azufre. Las resinas son materiales muy adhesivos y actúan como dispersantes o peptizantes de los asfaltenos. (Yarango, 2014, p. 17)

#### **c. Aromáticos**

Los aromáticos constituyen entre el 40 y 65 % de la composición total de los asfaltos, son las fracciones de menor peso molecular en la estructura de los asfaltos, representan la mayor proporción de los dispersantes de los asfaltenos peptizados. (Yarango, 2014, p. 17)

#### **d. Saturados**

Son cadenas lineales y ramificadas, saturadas, no polares.



Figura 3. Representación esquemática de la composición química del asfalto.  
Fuente: Yarango (2014). *Rehabilitación de la carretera de acceso...vida útil del pavimento*; p. 18

### **1.1.5. Fisuras y Grietas**

#### **1.1.5.1. Fisuras y grietas por fatigamiento.**



Figura 4. Fisuras y grietas por fatigamiento.  
Fuente: Miranda (2010), *Deterioro en pavimento flexibles y rígidos*, p. 17

“Son una serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares, generalmente ubicadas en zonas donde hay repeticiones de carga.” (Miranda, 2010, p. 17.)

“La fisuración tiende a iniciarse en el fondo de las capas asfálticas, Donde los esfuerzos de tracción son mayores bajo la acción de cargas, en donde desarrollan un parecido con la piel de cocodrilo. Este tipo de daño no es común en carpetas asfálticas colocadas sobre pavimentos de hormigón.” (Miranda, 2010, p. 17.)

“Posibles Causas: La causa más frecuente es la falla por fatiga de la estructura o de la carpeta asfáltica principalmente debido a:

- Espesor de estructura insuficiente.
- Deformaciones de la subrasante.
- Rigidización de la mezcla asfáltica en zonas de carga (por oxidación del asfalto o envejecimiento).
- Problemas de drenaje que afectan los materiales granulares.
- Compactación deficiente de las capas granulares o asfálticas
- Deficiencias en la elaboración de la mezcla asfáltica: exceso de mortero en la mezcla, uso de asfalto de alta penetración (hace deformable la mezcla), deficiencia de asfalto en la mezcla (reduce el módulo).
- Reparaciones mal ejecutadas, juntas mal elaboradas e implementación de reparaciones que no corrigen el daño”. (Miranda, 2010, p. 17.)

#### ***1.1.5.2. Fisuras y grietas en bloque.***



Figura 5. *Fisuras y grietas en bloque.*

Fuente: Miranda (2010), *Deterioro en pavimento flexibles y rígidos*, p. 18



“En este tipo de falla la superficie del asfalto es dividida en bloques de forma más o menos rectangular. Este deterioro difiere de la piel de cocodrilo en que este aparece en áreas sometidas a carga, mientras que los bloques aparecen usualmente en áreas no cargadas. Sin embargo, se pueden encontrar fisuras en bloque que han evolucionado en piel de cocodrilo debido al tránsito”. (Miranda, 2010, p. 18.)

Posibles Causas:

“La presencia de este inapropiado para el clima de la zona.

- Reflejo de grietas de contracción provenientes de materiales estabilizados utilizados como base.
- Combinación del cambio volumétrico del agregado fino de la mezcla asfáltica con el uso de un asfalto de baja penetración.
- Espesor del pavimento inadecuado para el nivel de solicitaciones baja capacidad de soporte de la subrasante.” (Miranda, 2010, p. 18.)

#### ***1.1.5.3. Grietas de borde.***

“Son grietas con tendencia longitudinal a semicircular ubicadas cerca del borde de la calzada, se presentan generalmente por la ausencia de berma o por la diferencia de nivel de la berma y la calzada. Generalmente se ubican dentro de una franja paralela al borde, con ancho hasta 0,60 m2.” (Miranda, 2010, p. 18.)



Figura 6. *Grietas de borde.*

Fuente: Miranda (2010), *Deterioro en pavimento flexibles y rígidos*, p. 18

#### ***1.1.5.4. Fisuras y grietas longitudinales y transversales.***



Figura 7. *Fisuras y grietas longitudinales y transversales.*

Fuente: *Miranda (2010), Deterioro en pavimento flexibles y rígidos, p. 19*

“Corresponden a discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito o transversales a él. Son indicio de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, las cuales han superado la resistencia del material afectado. La localización de las fisuras dentro del carril puede ser un buen indicativo de la causa que las generó, ya que aquellas que se encuentran en zonas sujetas a carga pueden estar relacionadas con problemas de fatiga de toda la estructura o de alguna de sus partes.” (Miranda, 2010, p. 19.)

#### **Posibles Causas:**

“Las causas más a ambos tipos de fisuras, son:

- Rigidización de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debido a un exceso de filler, o al envejecimiento del asfalto, ocurre ante bajas temperaturas o gradientes térmicos altos (generalmente superiores a 30°).
- Reflexión de grietas de las capas inferiores, generadas en materiales estabilizados o por grietas o juntas existentes en placas de concreto hidráulico subyacentes.
- Otra causa para la conformación de fisuras longitudinales es:
  - ✓ Fatiga de la estructura, usualmente se presentan en las huellas de tránsito.
- Otras causas para la conformación de fisuras transversales son:
  - ✓ Pueden corresponder a zonas de contacto entre corte y terraplén por la diferencia de rigidez de los materiales de la subrasante.
  - ✓ Riego de liga insuficiente o ausencia total.
  - ✓ Espesor insuficiente de la capa de rodadura.” (Miranda, 2010, p. 19.)

#### ***1.1.5.5. Fisuras y grietas reflejadas.***

“Este tipo de daño ocurre cuando existe una capa de pavimento asfáltico sobre placas de pavimento rígido; estas fisuras aparecen por la proyección en superficie de las juntas en dichas placas, en cuyo caso presentan un patrón regular, o también cuando hay grietas en el pavimento rígido que se han reflejado hasta aparecer en la superficie presentando un patrón irregular.” (Miranda, 2010, p. 20.)

#### **Posibles Causas:**

“Son generadas por los movimientos de las juntas entre placas de pavimento rígido o de los bloques formados por las grietas existentes en éste, debido a los cambios de temperatura y de humedad. Generalmente no se atribuyen a las cargas de tránsito, aunque éstas pueden provocar fisuras en las zonas aledañas incrementando la (Miranda, 2010, p. 20.)



Figura 8. *Fisuras y grietas reflejadas y transversales.*

Fuente: Miranda (2010), *Deterioro en pavimento*

#### ***1.1.5.6. Parches deteriorados.***

Los parches corresponden a áreas donde el pavimento original fue removido y reemplazado por un material similar o diferente, ya sea para reparar la estructura (a nivel del pavimento asfáltico o hasta los granulares) o para permitir la instalación o reparación de alguna red de servicios (agua, gas, etc.) (Miranda, 2010, p. 20.)

#### **“Posibles Causas:**

Procesos constructivos deficientes.  
Sólo se recubrió la zona deteriorada sin solucionar las causas que lo originaron

- Deficiencias en las juntas.
- Parche estructuralmente insuficiente para el nivel de Solicitaciones y características de la subrasante.
- Mala construcción del parche (base insuficientemente compactada, mezcla asfáltica mal diseñada). (Miranda, 2010, p. 20.)



Figura 9. *Parche deteriorado.*

Fuente: Miranda (2010), *Deterioro en pavimento flexibles y rígidos*, p. 20

### ***1.1.5.7. Baches en carpetas asfálticas y tratamientos superficiales.***

“Cavidad, normalmente redondeada, que se forma al desprenderse mezcla asfáltica. Para considerarla como bache al menos una de sus dimensiones un mínimo debe tener de 150 mm.” (Miranda, 2010, p. 20.)

#### **“Posibles Causas:**

- Pavimento estructuralmente insuficiente para el nivel de solicitaciones y características de la subrasante.
- Drenaje inadecuado o insuficiente.
- Defecto de construcción.
- Derrame de solventes (bencina, aceite, etc.)
- o quema de elementos sobre el pavimento (Miranda, 2010, p. 21.)



Figura 10. *Baches en carpetas asfálticas y tratamientos Superficiales.*

Fuente: *Miranda (2010), Deterioro en pavimento flexibles y rígidos p. 21*

### ***1.1.5.8. Ahuellamiento.***

Es una depresión de la zona localizada sobre la trayectoria de la llanta de los vehículos. Con frecuencia se encuentra acompañado de una elevación de las áreas adyacentes de la zona deprimida y de fisuración. Un Ahuellamiento significativo puede llevar a la falla estructural del pavimento y posibilitar el hidropilado por almacenamiento de agua.” (Miranda, 2010, p. 21.)

#### **Posibles Causas:**

El Ahuellamiento ocurre principalmente debido a una deformación permanente de alguna de las capas del pavimento o de la subrasante, generada por deformación plástica del pavimento asfáltico o por deformación de la subrasante debido a la fatiga de la estructura ante la repetición de cargas.



Figura 11. *Ahuellamiento.*

Fuente: *Miranda (2010), Deterioro en pavimento flexibles y rígidos p.21*

## 1.2. Antecedentes de la investigación

### 1.2.1. Antecedentes

En los últimos años, el creciente deterioro del medio ambiente ha llevado a convertir el tema de la preservación de los recursos naturales en una preocupación general de todos los sectores productivos del mundo. El rubro de transportes ha desarrollado técnicas para la reutilización de residuos, producto de la eliminación de pavimentos asfálticos por construcción o rehabilitación. El material retirado de los pavimentos asfálticos puede ser reciclado y reutilizado, bajo ciertas condiciones. (Galván, 2015, p. 13).

Otro punto son las mezclas asfálticas en caliente empleadas como solución en los distintos proyectos y técnicas de rehabilitación. Las mezclas asfálticas en caliente, otorgan al pavimento propiedades mecánicas y de adhesión, sin embargo cuando las temperaturas de mezcla y calentamiento de asfalto se incrementan, los pavimentos se exponen a problemas de fisuramiento, deformaciones, y otras fallas, mucho antes de lo previsto; estos problemas requerirán entonces nuevos trabajos de reconstrucción o rehabilitación. (Galván, 2015, p. 13).

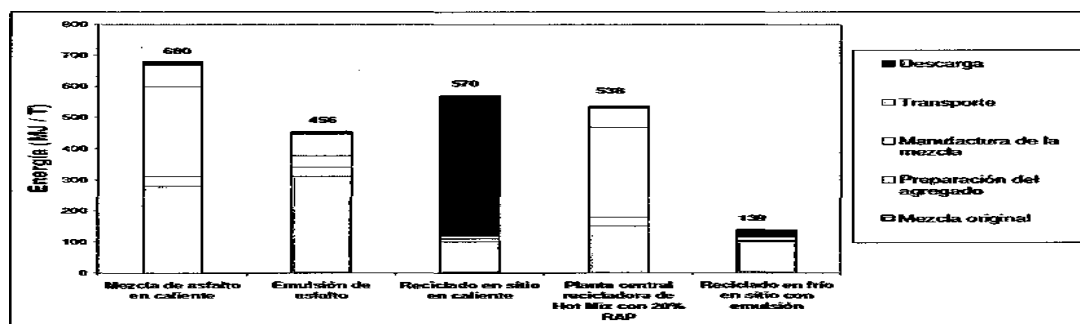


Figura 12. Costo y energía en la producción.

Fuente: Hernández (2011). "Diversificación en el uso de emulsiones de asfalto modificado (PME) para rehabilitación de pavimentos". XVI Congreso Ibero - Latinoamericano del Asfalto. Río de Janeiro - Brasil,

El empleo de las mezclas asfálticas en caliente no logra corregir la aparición de fallas prematuras y genera problemas ambientales y de bajos rendimientos para la rehabilitación. En cuanto a los problemas ambientales, se presentan elementos nocivos, como el kerosene que se utiliza para rebajar los asfaltos y que en su proceso de fabricación se liberan al medio ambiente, con la consecuente contaminación.. (Galván, 2015, p. 14).

En Europa, básicamente en España, la normatividad del diseño de pavimentos flexibles se basa en las relaciones, entre las intensidades de tráfico pesado y niveles de deterioro admisibles al final de la vida útil para obtener cada tipo de sección estructural. . El catálogo de secciones se prepara recurriendo a combinaciones analíticas y se expone las posibilidades técnica y económicamente más adecuadas para el tráfico y terraplén seleccionado (MF. 2010).

Respecto a la evolución de las Normas AASHTO, es el siguiente: Entre los años 1958-1961, se realizaron los experimentos viales de AASHO; en 1961 fue creada la primera guía AASHTO; entre 1961 y 1962, se realiza la guía provisional AASHO; en 1972, se revisó la guía provisional AASHO; en 1986 apareció la Guía de Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO; en 1993 apareció surgió la Guía de Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO con el concepto del proceso de diseño de sobre capas; en 1998, se presenta un suplemento a la guía 1993, orientada al diseño de pavimentos rígidos; 2002, se publica la guía de Diseño Mecanicista Empírica, conocida como: Mechanistic Empirical Pavement Design Guide (MEPDG), que en español se conoce como: Guía Mecanicista Empírica para Diseño de Pavimentos; luego viene el 2008, que es la que hemos utilizado en la presente investigación.

### **1.3. Formulación del problema de investigación**

“¿Cuál de los Métodos American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO – 1993) – (Mechanic –Empirical Pavement Design Guide M-EPDG AASHTO 2008, será el más adecuado para el diseño de pavimentos flexibles en el Distrito de Nuevo Chimbote-Santa-Ancash.?”

### **1.4. Delimitación del estudio**

Dada la importancia de realizar estudios sobre las características finales de una mezcla asfáltica al ser elaboradas incorporando agregado reciclado y emulsión asfáltica, el objetivo general de la presente tesis es determinar criterios de análisis y diseño del comportamiento de una mezcla asfáltica en frío, producida con pavimento reciclado y emulsión asfáltica.

#### **1.4.1. Alcances de la investigación.**

Para poder alcanzar el objetivo general de la investigación, se deben cumplir una serie de objetivos específicos que se describen a continuación:

- Evaluación de emulsión asfáltica en el reciclado de pavimentos en frío.
- Análisis comparativo del comportamiento de mezclas recicladas y mezcla convencional.
- Diseño de una mezcla asfáltica en frío de pavimento reciclado con emulsión.

#### **1.4.2. Organización del trabajo.**

La técnica se inició durante la década de 1980, tenía como principales impulsores la necesidad de conservación del medio ambiente y el problema energético, el cual ocasionaba aumento en los precios de productos derivados del petróleo. Las investigaciones buscaban demostrar la viabilidad de la técnica y el ahorro de recursos que se lograba con un proceso de construcción ambientalmente responsable. (Galván, 2015, p. 17).

En Nuevo México, evaluaron el desempeño de 45 proyectos construidos en 1984 y concluyeron que más del 90% de pavimentos se encontraban en excelentes condiciones. En Indiana la evaluación de ciertas vías, un año después de su construcción (1986), indicaba un mejor desempeño para secciones con mezcla reciclada en frío en comparación con un pavimento rehabilitado de manera convencional. (Galván, 2015, p. 17).

Entre los países asiáticos se encuentra Malasia como el primero en usar el reciclado en frío en el año 1993, seguido por Japón el mismo año y en 1995 por Tailandia. La tecnología se extendió a Indonesia en 1997, y para 1998 a las Filipinas y China. Gracias a la experiencia que para ese momento ya existía en el mundo, los procesos de reciclado tuvieron rápida aceptación y se justificaban en términos de ahorro de costos y beneficios ambientales. (Galván, 2015, p. 18).

Durante la década del 90, un 70% de la Red Vial Pavimentada del Perú fue reconstruida, rehabilitada y/o mejorada con periodos de diseño de 10 años. Posteriormente, la mayoría de ellos solo han recibido mantenimiento de tipo rutinario. Por esta razón, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones realizó un

Plan de Desarrollo Vial denominado “Proyecto Perú”. (Galván, 2015, p. 18).

## **1.5. Justificación e importancia de la investigación**

La presente investigación se justifica porque en el distrito de Nuevo Chimbote ubicado en la provincia Del Santa, Departamento de Ancash, en el área urbana las obras viales se encuentran en un estado completamente deplorables en que las entidades públicas que atienden este tipo de necesidades de infraestructura vial sean atendidas, muy por el contrario han hecho oídos sordos ante los reclamos de la población, la misma que muestra su preocupación, para que se dé la solución ante tan grande problema.

Hablando de la importancia del presente trabajo de investigación, de conseguirse la solución a la problemática los primeros beneficiarios serían los pobladores, puesto que mejoraría el estatus del modo de vida entre los pobladores del distrito de Nuevo Chimbote y adicionalmente a ello se sumaría la satisfacción de otro tipo de población como es la que constituye el parque automotor, por cuanto el tiempo de vida útil de los vehículos durarían aún más por el estado de conservación de las autopartes de los referidos vehículos, es preciso indicar que este factor sigue en continuo aumento, medido por diferentes maneras, que la economía interna del país así lo determina.

Finalmente mención aparte merece el método de diseño empleado, como es el Método AASHTO 1993, por cuanto es método que más puede adecuarse a los requerimientos o parámetros de diseño que el referido método exige, para determinar el dimensionamiento de las capas del pavimento.

## **1.6. Formulación de los objetivos de la investigación**

### **1.6.1. Objetivo General.**

Comparar los métodos *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO - 1993) – Mecánico Empírico M-EPDG (AASHTO 2008), en el diseño de pavimentos flexibles en el Distrito de Nuevo Chimbote-Santa-Ancash.

### **1.6.2. Objetivos Específicos.**

- Recolección de la información de campo desde las calicatas realizadas en la Av. Pacífico del Distrito de Nuevo Chimbote.



- Diseñar los pavimentos por el método AASHTO-1993 para la Av. Pacífico del Distrito de Nuevo Chimbote.
- Diseñar los pavimentos por el método Mecanístico Empírico MEPDG AASHTO – 2008.
- Determinar el método óptimo de diseño de pavimentos flexibles para la Av. Pacífico en el distrito de Nuevo Chimbote-Santa-Ancash.

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

## 2.1. Fundamentos teóricos de la investigación

El concepto “ciencia” ha sufrido importantes variaciones en su sentido y referencia a lo largo de la historia. Estas oscilaciones configuran básicamente tres grandes posiciones: en primer lugar, el concepto clásico, dominante desde los autores clásicos griegos hasta el renacimiento ; en segundo término, la concepción moderna, en torno a Galileo y su época y, finalmente, el enfoque contemporáneo, que surge a partir de la década de 1920-1930 y llega hasta nuestros días. Cada una de éstas tres grandes concepciones ha contribuido a delimitar la actividad científica a través de la historia, y al mismo tiempo, colaboran para alcanzar una idea más adecuada de la ciencia (González, 1988, p.13).

La inducción es el camino que lleva de los casos singulares a la noción universal. Consiste, esencialmente, en percibir por una intuición del espíritu, lo necesario tras lo general o lo habitual que le suministra la sensación, y de la que se sirve el espíritu para leer en lo singular lo necesario, la causa o la razón no confundir lo accidental con la esencia de lo singular, que es el objeto propio de la ciencia (Chevalier, 1967. Pp. 273-278).

Newton es quien consolida el método hipotético deductivo experimental. Se opuso al método cartesiano de teorizar sobre la naturaleza, es decir, a la pretensión de descartes de derivar las leyes físicas básicas a partir de principios metafísicos. Insistió en que el filósofo de la naturaleza debe basar sus generalizaciones en un examen cuidadoso de los fenómenos .Declaró, asimismo, que aun el argumentar, mediante la inducción, a partir de las observaciones y experimentos no conduce a una demostración de las conclusiones generales, éste es el mejor modo de argumentar que admite la naturaleza de las cosas (Losee, 1987.p. 90).

La ciencia se caracteriza por la aplicación del método de análisis lógico, a través del cual se retrotraen los enunciados o sistema de enunciados a sus fundamentos de experiencia. El trabajo científico se encamina a alcanzar un fin, la ciencia unitaria, por la aplicación del método de análisis lógico al material empírico (Montserrat, 1984, p.63).

Mucho de los autores pertenecientes o vinculados de alguna manera al círculo de Viena como Canarp Reichenbach, entre otros evolucionaron posteriormente hacia

posiciones mucho más matizados. De hecho como mejor puede ser entendido el empirismo lógico es, como ha señalado (Brown 1984; p.27).

El aprendizaje puede ser adaptativo, consciente o inconsciente, libre o dirigido, abierto o encubierto. (Sprinthal, 1996, p. 75.).

En cambio, los teóricos cognoscitivos se interesan más por lo que ocurre en la mente de una persona, cuando se da el aprendizaje (Biehler, 1990; p.p 162 y 163)

## **2.2. Marco Conceptual**

### **2.2.1. Pavimento Flexible**

#### ***2.2.1.1. Definición***

Se denomina pavimento flexible, aquellos que tienen una base flexible o semirrígida, sobre la cual se ha construido una capa de rodamiento con mezcla bituminosa de alquitrán o asfalto. Se caracterizan estos pavimentos porque transmiten a la subrasante las cargas que reciben solo en zonas próximas a la aplicación de la carga. La carga de diseño es puntual y las diferentes capas tienen un buen comportamiento resistente al esfuerzo cortante. Su estudio se basa en la teoría de Boussinesq. (Olivera, 2000)

Los pavimentos flexibles, debido a la falta de cohesión de sus capas, son muy flexibles y se deforman con el peso de las cargas de los vehículos. La superficie bajo la carga y a causa de ella, forma una depresión de dimensiones pequeñas y de flecha relativamente importante (que oscila entre una fracción y varios milímetros, según los casos) y tienen como efecto la localización de presiones bajo el suelo subyacente. (Rodríguez, 2013, p. 15-16)

#### ***2.2.1.2. Ventajas y Desventajas de un Pavimento Flexible.***

##### ***2.2.1.2.1. Ventajas***

- Adaptable para construcciones estables.
- Bajo costo, puede lograrse con mano de obra local, así como materiales o equipos de la zona.
- Fácil construcción y reparación de deterioros.

- Bajo costo inicial, excepto en los tipos superiores.
- A continuación, se presenta una definición de términos básicos  
Resistente a la formación de capas de hielo.
- Gran variedad de tipos que permiten un amplio juego de condiciones.
- No tiene uniones.
- Tiene condiciones que permite su rehabilitación y reconstrucción.
- Puede someterse inmediatamente al tráfico. (Rodríguez, 2013, p. 17)

#### *2.2.1.2.2. Desventajas*

- Un mal drenaje, permite al agua disminuir la capacidad portante de las capas y por lo tanto la destrucción del pavimento.
- La construcción debe hacerse en épocas que no llueve para no malograr la compactación de sus capas.
- En aeropuertos no es recomendable por ser afectado por las altas temperaturas de las turbinas y por la presencia de aceites y combustibles que caen al pavimento. (Rodríguez, 2013, p. 18).

#### *2.2.1.3. Componentes estructurales*

Las capas que forman un pavimento, y el espesor de cada una de ellas dependen de los siguientes factores:

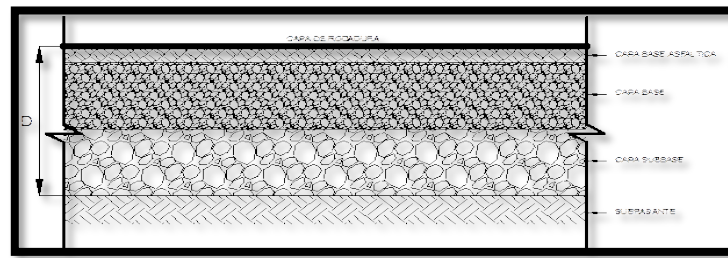
- Las cargas de tráfico.
- La temperatura que influye en los cambios del clima.
- Capacidad de soporte del terreno de fundación.
- Calidad de los materiales con los que se diseñará el pavimento. (Rodríguez, 2013, p. 18)

Un pavimento está constituido de abajo hacia arriba por las siguientes capas:

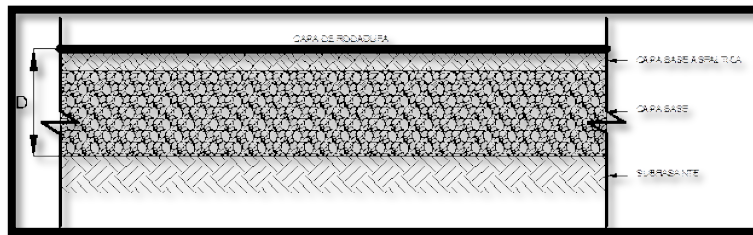
#### *2.2.1.4 Terreno de fundación*

El terreno de fundación es la parte de la vía que, después de haber sido terminado el movimiento de tierra y compactado adecuadamente, debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos de diseño; siendo su parte superior la subrasante. (Benites, 2001, p. 17)

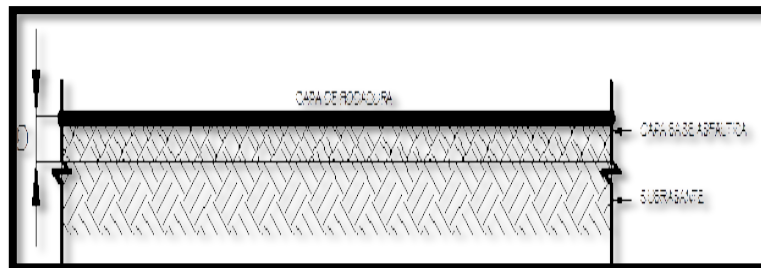
Finalmente, si el terreno de fundación es un suelo calificado como excelente, bastará colocar la capa de rodadura. (Benites, 2001, p. 17)



a) Terreno de fundación malo



b) Terreno de fundación regular o bueno



c) Terreno de fundación excelente

Figura 13. Estructura del pavimento según terreno de fundación.

Fuente: Benites (2001). Evaluación del diseño de Pavimentos...en calles urbanas p. 17

### 2.2.1.5 Subrasante.

La subrasante forma parte del pavimento y puede ser una superficie o una capa con un espesor, dependiendo éste del tipo de suelo que la forme. Cuando el suelo es roca, la subrasante es una superficie y cuando el suelo es un material friccionante, arena, o un material cohesivo, arcilla, la subrasante será una capa. (Benites, 2001, p. 17)

Tabla 2  
*Características del material para la sub-rasante.*

Características		Deseable	Calidad adecuada	Tolerable
Tamaño	Máximo	76	76	76
	(mm)	-	-	-
% de Finos		25 Max.	35 Max.	4 Max.
	(Mat. 0.074 mm)	30 Max.	40 Max.	50 Max.
Límite Líquido %		10 Max.	20 max.	25 Max.
Índice Plástico		100 Min	100±2	100±2
Compactación %		-	-	-
CBR %		30 Min.	20 Min.	15 in.
Desgaste de los	Ángeles			

Fuente: *Benítez (2001). Evaluación del diseño estructural de pavimentos en calles urbanas; p. 17*

#### **2.2.1.6 Subbase**

Es la capa de material seleccionado (tierra seleccionada), que se coloca sobre la subrasante. Tiene por objeto:

- Servir de capa de drenaje al pavimento.
- Controlar, o eliminar en lo posible, los cambios de volumen, elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material de la subrasante.
- Controlar la ascensión capilar del agua proveniente de las napas freáticas cercanas, o de otras fuentes.

El material de la subbase, debe ser seleccionado y tener mayor capacidad de soporte que el terreno de fundación compactado. Puede ser: arena, grava, escoria de altos hornos, residuos de material de cantera. En algunos casos, es posible emplear para la subbase el material de la subrasante mezclado con granzón, cemento, etc. (Benites, 2001, p. 17)

Tabla 3  
*Características del material para la sub-rasante*

<b>Características</b>	<b>Deseable</b>	<b>Calidad Adecuada</b>	<b>Tolerable</b>
Tamaño Máximo (mm)	51	51	51
% de finos (Mat. 0.074 mm)	15 Max.	15 Max.	15 Max. 20 Mx.
Límite Líquido	25 Max	30 Max.	40 Max.
Índice Plástico	6 Max.	10 Max.	15 Max
Compactación	100Min.	100 ±2	100 ±2
CBR %			
Desgaste de los Ángeles	40 Min	30 Min	30 Min

Fuente: *Benítez (2001). Evaluación del diseño estructural de pavimentos en calles urbanas; p. 17*

#### **2.2.1.7. Base**

Ser resistente a los cambios de humedad y temperatura.

- No presentar cambios de volumen que sean perjudiciales.
- El desgaste, según el ensayo “los ángeles”, debe ser inferior a 50%.
- La fracción del material que pasa el tamiz N° 40, ha de tener un límite líquido menor del 25% y un índice de plasticidad inferior a 6.
- La fracción que pasa el tamiz N° 200, no podrá exceder de ½, y en ningún caso de los 2/3 de la fracción que pasa el tamiz N° 40. (Benítez, 2001, p. 17)

Tabla 4  
*Características para el material de base.*

Características	Calidad	
	Deseable	Adecuada
Tamaño Máximo (mm)	38	38
% de Finos (Mat. 0.074 mm)	10 Max.	15 Max.
Límite Líquido %	25 Max.	30 Max.
Índice Plástico %	6 Max.	6 Max.
Compactación %	100 Min.	100 Min.
CBR %	100 Min.	80 Min.
Desgaste de los Ángeles	40 Max.	40 Max.

Fuente: *Benítez (2001). Evaluación del diseño estructural de pavimentos en calles urbanas; p. 17*



#### **2.2.1.8. Capa de rodamiento**

La que se coloca sobre la base y que está formada por una mezcla bituminosa. Carpeta de rodadura, es una capa aglomerada de agregados pétreos y asfalto, generalmente semi cerrada o cerrada diseñada para resistir la abrasión y desintegración por efectos ambientales. Capa intermedia mezcla abierta y graduada densa o gruesa, colocada sobre la base. Base asfáltica, mezcla generalmente abierta colocada sobre la base granular o subrasante, a la cual se le superpone la capa intermedia o rodadura. (Zúñiga 2015; p. 19).

Así mismo, la capa de rodamiento contribuye, en cierto modo, a aumentar la capacidad de soporte del pavimento, especialmente si su espesor es apreciable (más de 3”). (Benítez, 2001, p. 18)

**CAPÍTULO III**  
**MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1. Hipótesis central de la investigación**

El Método (Mechanic –Empirical Pavement Design Guide M-EPDG American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO 2008, es el más adecuado para el diseño de pavimentos flexibles en el Distrito de Nuevo Chimbote-Santa-Ancash.

### **3.2. Variables e Indicadores de la Investigación**

La investigación realizada fue experimental con la manipulación de las dos variables en estudio: dependiente e independiente.

#### **3.2.1. Variables:**

##### *3.2.1.1. Variable Dependiente:*

- Método AASHTO 1993
- Método AASHTO MEPDG - 2008

##### *3.2.1.2. Variable Independiente:*

- Condición deplorable del pavimento en las principales avenidas del Distrito de Nuevo Chimbote y en especial de la av. Pacífico.

### **3.3. Métodos de la investigación**

#### **3.3.1. Método AASHTO 1993 – Factores De Diseño**

##### *3.3.1.1. Generalidades*

La aplicación del Método AASHTO-72 se mantuvo hasta mediados del año 1983, cuando se determinó que, aun cuando el procedimiento que se aplicaba alcanzaba sus objetivos básicos, podían incorporársele algunos de los adelantos logrados en los análisis y el diseño de pavimentos que se habían conocido y estudiado desde ese año 1972. Por esta razón, en el período 1984-1985 el Sub Comité de Diseño de Pavimentos junto con un grupo de Ingenieros Consultores comenzó a revisar el "Procedimiento Provisional para el Diseño de Pavimentos AASHTO-72", y a finales del año 1986 concluye su trabajo con la publicación del nuevo "Manual de Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO '86", y sigue una nueva revisión en el año 1993, por lo cual, hoy en día, el método se conoce como Método AASHTO-93.

### 3.3.1.2. Método de diseño

Los procedimientos involucrados en el actual método de diseño, versión 1993, están basados en las ecuaciones originales de la AASHTO que datan de 1961, producto de las pruebas en Ottawa, Illinois, con tramos a escala natural y modificado para incluir factores o parámetros de diseño que no habían sido considerados y que son producto de la experiencia adquirida por ese organismo entre el método original y su versión más moderna, además de incluir experiencias de otras dependencias y consultores independientes. El diseño está basado primordialmente en identificar o encontrar un “número estructural SN” para el pavimento flexible que pueda soportar el nivel de carga solicitado. Para determinar el número estructural SN requerido, el método proporciona la ecuación general.

Ecuación de Diseño:

La ecuación AASHTO-93 toma la siguiente forma:

$$\text{Log}W_{18}=Z_R.S_0+9.36. \text{Log} (SN+1)-0.20+\frac{\text{Log} \left(\frac{\Delta PSI}{1094}\right)^{4.2-1.5}}{0.40+\frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}}+2.35 \text{Log}M_R-8,07 \dots\dots\dots (1)$$

#### Variables independientes:

- W18** : Número de aplicaciones de cargas equivalentes de 80 kN acumuladas en el periodo de diseño (n)
- ZR** : Valor del desviador en una curva de distribución normal, función de la Confiabilidad del diseño (R): o grado confianza en que las cargas de diseño no serán superadas por las cargas reales aplicadas sobre el pavimento.
- So** : Desviación estándar del sistema, función de posibles variaciones en las estimaciones de tránsito (cargas y volúmenes) y comportamiento del pavimento a lo largo de su vida de servicio.
- ΔPSI** : Pérdida de Serviciabilidad (Condición de Servicio) prevista en el diseño, y medida como la diferencia entre la “planitud” (calidad de acabado) del pavimento al concluirse su construcción (Serviciabilidad Inicial (po) y su planitud al final del periodo de diseño (Servicapacidad Final (pt)).
- MR** : Módulo Resiliente de la subrasante y de las capas de bases y sub-bases granulares, Recuperado a través de ecuaciones de

correlación con la capacidad portante (CBR) de los materiales (suelos y granulares).

**Variable dependiente:**

**SN** : Número Estructural, o capacidad de la estructura para soportar las cargas bajo las condiciones (variables independientes) de diseño.

**3.3.1.3. Tránsito**

Para el cálculo del tránsito, el método actual contempla los ejes equivalentes sencillos de 18,000 lb. (8.2 Tn) acumulados durante el periodo de diseño, por lo que no ha habido grandes cambios con respecto a la metodología original de AASHTO. (Aashto, 1993, p. 12)

Solamente se aconseja que para fines de diseño en “etapas o fases” se dibuje una gráfica donde se muestre año con año, el crecimiento de los ejes acumulados (ESAL) vs tiempo, en años, hasta llegar al fin del periodo de diseño o primera vida útil del pavimento. La ecuación siguiente puede ser usada para calcular el parámetro del tránsito W18 en el carril de diseño. (Aashto, 1993, p. 12)

$$W_{18} = D_D * D_L * ESAL \dots \dots \dots (2)$$

**Dónde:**

**W18** : Transito acumulado en el primer año, en ejes equivalentes sencillos de 8.2 Tn., en el carril de diseño.

**DD** : Factor de distribución direccional; se recomienda 50% para la mayoría de las carreteras, pudiendo variar de 0.3 a 0.7, dependiendo de en qué dirección va el transito con mayor porcentaje de vehículos pesados.

**ESAL** : Numero de ejes equivalentes a 8.2 Tn en el periodo de diseño.

**DL** : Factor de distribución por carril, cuando se tengan dos o más carriles por sentido. Se recomiendan los siguientes valores

Tabla 5  
*Factor de distribución por carril.*

Número de carriles en cada	Porcentaje de ejes de 8.2 Tn. En cada
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

Fuente: *Normas Aashto (1993), Guía para el diseño de pavimentos flexibles p.14*

Una vez calculados los ejes equivalentes acumulados en el primer año, el diseñador deberá estimar con base en la tasa de crecimiento anual y el periodo de diseño en años, el total de ejes equivalentes acumulados y así contar con un parámetro de entrada para la ecuación general o para el nomograma.

Tabla 6  
*Periodos de diseño en función de carretera.*

Tipo de carretera	Periodo de diseño
Urbana con altos volúmenes de tránsito.	30-50 años.
Interurbana con altos volúmenes de tránsito.	20-50.
Pavimentada con bajos volúmenes de tránsito.	15-25 años.
Revestidas con bajos volúmenes de tránsito.	10-20 años.

Fuente: *Aashto (1993), Guía para el diseño de pavimentos flexibles p.14*

#### **3.3.1.4. Confiabilidad "R"**

La "Confiabilidad del Diseño (R)" se refiere al grado de certidumbre (seguridad) de que una determinada alternativa de diseño alcance a durar, en la realidad, el tiempo establecido en el período seleccionado. La confiabilidad también puede ser definida como la probabilidad de que el número de repeticiones de cargas (Nt) que un pavimento pueda soportar

para alcanzar un determinado nivel de servicapacidad de servicio, no sea excedida por el número de cargas que realmente estén siendo aplicadas (WT) sobre ese pavimento"

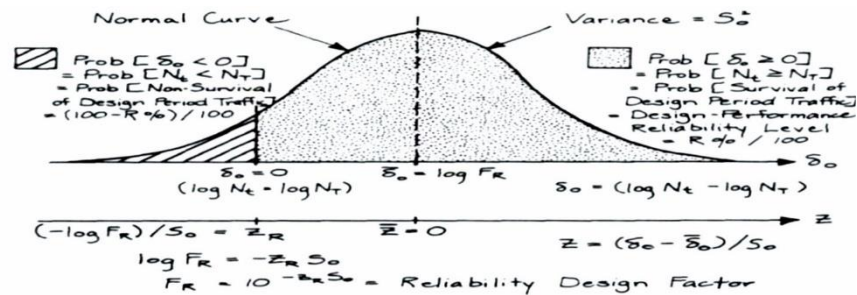


Figura 14. Criterio de confiabilidad estadística.

Fuente: Aristizabal (2014). Diseño de un pavimento... Aashto y Racional p. 14

El actual método AASHTO para el diseño de la sección estructural de pavimentos flexibles, recomienda valores desde 50 y hasta 99.9 para el parámetro "R" de confiabilidad.

Tabla 7

Valores de "r" de confiabilidad, con diferentes clasificaciones funcionales.

Niveles de confiabilidad	
Clasificación funcional	Nivel recomendado por AASHTO para CARRETERAS
Carretera Interestatal o Autopista	80-99.9
Red principal o Federal	75-95
Red secundaria o Estatal	75-95
Red rural o Local	50-80

Fuente: Aristizabal (2014). Diseño de un pavimento... Aashto y Racional p. 14

La confiabilidad en el diseño de pavimentos ( $Z_r$ ) es la probabilidad de que el sistema estructural que forma el pavimento cumpla su función prevista bajo las condiciones que tienen lugar en ese lapso.

$$\text{Confiabilidad} = R (\%) = 100 \times \text{Probabilidad} (N_f > NT)$$

Como se aprecia en la siguiente figura el incremento de la confiabilidad reduce el costo futuro pero incrementa los costos iniciales. Si se efectúa un análisis del costo del ciclo de vida del pavimento se puede encontrar qué valor de confiabilidad arrojará el menor costo total.

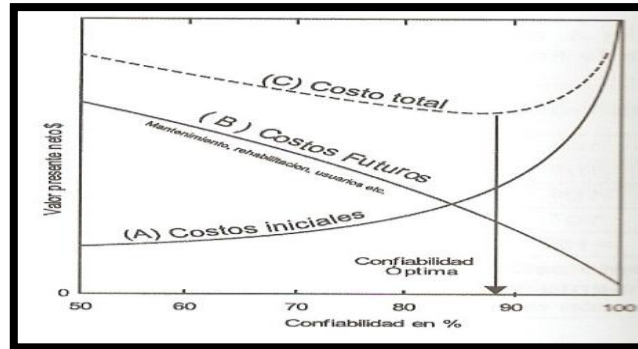


Figura 15. *Relación entre Confiabilidad y el Valor Presente Neto.*  
Fuente: Aristizabal (2014). *Diseño de un pavimento... Aashto y Racional p. 14*

### 3.3.2. Método Mecánico – Empírico AASHTO 2008 – Factores De Diseño

#### A. Características del Diseño Mecánico

- Basado en el comportamiento estructural ante la aplicación de cargas.
- Deben conocerse las propiedades fundamentales de los materiales y la geometría de la estructura sometida a sollicitaciones.
- Actualmente no hay ningún procedimiento de diseño exclusivamente Mecánico. (Jaña, 2016, p. 3)

#### B. Características del Diseño Empírico

- Basado en resultados de experimentos de campo.
- Vincula variables de diseño e indicadores de comportamiento (AASHTO '93, Método CBR, etc)
- Las relaciones observadas no están necesariamente asociadas a una base científica. (Jaña, 2016, p. 3)



### C. Diseño Mecánico – Empírico (Mechanistic – Empirical Pavement Design Guide, MEPDG)

- Los componentes Mecánico permiten determinar la respuesta del pavimento ante situaciones críticas de carga y clima, utilizando modelos matemáticos.
- Límites aceptables y confiabilidad son definidos individualmente para cada indicador. (Jaña, 2016, p. 3)

#### Mecánicamente

- ❖ Calcula la respuesta del pavimento (Tensiones, deformaciones y deflexiones) asociadas a:
  - Cargas de tránsito.
  - Condiciones ambientales.
- ❖ Acumula daño producido durante el periodo de diseño. (Jaña, 2016, p. 3)

#### Empíricamente

- ❖ Relaciona el daño en el tiempo con deterioros típicos, a través de modelos de regresión, por ejemplo:
  - Fisuras, Ahuellamiento e IRI en asfalto.
  - Agrietamiento, piel de cocodrilo. (Jaña, 2016, p. 3).

### 3.4. Diseño o esquema de Investigación

Para considerar el esquema de investigación se ha propuesto el esquema de investigación que se muestra a continuación:

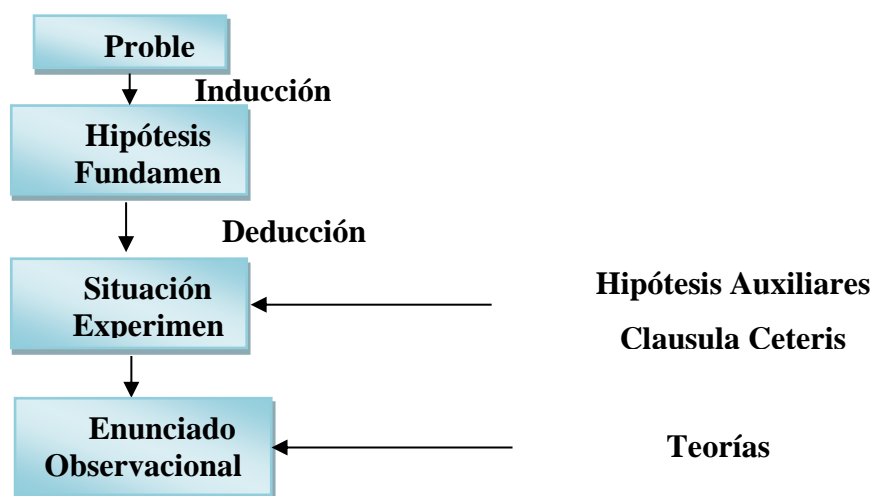


Figura 16. Modelo Hipotético-deductivo liberalizado.

Fuente: *Elaboración Propia*

### **3.5. Población y muestra**

Se ha determinado como población para el presente trabajo de investigación las principales arterias del distrito de Nuevo Chimbote.

La muestra constituye la Av. Pacífico como una de las vías más transitadas en el distrito.

### **3.6. Actividades del proceso investigativo**

Las principales actividades consideradas fueron la toma de datos del tránsito en la Av. Pacífico en estudio, asimismo la toma de muestras de suelos para el ensayo de las características del terreno como parte integrante de los parámetros de diseño, se ha estudiado las características de los materiales granulares de las canteras que provean dicho material para el diseño y construcción de los futuros pavimentos.

### **3.7. Técnicas e instrumentos de la investigación**

Las técnicas tenidas en cuenta para llevar a cabo la investigación fue la metodología considerada por AASHTO, tanto en la versión 1993 y 2008.

### **3.8. Procedimiento para la recolección de datos (Validación y confiabilidad de los instrumentos).**

La validación de la información que se recopila en el presente trabajo de investigación se valida por la Universidad Nacional del Santa como universidad licenciada por la Superintendencia nacional de Educación Superior Universitaria (SUNEDU).

### **3.9. Técnicas de procesamiento y análisis de los datos**

Guías para el diseño de pavimentos de AASHTO, tanto para las versiones 1993 y la versión 2008.

**CAPÍTULO IV**  
**RESULTADOS Y DISCUSION**

## 4.1 Representación Física del Método AASHTO - 1993

### DATOS PARA EL DISEÑO

- Tipo de pavimento: flexible
- Periodo de diseño :5 años
- Transito promedio inicial 92 vehículos comerciales en dos carriles.
- Crecimiento anual: 2%
- Factor camión :1.5%
- Tipo de vía rural
- Coeficiente de confiabilidad: 94 %
- Serviciabilidad  
Po: 4  
Pf:2  
Datos del CBR:
- Base:100%
- Subbase: 9.5%
- Terreno de fundación: 2%
- Módulo resiliente del concreto asfaltico 365,000 psi
- Coeficiente de drenaje para base y subbase m: 1.15

### 1. TRANSITO

#### a) Periodo de diseño

Periodo de diseño = 5 años

#### b) Tráfico

Tránsito periodo inicial 92 vehículos comerciales

IMD = 92

Nº de carriles en cada dirección	Porcentaje de ejes simples equivalentes de 18 kips en el carril de diseño
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4 o más	50 - 75

Como es de dos carriles tomaremos: El factor carril = 100%

**e) Factor de crecimiento**

Sabiendo que el periodo de diseño es de 5 años y la tasa de crecimiento es 2%; se determina el Factor de crecimiento.

Tabla 8

*Crecimiento anual del tránsito*

Periodo diseño Años (n)	Tasa Anual de Crecimiento, en por ciento.						
	2	4	5	6	7	8	10
4	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	15.97	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.56
20	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28
25	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35

Fuente: Benítez (2001). *Evaluación del diseño estructural de pavimentos en calles urbanas*; p. 17

De la Tabla, se obtiene el crecimiento:  $F_C = 5.20$

**f) Cálculo de ESAL**

$$ESAL = W_{18} = IDM * \frac{A}{100} * \frac{B}{100} * 365 * Fc * \left[ \frac{(1+r)^n - 1}{\ln(r+1)} \right]$$

- $W_{18}$  = transito acumulado en el primer año, en ejes equivalentes sencillos de 8.2 ton, en el carril de diseño
- $FCr$  = Factor de crecimiento para un período de diseño en años.
- $DD = B/100$  = distribución direccional crítica (a menos que existan consideraciones especiales, la distribución direccional asigna un 50% del tránsito a cada dirección)
- $DL = A/100$  = factor de distribución por carril
- $W_{18}$  = ejes equivalentes acumulados en ambas direcciones.
- $Fc$  = factor camión
- 

Nº de carriles en cada dirección	Porcentaje de ejes simples equivalentes de 18 kips en el carril de diseño
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4 o más	50 - 75

$B$  = % de vehículos que utilizan un carril, como tenemos dos carriles por lo tanto el  $B$  sería **50%**.

$Fc$  = factor camión lo obtenemos por dato.  $Fc = 1.5$

$n$  = Periodo de diseño

$$ESAL = W_{18} = IDM * \frac{A}{100} * \frac{B}{100} * 365 * Fc * \left[ \frac{(1+r)^n - 1}{\ln(r+1)} \right]$$

$$ESAL = W_{18} = 92 * \frac{100}{100} * \frac{50}{100} * 365 * 1.5 * \left[ \frac{(1+0.02)^5 - 1}{\ln(0.02+1)} \right]$$

$$ESAL = W_{18} = 132221.25 = 1.3 \times 10^5$$

## 2. CONFIABILIDAD

Niveles de confiabilidad	
Clasificación funcional	Nivel recomendado por aashto para carreteras
Carretera Interestatal o Autopista	80-99.9
Red principal o Federal	75-95
Red secundaria o Estatal	75-95
Red rural o Local	50-80

Por dato del problema, **R = 94%**

## 3. DESVIACIÓN ESTANDAR “Z<sub>R</sub>”, En función de la confiabilidad R

Tabla 9

Valores de Z, en función de la confiabilidad R

Confiabilidad R (%)	Desviación normal estándar Z <sub>r</sub>
50	-0.000
60	-0.253
70	0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
<b>94</b>	<b>-1.555</b>
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: *Desviación estándar Z<sub>R</sub> en función de la confiabilidad*

Para R=94 nuestro, **Z<sub>R</sub> = -1.555**

#### 4. DESVIACION ESTANDAR GLOBAL O TOTAL “So”

Desviación estándar normal ( So)	
Para pavimentos flexibles	0.40-0.50
En construcciones nuevas	0.35-0.40
En sobre capas	0.50

El So puede ser en pavimentos flexibles de 0.40 a 0.50 entonces elegimos el valor de 0.45

$$\mathbf{So = 0.45}$$

#### 5. PERDIDA O DIFERENCIA ENTRE INDICES DE SERVICIO INICIAL Y TERMINAL

Serviciabilidad:  $P_o = 4$ ;  $P_f = 2$

$$\Delta Psi = P_o - P_f$$

$$\Delta Psi = 4.0 - 2.0$$

$$\mathbf{\Delta Psi = 2}$$

#### 6. COEFICIENTES DE DRENAJE

Coefficiente de drenaje: **1.15**

#### 7. MODULO DE RESILENCIA

Para el terreno natural:

$$MR \text{ (psi)} = 1500 \times CBR$$

$$MR \text{ (psi)} = 1500 \times 2$$

$$MR \text{ (psi)} = 3000 = \mathbf{3PSI}$$

#### 8. COEFICIENTES DE CAPAS

✚ **ABACO A1: Para carpeta asfáltica a<sub>1</sub>**

**Coefficiente de Capas**

Cálculo del a<sub>1</sub>: Mr de la capa asfáltica= **365.000 psi**



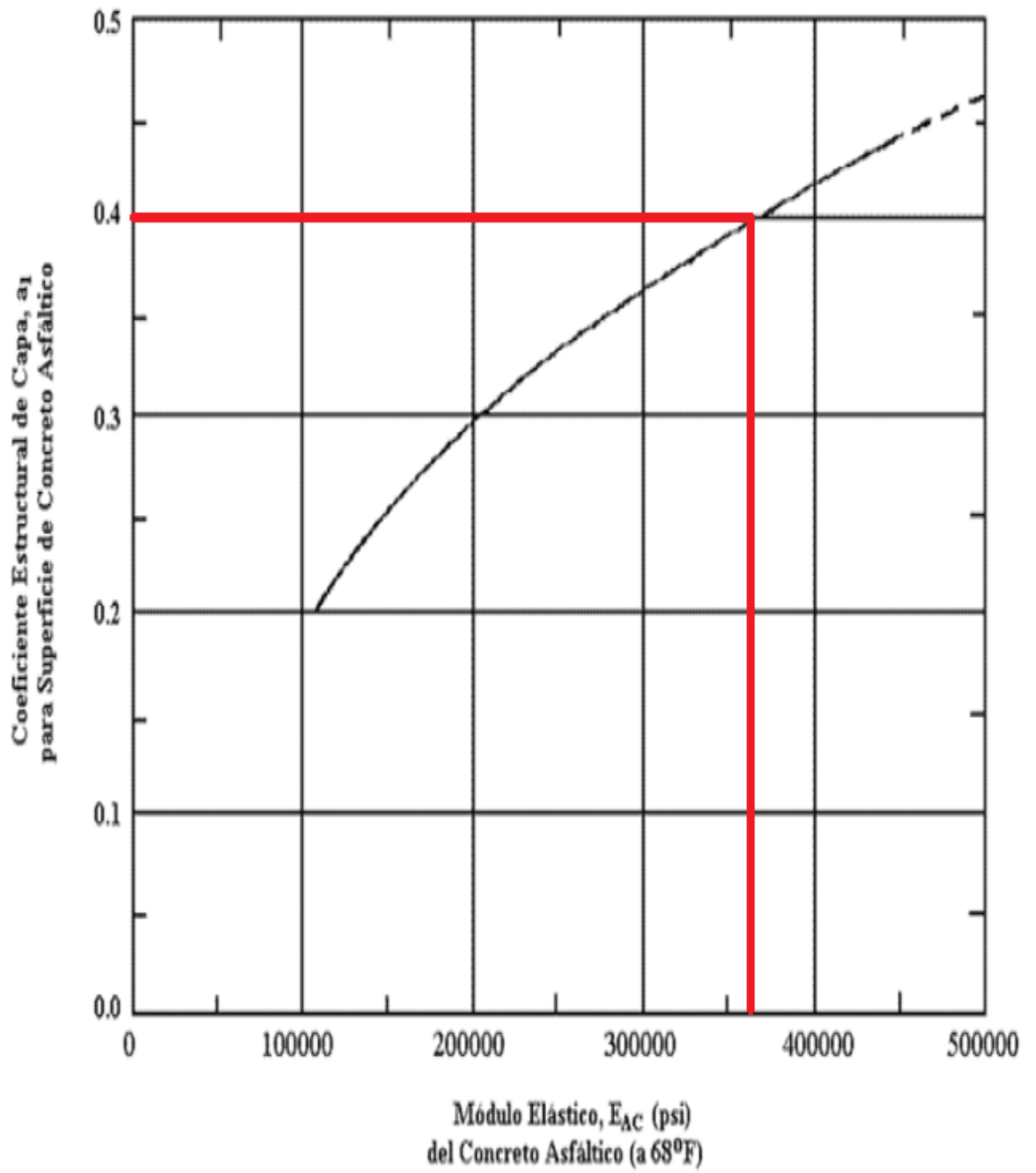


Figura 17. *Ábaco para estimar el número estructural de la carpeta asfáltica “ $a_1$ ”.*  
 Fuente: Aashto (1993), Guía para el diseño de pavimentos flexibles, p. 51

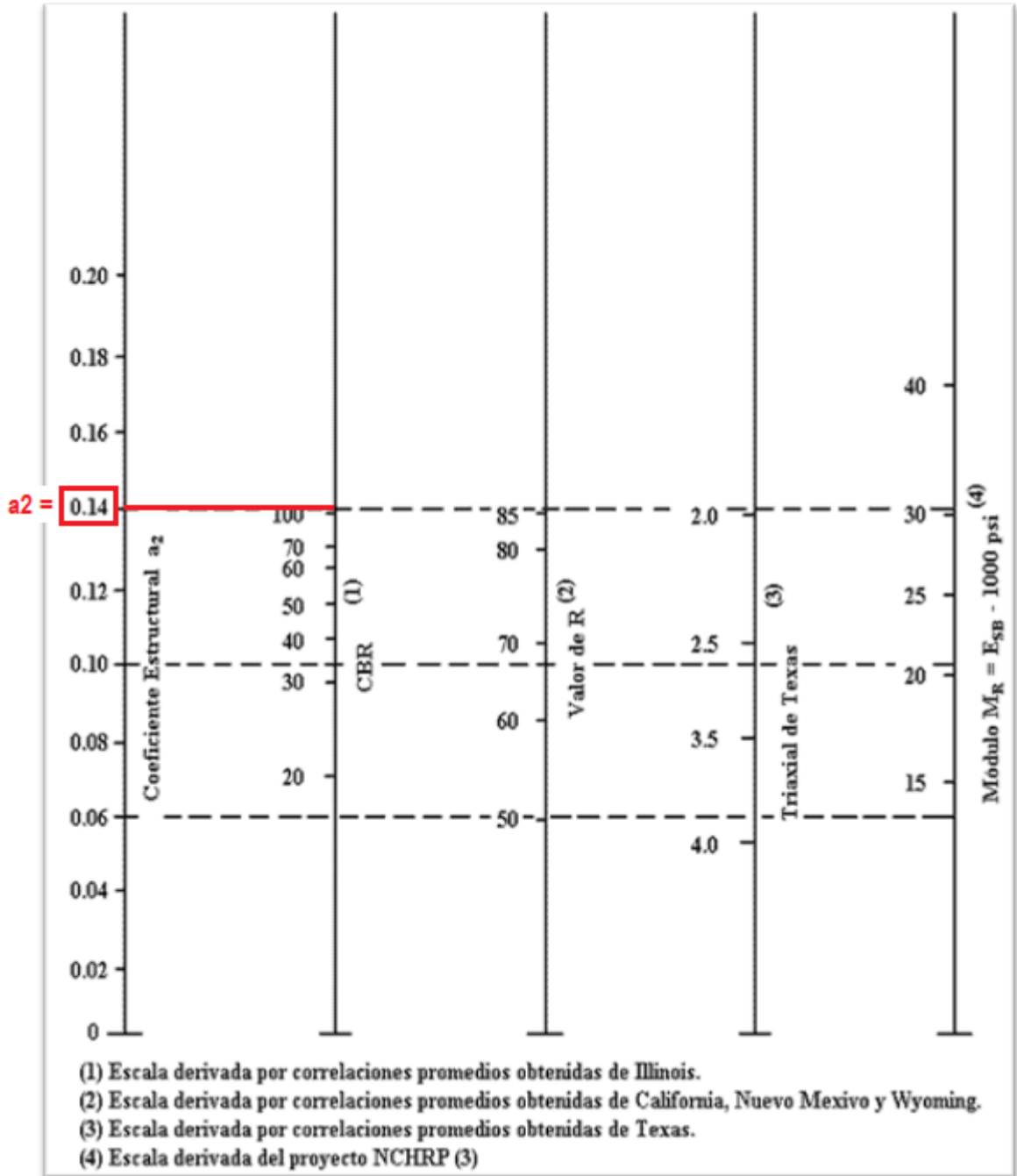


Figura 18. Ábaco para estimar el número estructural de la capa base granular “a<sub>2</sub>”.  
 Fuente: Aashto (1993), Guía para el diseño de pavimentos flexibles, p. 51

Hallamos el a<sub>2</sub> según nomograma:

**a<sub>2</sub> = 0.14 pulg<sup>-1</sup>**

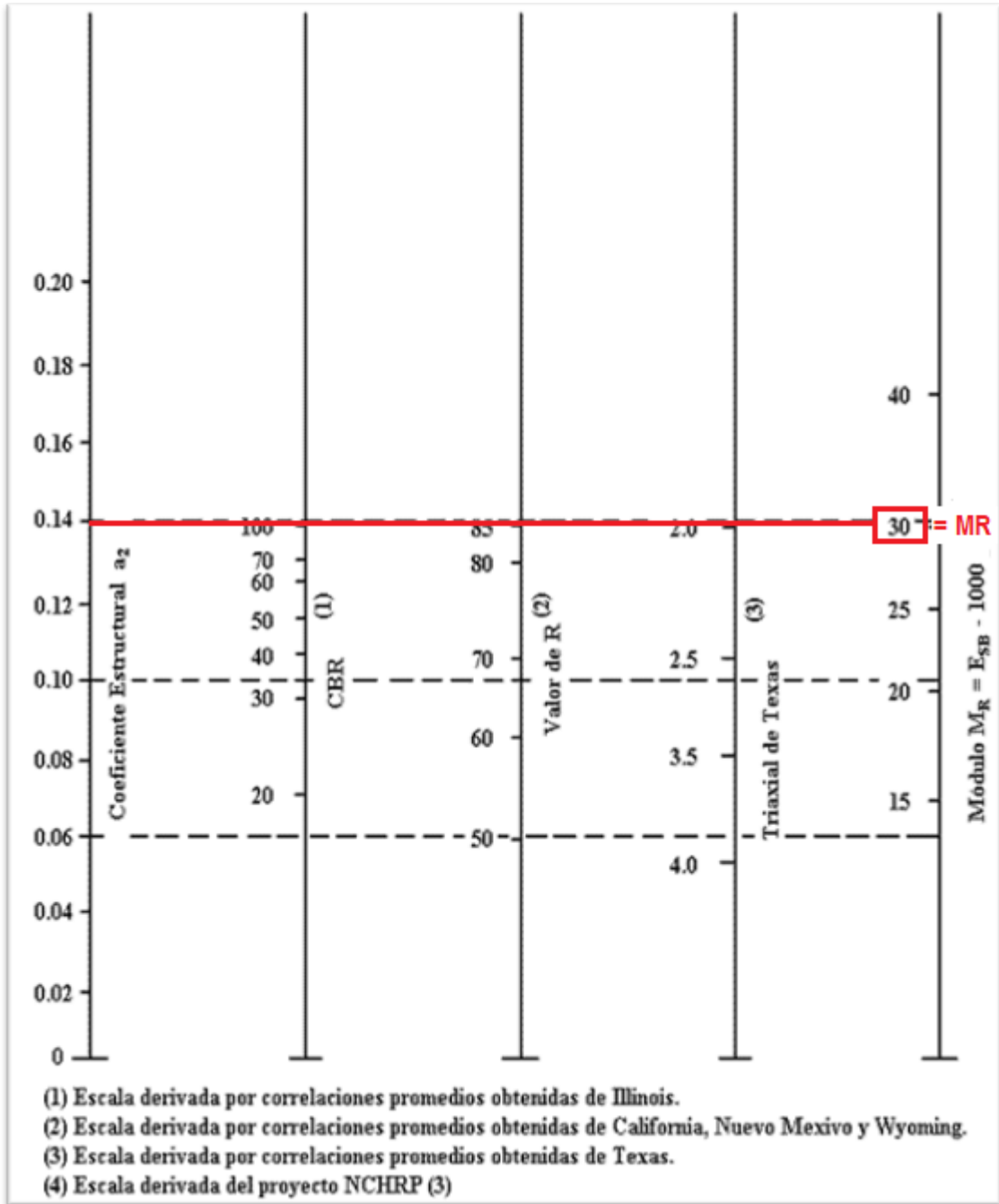


Figura 19. Ábaco para estimar el módulo resiliente de la base granular.  
 Fuente: Aashto (1993), Guía para el diseño de pavimentos flexibles, p. 51

Hallamos el MR según el nomograma:

**$MR = 30 \text{ psi}$**

### 4.1.3 Determinación del coeficiente estructural $a_3$

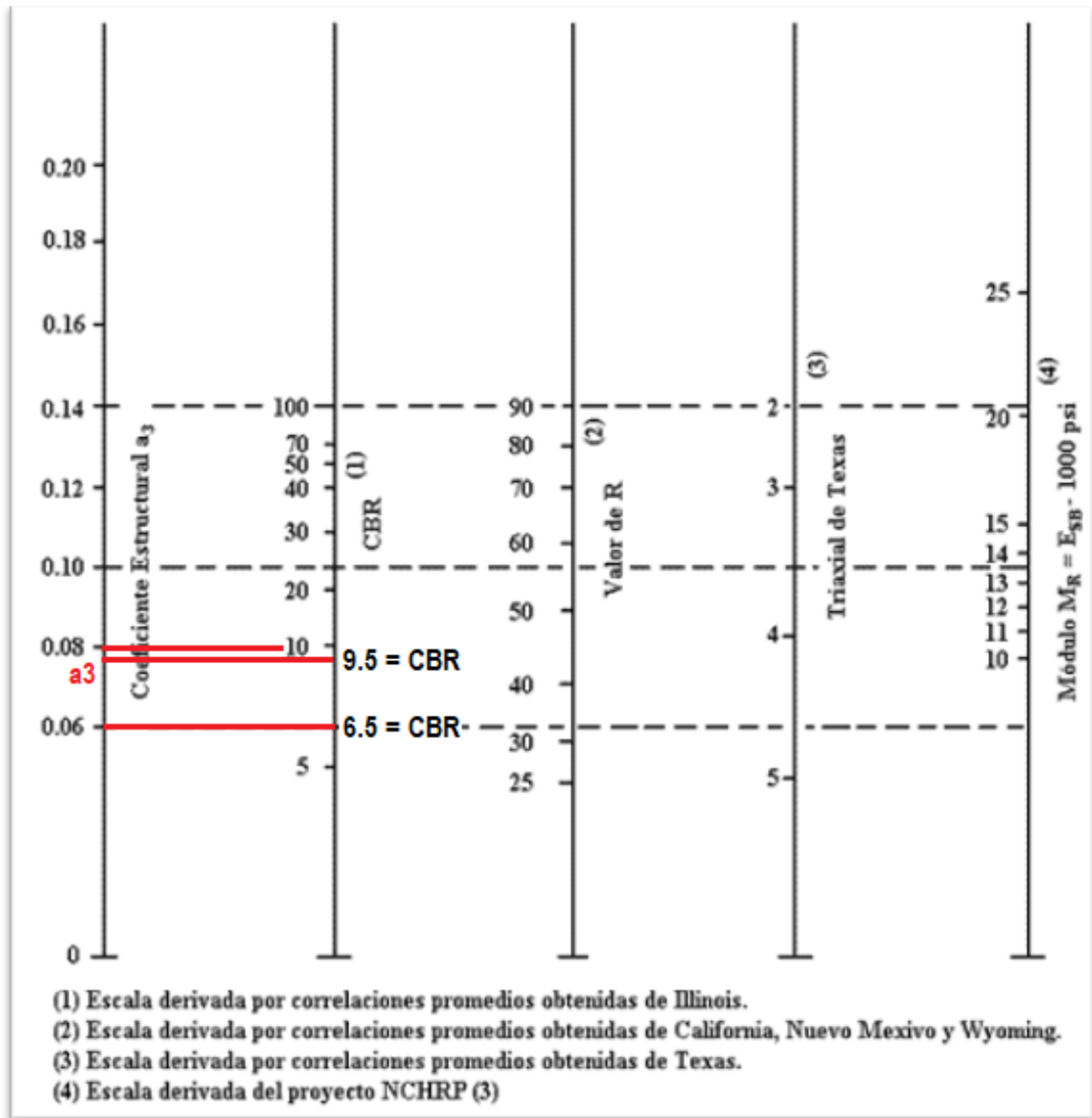


Figura 20. *Ábaco para estimar el número estructural de la sub-base granular "a3".*  
 Fuente: Aashto (1993), Guía para el diseño de pavimentos flexibles, p. 51

Hallamos el  $a_3$ , interpolando:

CBR	Coeficiente estructural
10	0.08
9.5	$a_3$
6.5	0.06

$$\frac{10-6.5}{10-9.5} = \frac{0.08-0.06}{0.08-a_3}$$

$$a_3 = 0.077 \text{ pulg}^{-1}$$

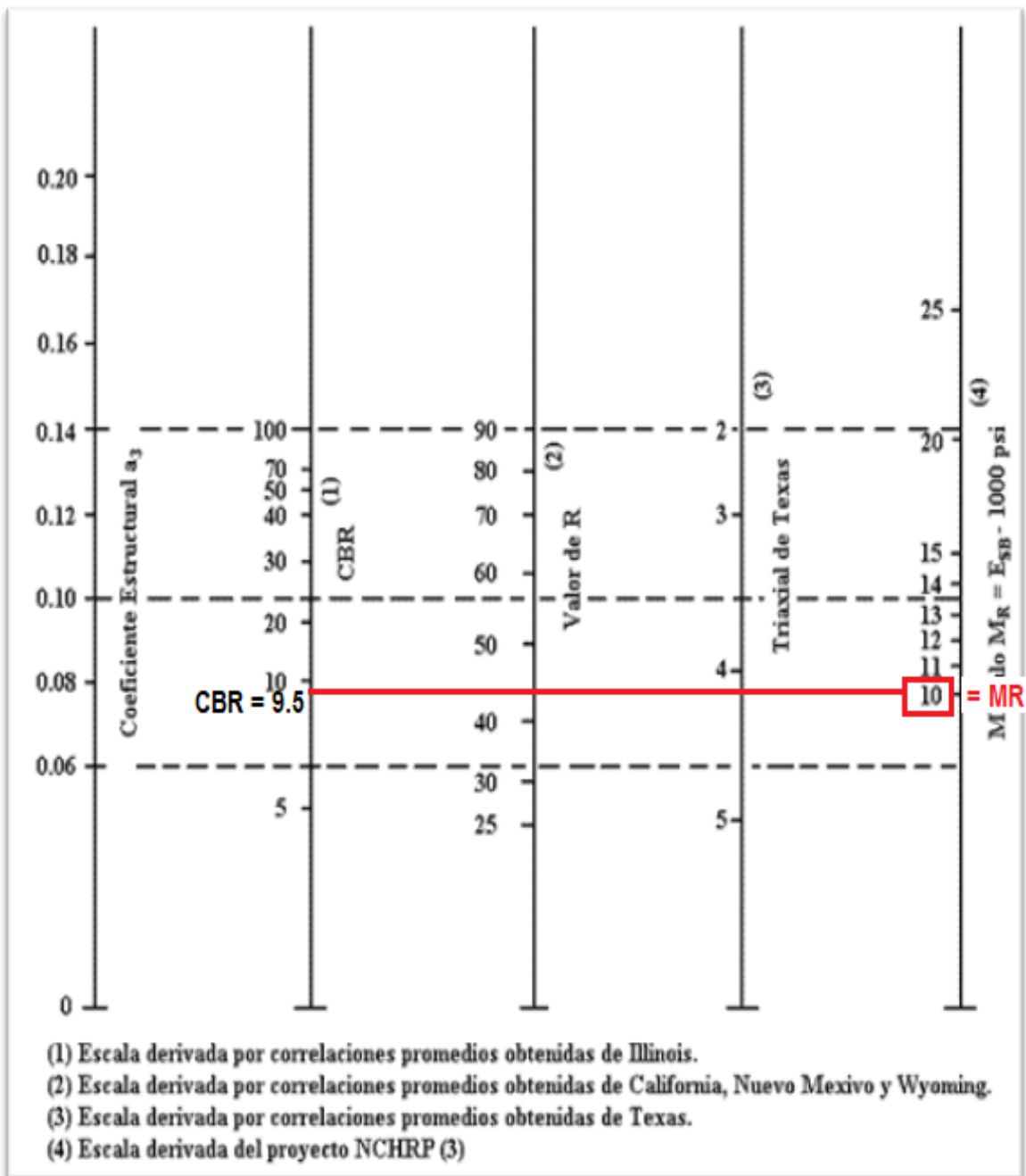


Figura 21. Ábaco para estimar el módulo resilente de la subbase granular.  
 Fuente: Aashto (1993), Guía para el diseño de pavimentos flexibles, p. 51

Hallamos el MR según el nomograma:

**$MR = 10$  psi**

#### 4.1.4 Cálculo del SN<sub>1</sub>, SN<sub>2</sub>, SN<sub>3</sub>

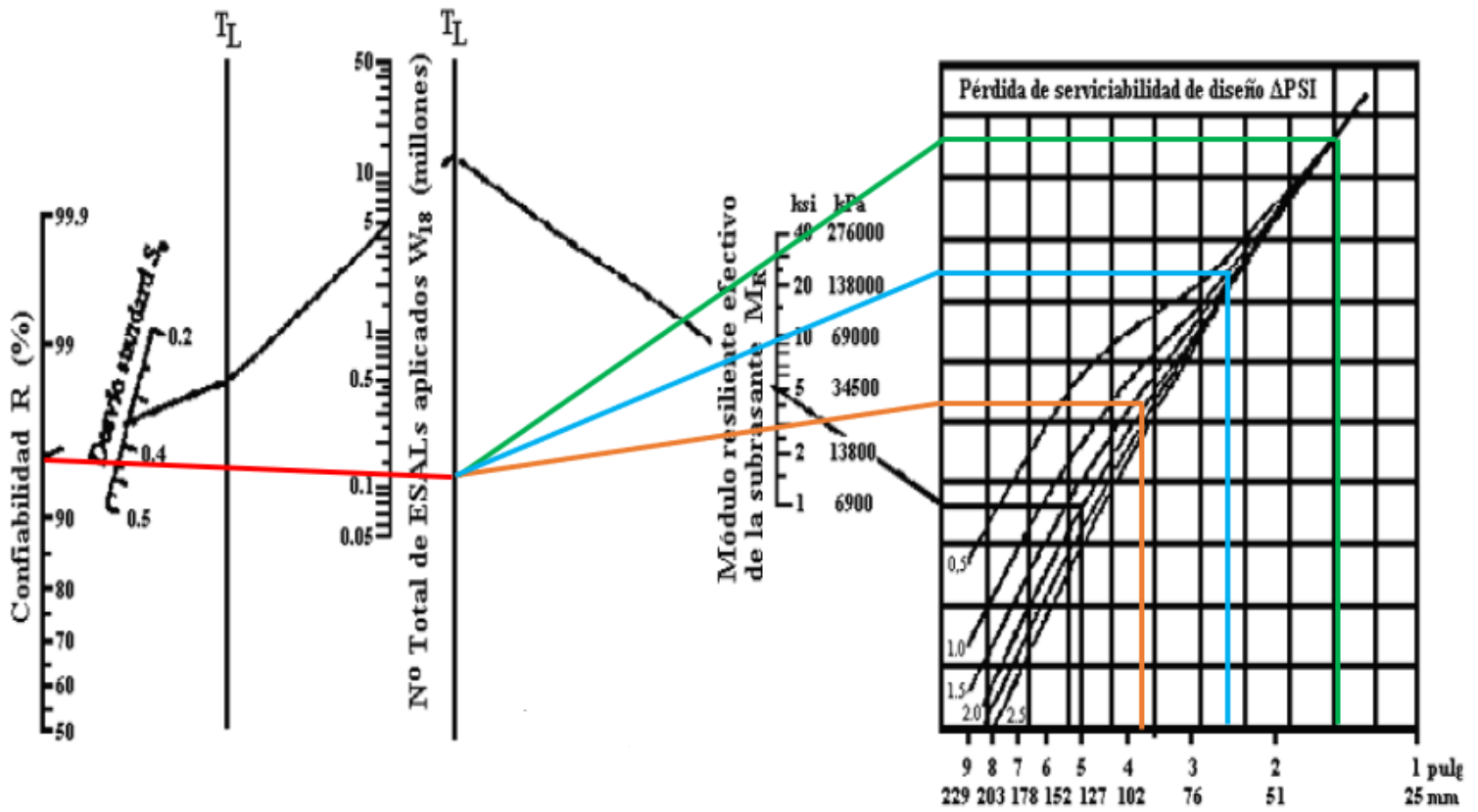


Figura 22. Nomograma de AASHTO para el cálculo del Número Estructural.

Fuente: Aashto (1993), Guía para el diseño de pavimentos flexibles, p. 47

$$W_{18} = 130000$$

$$Z_R = -1.555$$

$$S_o = 0.45$$

$$\Delta PSI = 2$$

$$R = 94\%$$

## 10. CALCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL

Se procede a hallar los SN1, SN2, SN3.

$$\text{Log}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \text{Log}(SN+1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2-1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \text{Log}(M_r) - 8.07$$

Resolviendo tenemos lo siguiente:

Sabiendo que:

Datos generales

$$W_{18} = 130000$$

$$Z_r = -1.555$$

$$S_o = 0.45$$

$$\Delta PSI = 2$$

$$R = 94\%$$

Nos quedan dos incógnitas Mr y el SN por lo que el módulo de resiliencia ya se obtuvo anteriormente entonces tenemos.

- Que si el Mr = 300000 psi ----- tenemos un **SN1 = 1.5**
- Que si el Mr = 100000 psi ----- tenemos un **SN2 = 2.75**
- Que si el Mr = 3000 psi ----- tenemos un **SN3 = 3.9**

Resumen de resultados obtenidos de los ábacos.

MATERIAL	MR	CBR	a	SN	m1
CAPA ASFALTICA	365000		0.4		
BASE	30000	100%	0.14	1.5	1.15
SUBBASE	10000	9.5%	0.077	2.75	1.15
SUBRASANTE	3000	2%		3.9	

## 11. CALCULO DE LOS ESPESORES

- CARPETA ASFALTICA

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1}$$

- CARPETA SFALTICA

$$D_1 = \frac{1.5}{0.4} = 3.75 \text{ pulg}$$

$$\mathbf{D_1 = 4 \text{ pulg}}$$

Corregimos SN<sub>1</sub>:

$$SN_1 = D_1 * a_1$$

$$SN_1 = 4 * 0.4$$

$$SN_1 = 1.6 \text{ ... corregido}$$

- BASE

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1 \text{ corregido}}{a_2 * m_i}$$

$$D_2 = \frac{2.75 - 1.5}{0.14 * 1.15} = \approx 7.76 \text{ pulg}$$

$$\mathbf{D_2 = 8 \text{ pulg}}$$

Corregimos el SN<sub>2</sub>:

$$SN_2 = SN_1 \text{ corregido}$$

$$+ SN_2 \text{ corregido}$$

$$SN_2 = 1.6 + 8 * 0.14 * 1.15$$

$$SN_2 = 2.89 \text{ ... corregido}$$

- SUBBASE

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_1 \text{ corregido} + SN_2 \text{ corregido})}{a_3 * m_i}$$

$$D_3 = \frac{3.9 - (1.6 + 2.28)}{0.077 * 1.15} = 11.52 \approx 12 \text{ pulg}$$

$$\mathbf{D_3 = 12 \text{ pulg}}$$



Corregimos  $SN_3$ :

$$SN_3 = D_3 * a_3 * m_i$$

$$SN_3 = 12 * 0.077 * 1.15$$

$$SN_3 = 1.06 \dots \text{corregido}$$

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3 = 0.4 * 4 + 0.14 * 8 * 1.15 + 0.077 * 12 * 1.15$$

$$SN = 3.95$$

Debe cumplir que la suma de los números estructurales de las capas que constituyen el pavimento debe ser mayor o igual a:

$$SN_1 + SN_2 + SN_3 \geq SN \text{ (subrasante)}$$

$$1.5 + 2.75 + 3.9 \geq 3.95 \dots \text{Si cumple}$$

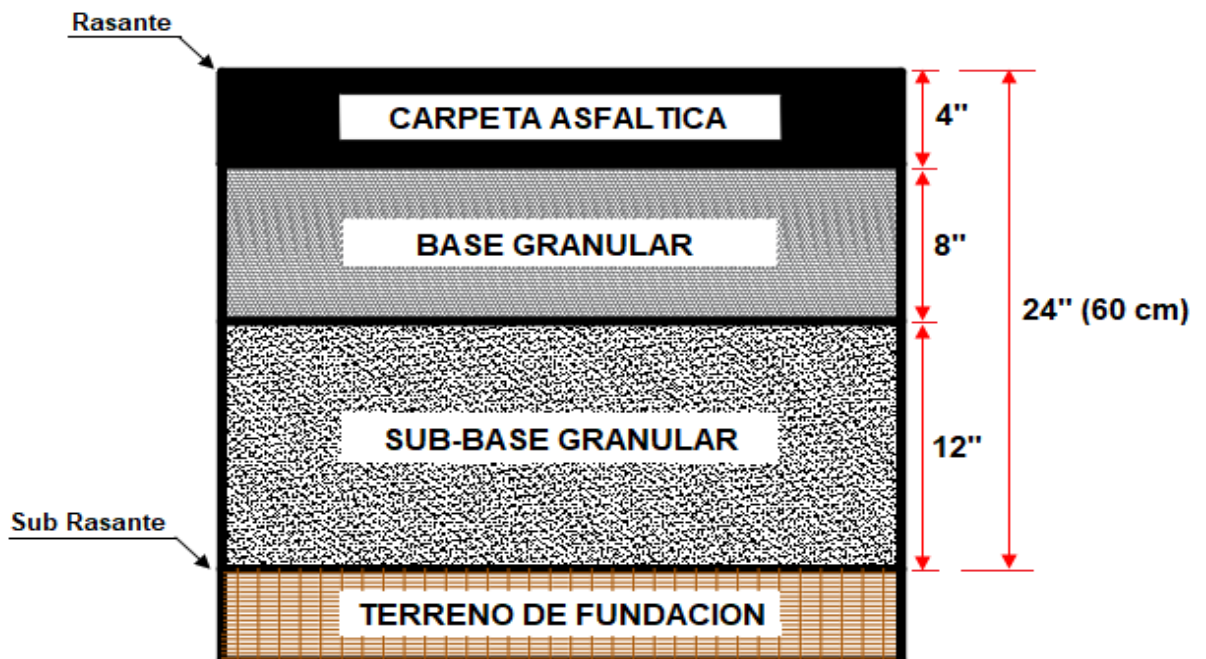
## 12. DISEÑO DEL PAVIMENTO

La estructura del pavimento quedaría de la siguiente manera:

Concreto asfáltico: ( $E_1 = 365.000 \text{ psi}$ ) = 4 pulg

Base Granular (CBR = 100%) = 8 pulg.

Subbase Granular (CBR = 9.5%) = 12 pulg



**Figura 23.** Estructura del pavimento Aashto 1993

Fuente: Elaboración propia

### **Dimensiones de la Estructura del pavimento por el Método AASHTO 1993.**

D<sub>1</sub>: Carpeta asfáltica, el resultado, después de aplicar los nomogramas del método AASHTO 1993, arroja, 3.75 cm, conservadoramente asumimos un valor igual a 5 cm.

D<sub>2</sub>: Capa base granular, el resultado después de la aplicación de los nomogramas, y datos de suelos, tránsito, arrojó un valor igual a: 20 cm.

D<sub>3</sub>: Capa subbase granular, el resultado después de la aplicación de los nomogramas, y datos de suelos, tránsito, arrojó un valor igual a 30 cm.

Considerando un espesor total de pavimento igual a 55 cm.

#### 4.1.6 Representación Física del Método AASHTO – 1993.

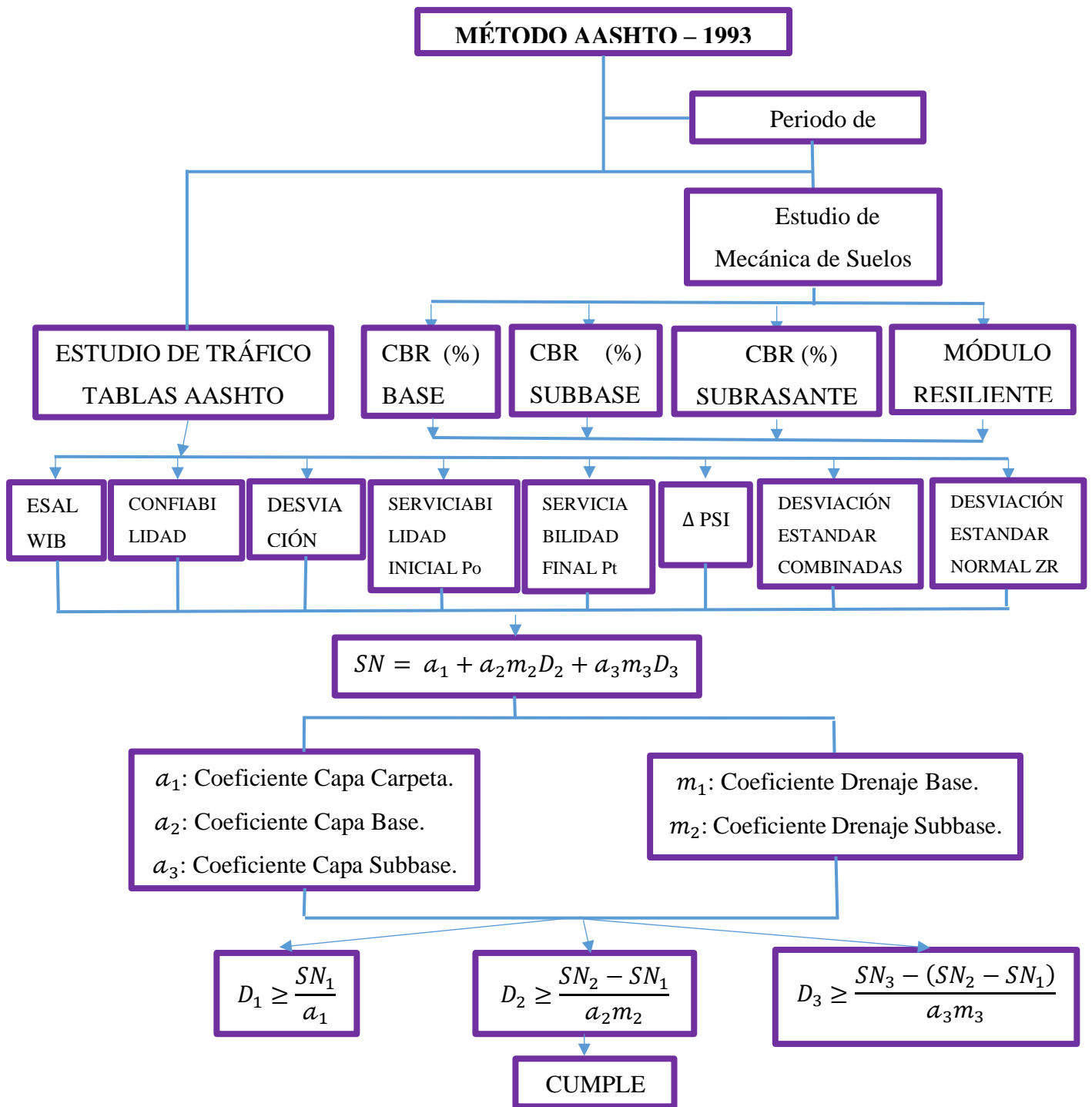


Figura 24. Representación física del método aashto – 1993

Fuente: Aashto (1993). Guía para el diseño de pavimentos flexibles, p. 56

## 4.2 Representación Física del Método M-EPDG-AASHTO – 2008

### 4.2.1 Crear un archivo desde la pantalla inicial

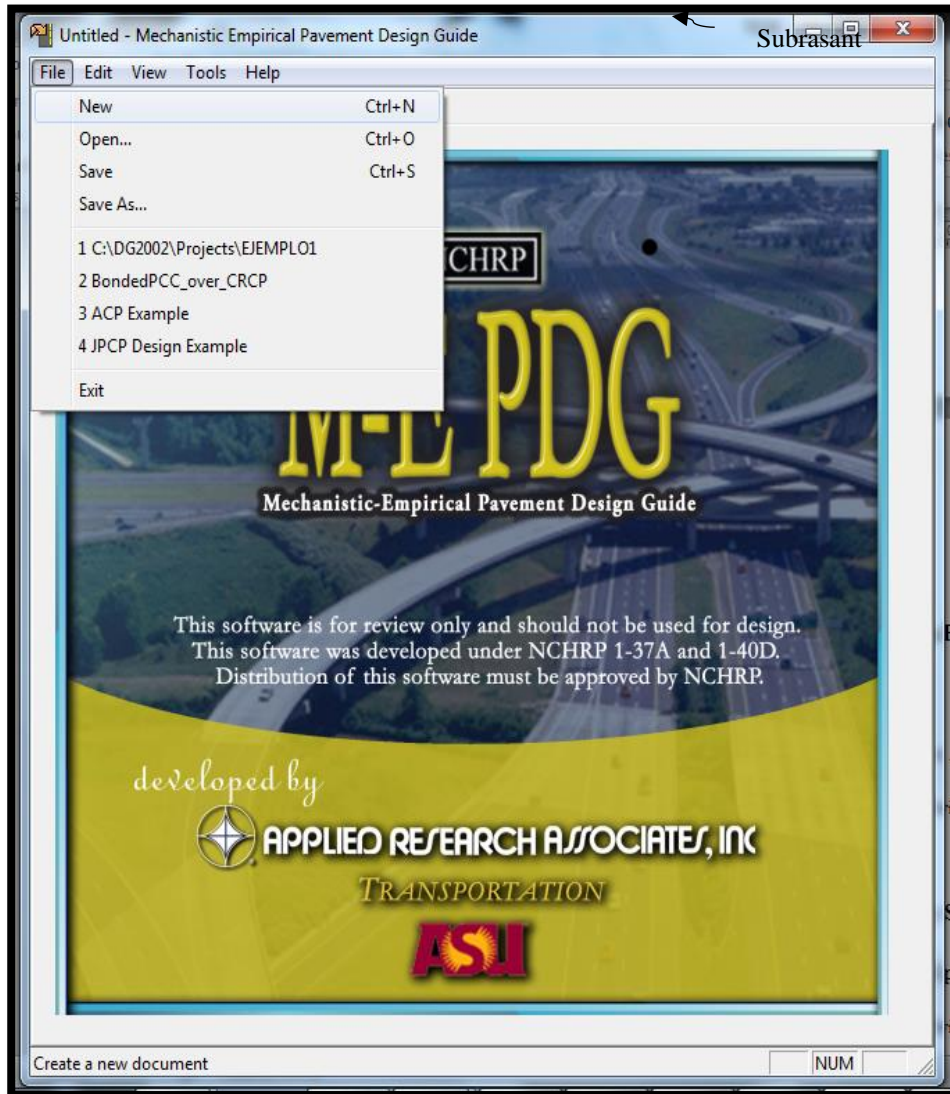


Figura 25. Crear nuevo Archivo.

Fuente: Chang (2011). *Diseño de pavimentos MEPDF* (2008). p.26

## 4.2.2 Ventana Principal para Ingreso de Datos

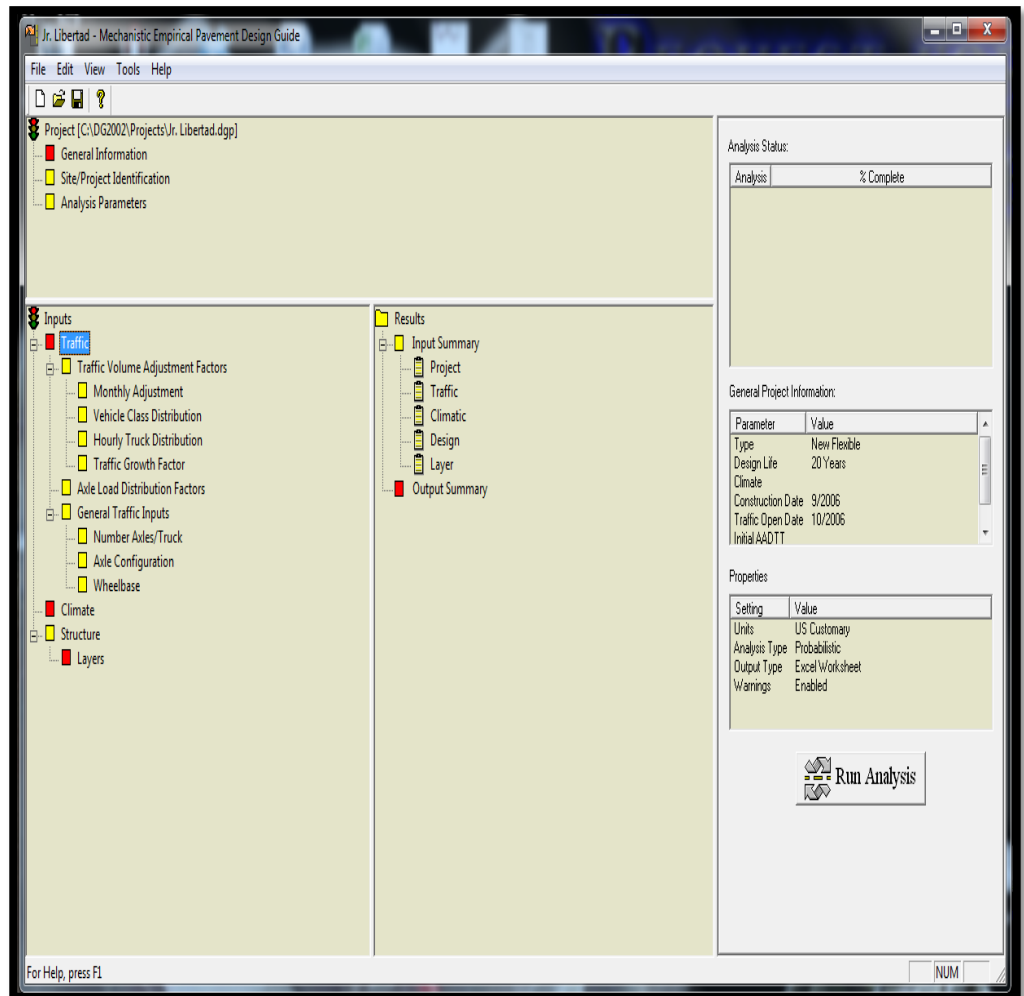


Figura 26. Ventana Principal.

Fuente: Chang (2011). Diseño de pavimentos MEPDF (2008). p.27

### 4.2.3 Ventana Principal para Datos de Tráfico

Design Life (years): 25

Opening Date: March, 2013

Initial two-way AADTT: 1678

Number of lanes in design direction: 2

Percent of trucks in design direction (%): 50.0

Percent of trucks in design lane (%): 90.0

Operational speed (mph): 40

Traffic Volume Adjustment: Edit

Axle load distribution factor: Edit

General Traffic Inputs: Edit

Import/Export

Traffic Growth: Compound, 4%

OK Cancel

Figura 27. Datos de tráfico.

Fuente: Chang (2011). Diseño de pavimentos MEPDF (2008). p.31

### 4.2.4 Factores de ajuste (Ajuste mensual por clase de vehículo)

Monthly Adjustment | Vehicle Class Distribution | Hourly Distribution | Traffic Growth Factors

Load Monthly Adjustment Factors (MAF)

Level 1: Site Specific - MAF

Level 3: Default MAF

Load MAF From File

Export MAF to File

Month	Class 4	Class 5	Class 6	Class 7	Class 8	Class 9	Class 10	Class 11	Class 12	Class 13
January	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
February	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
March	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
April	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
May	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
June	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
July	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
August	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
September	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
October	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
November	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
December	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

OK Cancel

Figura 28. Factores de Ajuste Mensual.

Fuente: "Software de la Guía de Diseño de Pavimento Mecánico-Empírico"

#### 4.2.5 Distribución por hora

Hourly truck traffic distribution by period beginning:			
Midnight	2.3	Noon	5.9
1:00 am	2.3	1:00 pm	5.9
2:00 am	2.3	2:00 pm	5.9
3:00 am	2.3	3:00 pm	5.9
4:00 am	2.3	4:00 pm	4.6
5:00 am	2.3	5:00 pm	4.6
6:00 am	5.0	6:00 pm	4.6
7:00 am	5.0	7:00 pm	4.6
8:00 am	5.0	8:00 pm	3.1
9:00 am	5.0	9:00 pm	3.1
10:00 am	5.9	10:00 pm	3.1
11:00 am	5.9	11:00 pm	3.1

Note: The hourly distribution must total 100%

Total: 100

Figura 29. Distribución Vehicular por Hora.

Fuente: Chang (2011). Diseño de pavimentos MEPDF (2008). p.33

#### 4.2.6 factores de crecimiento de tráfico

Opening Date: March, 2013

Design Life (years): 25

Vehicle-class specific traffic growth

AADTT: 1678

% Traffic Design Direction: 50

% Traffic Design Lane: 90

Default Growth Function

No Growth

Linear Growth

Compound Growth

Default growth rate (%) 4

View Growth Plots

Note: Vehicle-class distribution factors are needed to view the effects of traffic growth.

Figura 30. Factor para el Crecimiento de tráfico.

Fuente: Chang (2011). Diseño de pavimentos MEPDF (2008). p.33

#### 4.2.7 Factores de distribución de cargas por eje

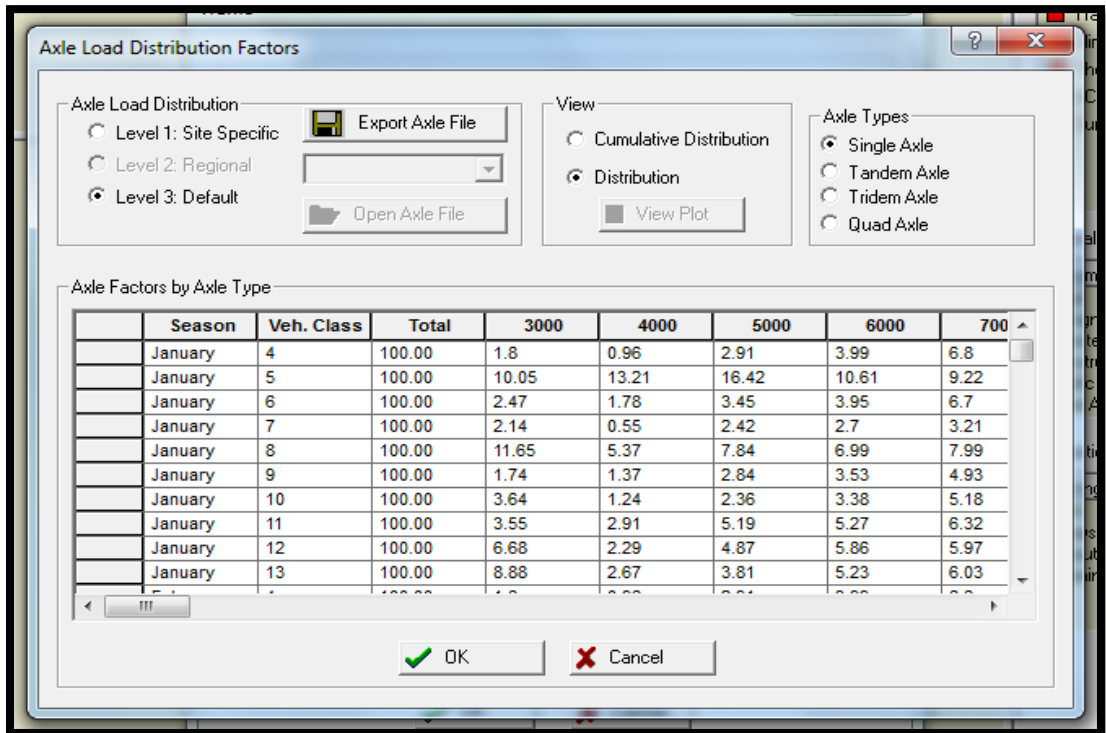


Figura 31. Distribución de Cargas por Eje.

Fuente: Chang (2011). Diseño de pavimentos MEPDF (2008). p.34

#### 4.2.8 Distancia del eje al borde y número de ejes/camión

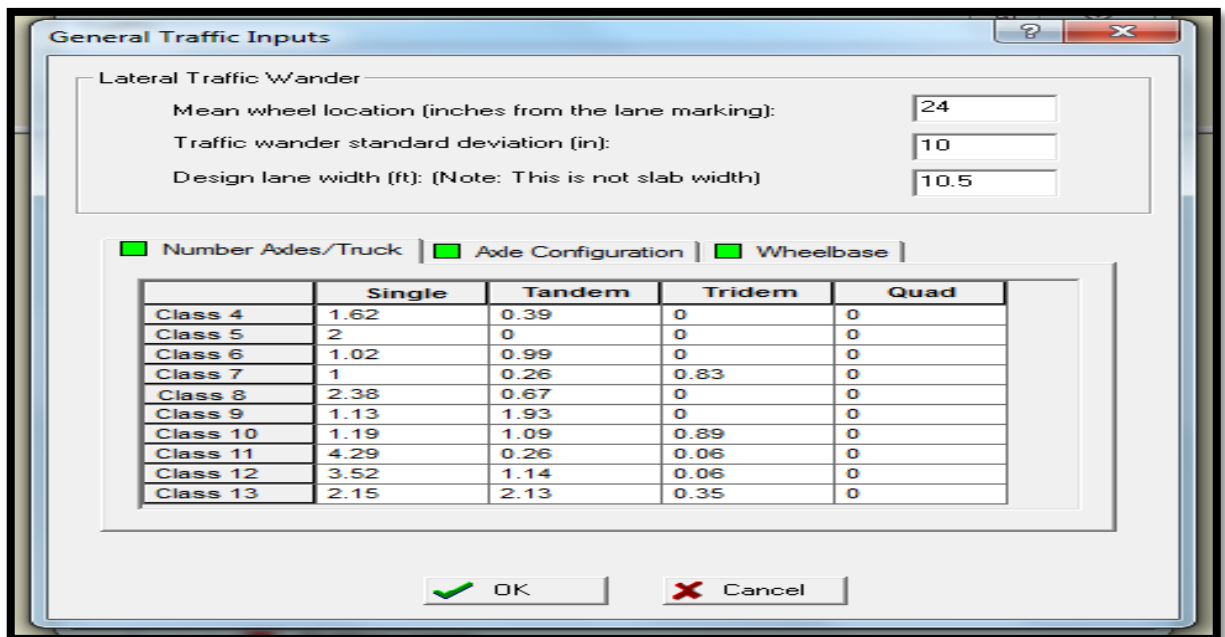


Figura 32. Distancia del Eje al Borde y número de Ejes.

Fuente: Chang (2011). Diseño de pavimentos MEPDF (2008). p.35



## 4.2.9 Configuración de ejes

The screenshot shows the 'General Traffic Inputs' dialog box with the 'Axle Configuration' tab selected. The 'Lateral Traffic Wander' section contains three input fields: 'Mean wheel location (inches from the lane marking):' with value 24, 'Traffic wander standard deviation (in):' with value 10, and 'Design lane width (ft): (Note: This is not slab width)' with value 10.5. The 'Axle Configuration' section has three sub-tabs: 'Number Axles/Truck', 'Axle Configuration', and 'Wheelbase'. Under 'Axle Configuration', there are four input fields: 'Average axle width (edge-to-edge) outside dimensions (ft):' with value 8.5, 'Dual tire spacing (in):' with value 12, 'Tire Pressure (psi):' with value 120, and a sub-section 'Axle Spacing (in)' containing three fields: 'Tandem axle:' with value 51.6, 'Tridem axle:' with value 49.2, and 'Quad axle:' with value 49.2. At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Figura 33. Configuración de Ejes.

Fuente: Chang (2011). *Diseño de pavimentos MEPDF (2008)*, p.35

## 4.2.10 Distancia entre ejes

The screenshot shows the 'General Traffic Inputs' dialog box with the 'Wheelbase' sub-tab selected. The 'Lateral Traffic Wander' section is identical to Figure 33. The 'Wheelbase' section contains a text box explaining: 'Wheelbase distribution information for JPCP top-down cracking. The wheelbase refers to the spacing between the steering and the first device axle of the truck-tractors or heavy single units.' Below this is a table with three columns: 'Short', 'Medium', and 'Long'. The 'Average Axle Spacing (ft)' row has values 12, 15, and 18. The 'Percent of trucks (%)' row has values 33.0, 33.0, and 34.0. At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons.

	Short	Medium	Long
Average Axle Spacing (ft)	12	15	18
Percent of trucks (%)	33.0	33.0	34.0

Figura 34. Distancia entre Ejes.

Fuente: Chang (2011). *Diseño de pavimentos MEPDF (2008)*, p.36

#### 4.2.11 Generar archivo de clima

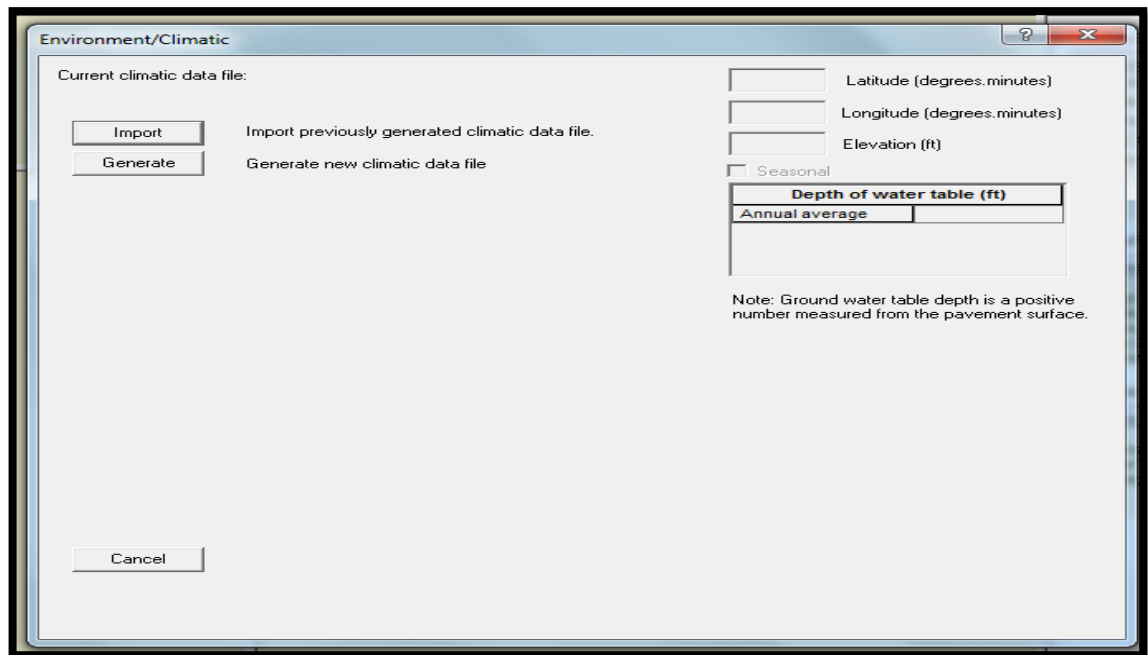


Figura 35. Archivo de Clima.

Fuente: Chang (2011). *Diseño de pavimentos MEPDF (2008)*. p.37

#### 4.2.12 Seleccionar la ciudad o región del proyecto

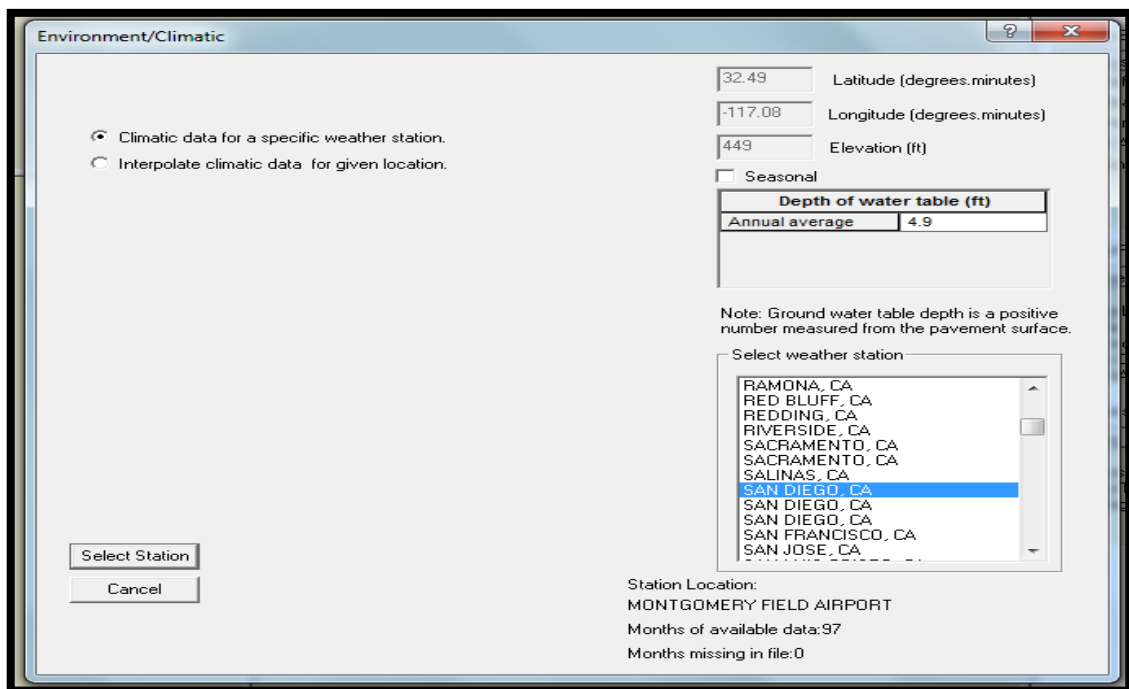


Figura 36. Selección de la Ciudad o Región.

Fuente: Chang (2011). *Diseño de pavimentos MEPDF (2008)*. p.38

#### 4.2.13 Abrir el folder previamente guardado

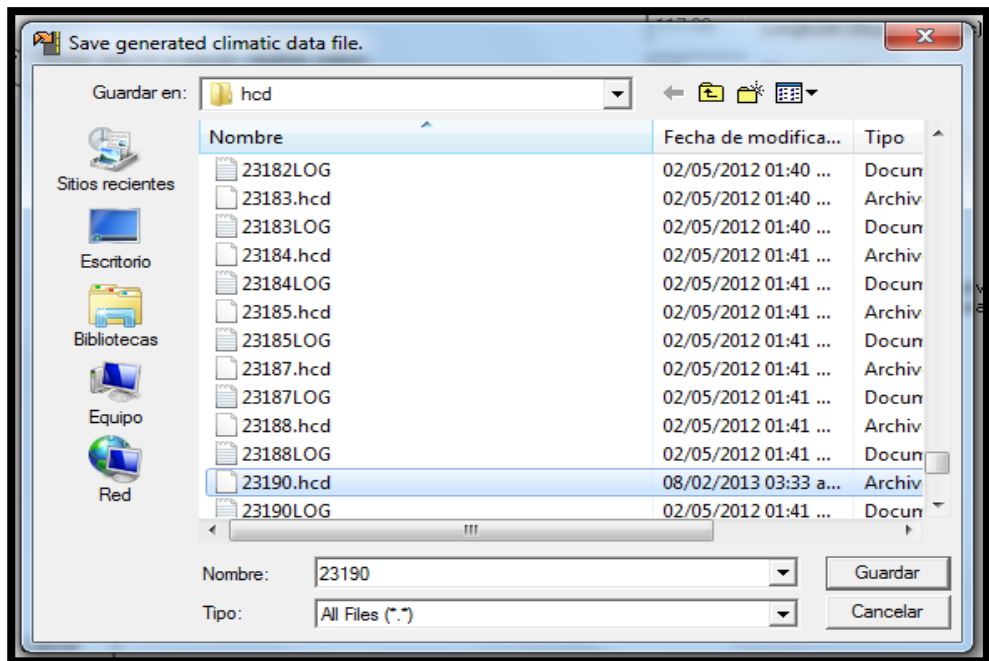


Figura 37. Abrir Archivo Solicitado.

Fuente: Chang (2011). Diseño de pavimentos MEPDF (2008). p.40

Estructura del pavimento

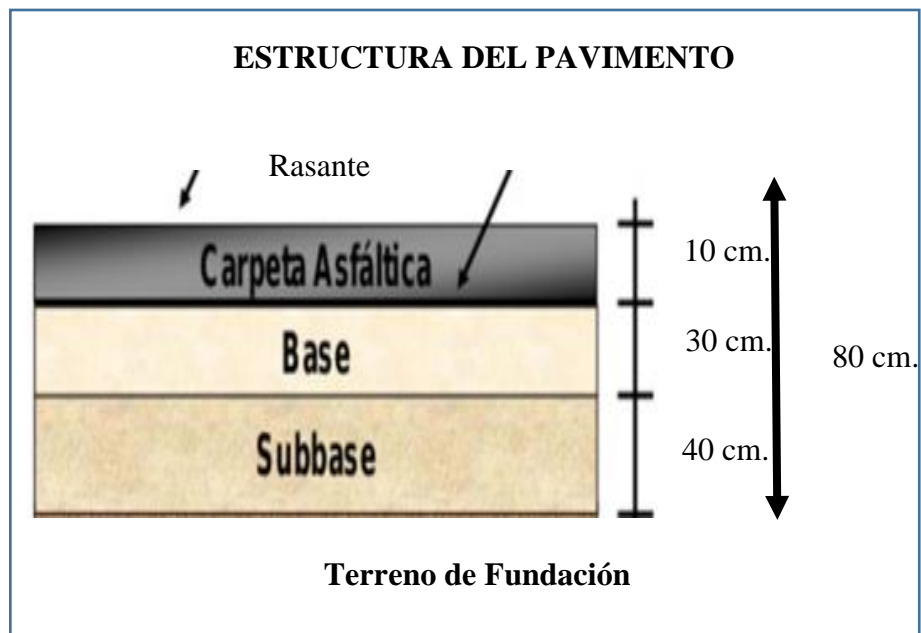


Figura 38. Estructura del pavimento, según mepdg. Aashto 2008

Fuente: Elaboración propia 2020

**4.2.14 Representación Física del método M – EPDG AASHTO 2008.**

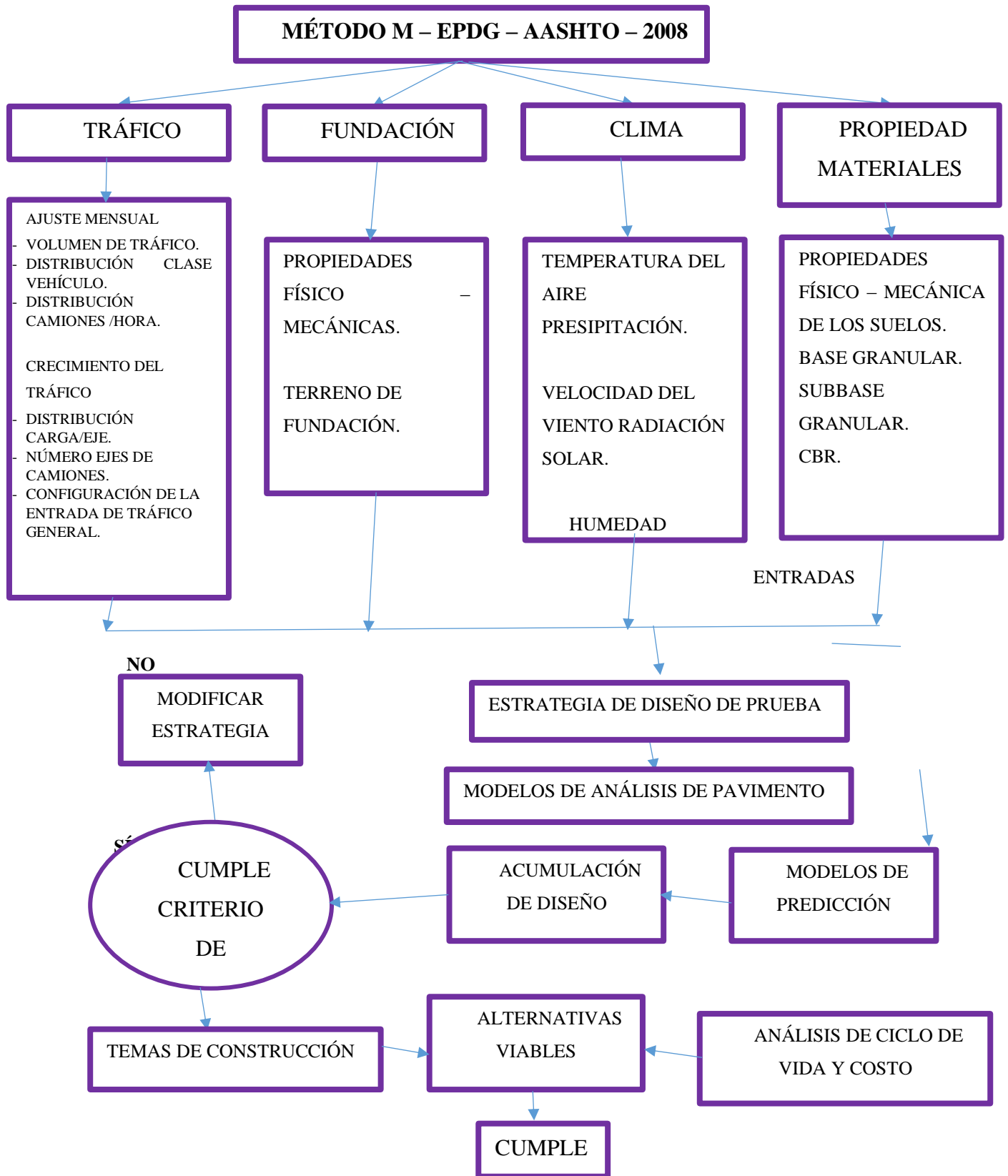


Figura 39. Representación física del método m-epdg Aashto 2002

Fuente: Elaboración propia 2020

### 4.3 Análisis cuantitativo y cualitativo de los métodos AASHTO-1993 y AASHTO 2008

METODO AASHTO 1993	METODO AASHTO 2008
<p>1. Cuantitativo</p> <p>Después de haber realizado el diseño de la estructura del pavimento fue:</p> <p>a) Terreno de fundación, sin mejoramiento</p> <p>b) Subbase granular, se obtuvo un espesor de: 30 cm.</p> <p>c) Base granular, se obtuvo un espesor de: 20 cm.</p> <p>d) Carpeta asfáltica, se obtuvo un espesor de: 10 cm.</p> <p>2. Cualitativo</p> <p>a) La base granular alcanzó el 100% del grado de compactación</p> <p>b) La subbase granular, alcanzó también el 100% del grado de compactación.</p> <p>c) La carpeta asfáltica tuvo como espesor el mismo que recomienda el MTC, como mínimo.</p>	<p>1. Cuantitativo</p> <p>Después de haber realizado el diseño de la estructura del pavimento fue:</p> <p>a) Terreno de fundación, sin mejoramiento.</p> <p>b) Subbase granular, se obtuvo un espesor de: 40 cm,</p> <p>c) Base granular, se obtuvo un espesor de: 30 cm.</p> <p>d) Carpeta asfáltica, se obtuvo un espesor de: 10 cm.</p> <p>2. Cualitativo</p> <p>a) La base granular alcanzó el 100% del grado de compactación</p> <p>b) La subbase granular, alcanzó también el 100% del grado de compactación.</p> <p>c) La carpeta asfáltica tuvo como espesor muy superior al espesor mínimo que recomienda el MTC,</p>

#### **4.4 Conclusión del análisis**

- Referente al terreno de fundación en ninguno de los casos se llegó a hacer mejoramiento del terreno de fundación.
- Respecto a la subbase granular los resultados nos mostraron que el método AASHTO 2008, arroja mejores resultados, en un 33%, más que el AASHTO 1993, en el aspecto cuantitativo.
- En cuanto a la base granular, los resultados obtenidos por el método AASHTO 2008, son más satisfactorios, por cuanto estos alcanzan el 50 %, más que el AASHTO 1993, en el aspecto cuantitativo.
- En lo concerniente a la carpeta asfáltica (material bituminoso), los resultados, sin son bastantes satisfactorios, puesto que cuantitativamente, estos se mejoran en un 100 %, respecto a los obtenidos mediante el método AASHTO 1993.
- Finalmente, por ser el método AASHTO 2008, más cercano a la actualidad, donde se toman los datos con más precisión, incluyendo el factor temperatura, es el más recomendable, para las diferentes dependencias públicas y privadas, dedicadas al mejoramiento de la infraestructura vial en el Perú.

**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS**

## 5.1. Conclusiones

- Se realizaron calicatas en la Av. Pacífico, los ensayos de laboratorio, tales como: análisis granulométrico mediante SUCS y AASHTO, se encontró que el terreno natural era un SP y A-2-4<sub>(0)</sub>, también se determinó que la máxima densidad seca igual a 1.703g/cm<sup>3</sup>. El CBR con el 100 % de la máxima densidad seca alcanzó el 31.80 % y el contenido óptimo de humedad fue del 0.62 %.

- Con las características determinadas en la conclusión anterior se llegó a determinar la estructuración del pavimento en sus distintas capas, bajo la metodología del AASHTO 1993, se concluyó:

Espesor de la carpeta asfáltica	4 “	10 cm.
Espesor de base granular	8”	20 cm.
Espesor subbase granular	12”	30 cm.
Espesor Total	24”	60 cm.

- El resultado con la aplicación del método de AASHTO MEPDG 2008, y el uso del software que permite acelerar los cálculos optimizándolos de manera que se pueda hacer cambios sistemáticos, ya sea con la variabilidad de la temperatura o con la variabilidad del tránsito, que también es relevante, se presenta la estructuración del pavimento:

Espesor de Carpeta Asfáltica	4”	10cm.
Espesor de Base Granular	12”	30 cm.
Espesor de Subbase	16”	40cm.
Espesor total	32”	80cm. OK

- Habiendo analizado los dos métodos en estudio se llegó a la conclusión final, que el Método AASHTO MEPDG 2008, es mejor que el método AASHTO 1993, cuantificado en un 30.33 %, considerando asimismo las especificaciones técnicas adecuadas de los materiales de construcción y teniendo como demostración los resultados obtenidos, donde las sobre capas de la estructura del pavimento flexible, tienen más robustez, ello da garantía de su duración, lo cual constituye un aporte a la infraestructura vial, considerando así como un aporte al diseño de pavimentos flexibles, anotamos que efectivamente por ser uno de los métodos, más modernos, está acorde con los últimos avances de la ciencia y la tecnología del mundo actual.



## **5.2. Sugerencias**

- Se sugiere al gobierno regional, demás entidades públicas y privadas, realizar las gestiones ante el ministerio del ambiente gestionar la ubicación de mayor cantidad de estaciones meteorológicas, a fin de tener los datos pertinentes que permitan realizar los diseños de pavimentos flexibles, por el método AASHTO MEPDG 2008, por ser éstos los más satisfactorios y aplicables hoy en pleno siglo XXI.
- Se sugiere tanto a las entidades públicas: gobiernos regionales, gobiernos locales Municipalidades, provinciales, Distritales, entidades privadas, dedicadas al mejoramiento de la infraestructura vial, considerar el diseño de pavimentos flexibles por el método AASHTO MEPDG 2008, por proporcionar resultados cercanos a la realidad y acordes con el desarrollo de la época.

## Referencias bibliográficas

Aashto (1993). American Association Of State High way Transportation Officials. Guía para el diseño de Pavimentos. USA Washington, D.C.

Aashto (2008). American Association Of State High way Transportation Officials Guía de diseño de pavimento Mecanístico-empírico-aashto 2008.USA D.C.7

Arristizabal (2014). Diseño de un pavimento flexible por los métodos AASHTO y Racional

Benítez (2001). Evaluación del diseño estructural de pavimentos en calles urbanas. Lima. Perú.

Bihele. F. (1990). Psicología aplicada a la enseñanza Editorial Limusa, S.A. C.V. México.

Brown. H. I. (1984). La nueva Filosofía de la ciencia. Madrid: Tecnos.

Chang (2011). Diseño de Pavimentos MEPDG.

Chevalier. J. (1967). Historia del pensamiento. I. El pensamiento antiguo. Madrid: Aguilar. España.

Convenio Interadministrativo (2006). Manual para la investigación visual de pavimentos Flexibles. Colombia.

Galván (2015). Criterios de análisis y diseño de una mezcla asfáltica en frío con pavimento reciclado y emulsión asfáltica. Lima Perú.

Gadil (2005), Instalaciones de campo y consideraciones del diseño de mallas de refuerzo de acero para reducir la reflexión en grietas.

Gómez (2013), Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. 1º Edición. Instituto de la Construcción y Gerencia. Lima. Perú.

González. W. J. (1998). Aspectos metodológicos de la investigación científica. Un enfoque multidisciplinar. Universidad de Murcia. Secretariado de Publicaciones. Murcia. España.

González. (2018). Metodología de reparación para pavimentos flexibles de mediano y bajo tránsito. Santiago de Chile. Chile.

Mena W. (2013). Implementación del modelo climático de la MEPDG 2008 en Colombia para tres condiciones climáticas

Minaya S. (2006). Diseño moderno de pavimentos asfálticos. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Civil.

Miranda R. (2010). Deterioro en pavimentos Flexibles y rígidos. Universidad austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Construcción Civil.

Monserrat. J. (1984). Epistemología Educativa y teoría de la ciencia. Madrid: U.P.C.M.

MOP. (2001). Planos de obras tipos Manual de carreteras, Volumen 5, Dirección General de Obras Públicas, Dirección de Viabilidad, Chile.

MOP. (2001). Planos de obras tipos Manual de carreteras, Volumen 7, Dirección General de Obras Públicas, Dirección de Viabilidad, Chile.

MINVU (1994). Código de Normas y especificaciones Técnicas en Obras de Pavimentación, Santiago de Chile, División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional.

Olivera (2000)

Patiño A. (1998). Índice Internacional de Rugosidad en la carretera de México.

Patiño (2012). Consideraciones generales sobre diseño de pavimentos asfálticos

Rodríguez (2013). Evaluación del estado físico de la carretera de concreto hidráulico, Empalme Puerto Sandino-Puente La Gloria, del Municipio de Nagarote, Departamento de León. México.

Saldaña, D. (2013). Estudio comparativo de la sensibilidad de la metodología de diseño estructural de pavimentos flexibles: AASHTO 93 Y MEPDG v.1 (tesis maestría). Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, Chile.

Sprinthal P. (1996). El aprendizaje puede ser adaptativo, consciente o inconsciente, libre o dirigido, abierto o encubierto. Psicología de la Educación. Mc. Graw Hill. España.

Yarango E. (2014). Rehabilitación de la carretera de acceso a la sociedad minera cerro verde (S.M.C.V) DESDE LA PROGRESIVA Km 0+000 hasta el Km. 1+900 en el distrito de Uchumayo, Arequipa, Arequipa. Empleando el sistema BITUFOR para reducir la reflexión de grietas y prolongación d la vida útil del pavimento. Universidad Ricardo Palma. Lima. Perú.

Vanel (2001). Estructuras de Pavimento flexible que usan malla de acero como refuerzo en las base.

Vanel (2001). Pruebas de adherencia en muestras bituminosas con mallas de refuerzo de acero

Zúñiga R. (2015). Mezcla en caliente, Pavimentos, Flexibles, las diferentes capas pueden ser granulares y asfálticas.

## **VI. ANEXOS**

## 6.1. Ensayo de la relación de soporte de california (CBR)

### 6.1.1 Objetivo

- Evaluar la calidad relativa del suelo para sub-rasante.

### 6.1.2 Aparatos y equipos:

Equipo de CBR que consta de:

- Molde de compactación de 15.2 cm (6") de diámetro interior x 17.8 cm (7") de altura.
- Anillo suplementario de 2" de diámetro interior y 2" de altura.
- Placa de base perforada de espesor de 3/8".



Figura 40. *Equipos para cálculos del CBR moldes.*

Fuente: *Laboratorio Mecánica de suelos Universidad Nacional del Santa.*



Figura 41. *Equipo CBR Martillo de compactación.*

Fuente: *Laboratorio Mecánica de suelos Universidad Nacional del Santa.*



Figura 42. *Equipo CBR Disco Espaciador de metal de forma circular.*

Fuente: *Laboratorio Mecánica de suelos Universidad Nacional del Santa.*

- Disco espaciador de metal de forma circular: para insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.
- Diámetro exterior : 150.8 mm (5 15/16")
- Espesor : 61.37 mm  $\pm$ 0.127 mm (2.416  $\pm$ 0.005")



Figura 43. *Equipo CBR Deformímetro.*

Fuente: *Laboratorio Mecánica de suelos Universidad Nacional del Santa*

- Aparato para medir la expansión con Deformímetro de carátula con precisión de 0.01 mm.
- Pesas: Simulan el peso que soporta el terreno.



Figura 44. *Equipo CBR Placa de metal perforado.*

Fuente: *Laboratorio Mecánica de suelos Universidad Nacional del Santa*

- Placa metal perforado: provista de un vástago.



Figura 45. *Equipo CBR Pistón compactación de energía modificada.*

Fuente: *Laboratorio Mecánica de suelos Universidad Nacional del Santa*

- Placa metal perforado: provista de un vástago.
- Pistón: Usado en compactación de energía modificada.
- Un trípode: cuyas patas pueden apoyarse en el borde del molde. Encima del cual se coloca el dial para medir la expansión.



Figura 46. *Equipo CBR Prensa de lectura electrónica.*  
Fuente: *Laboratorio Mecánica de suelos Universidad Nacional del Santa*

- Prensa de lectura electrónica similar a las usadas en compactación, con lectura en kg. usada para realizar la penetración del pistón en la muestra compactada.



Figura 47. *Equipo CBR Dial.*  
Fuente: *Laboratorio Mecánica de suelos Universidad Nacional del Santa*

- Dial: Colocada en una ranura situada al lado derecho del pistón, y el cual tiene como función medir la penetración del pistón a la muestra. Se toman medidas a 0.1'' y a 0.2''. Precisión: 0.025''

### 6.1.3 Cálculos:

Se calcula la máxima densidad seca y el óptimo contenido de húmeda del Proctor en la forma indica en el ensayo correspondiente.

- Para cada uno de los tres moldes, se calcula su densidad humeada y su densidad seca, de manera análoga al explicado en el Proctor, considerando que en el volumen del molde se debe considerar el volumen neto.
- La densidad seca del molde de 56 golpes debe ser igual a la de la Máxima densidad seca del Proctor modificado.
- De haber una pequeña variación, se escoge el valor Recuperado del Proctor.
- En caso de mucha diferencia, se debe realizar otra vez el ensayo.
- Lo mismo si el contenido de humedad de alguna de las muestras se diferencia en más del 0.5% del óptimo contenido de humedad.

## 6.2 Resultados del CBR

### Ensayos previos: Granulometría del terreno natural

Tabla 10  
Análisis granulométrico

Mallas	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% pasa
		Peso inicial seco (g)	459.70
		Peso lavado y seco (g)	446.20
3"	76.000		
2"	50.800		
1 1/2"	38.100		
1"	25.400		
3/4"	19.050	0.00	100.00
1/2"	12.500	7.90	98.28
3/8"	9.525	1.60	97.93
Nº 4	4.760	5.70	96.69
Nº 10	2.00	8.80	94.78
Nº 20	0.840	13.90	91.76
Nº 40	0.420	25.70	86.16
Nº 60	0.250	53.60	74.51
Nº 100	0.150	293.90	10.57
Nº 200	0.074	35.10	2.94
< 200		13.50	

Fuente: *Elaboración propia (2019)*

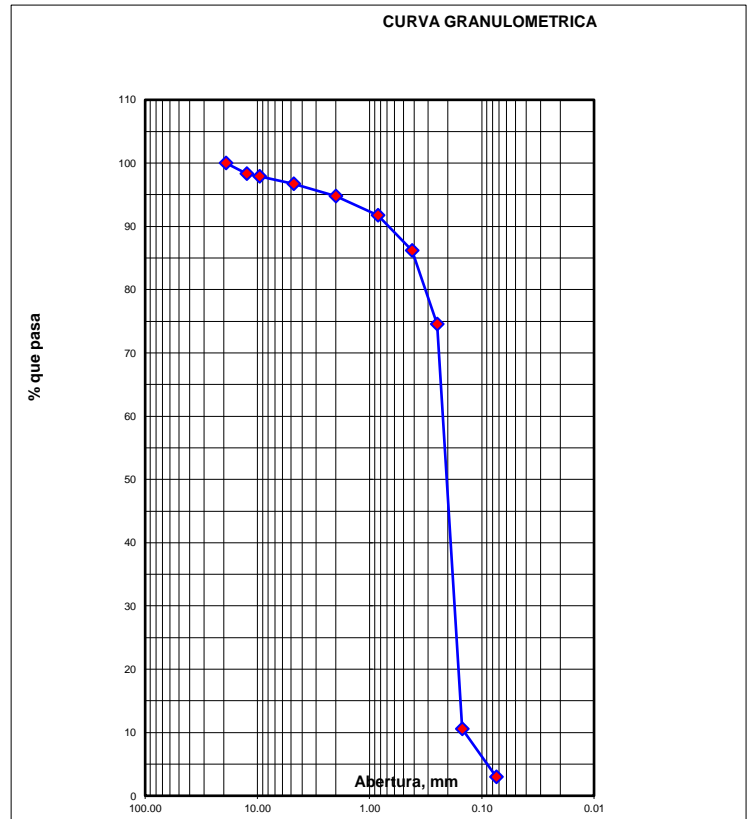


Figura 48. Curva granulométrica.  
Fuente: *Elaboración propia*



### 6.3. Proctor modificado para el terreno natural

Tabla 11

*Ensayo del Proctor modificado*

Molde N°	1		2		3	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		10	
Condición de la muestra	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado
Peso de molde + suelo húmedo (g)	12435.00	12560.00	12415.00	12600.00	11755.00	11970.00
Peso de molde (g)	8110.00	8110.00	8183.00	8183.00	7631.00	7631.00
Peso de suelo húmedo (g)	4325.00	4450.00	4232.00	4417.00	4124.00	4339.90
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2128.00	2128.00	2128.00	2128.00	21.44	2144.00
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	20.032	2.091	1.989	2.076	1.924	2.024
Tara N°	75		79		72	
Peso suelo húmedo + tara (g)	88.50	4450.00	82.70	4417.00	80.60	4339.00
Peso de suelo seco + tara (g)	81.90	3900.54	76.70	3816.42	74.80	3718.59
Peso de tara (g)	21.25	0.00	21.60	0.00	21.60	0.00
Peso de agua (g)	6.60	549.46	6.00	600.58	5.80	620.41
Peso de suelo seco	60.65	3954.54	55.10	3816.42	53.20	3718.59
Contenido de humedad (%)	10.88	14.09	10.89	17.54	10.90	16.68
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.833	1.833	1.793	1.793	1.734	1.734

Fuente: Chang (2011). *Diseño de pavimentos MEPDG (2008)*. p.32

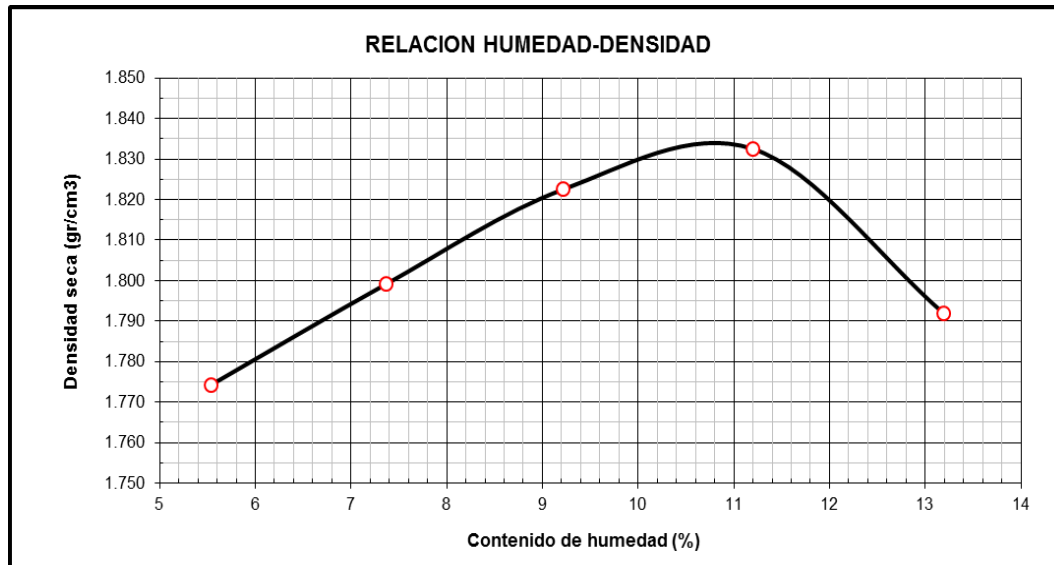


Figura 49 *Relación Humedad-Densidad.*

Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 12

*Densidad máxima-húmeda optima*

Peso suelo + molde	g	8185.00	8310.00	8435.00	8535.00	8515.00
Peso molde	g	4215.00	4215.00	4215.00	4215.00	4215.00
Peso suelo húmedo compactado	g	397.00	4095.00	4220.00	4320.00	4300.00
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	2120.00	2120.00	2120.00	2120.00	2120.00
Peso volumétrico húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.87	1.93	1.99	2.04	2.03
Recipiente N°		72	79	75	74	14
Peso del suelo húmedo +tara	g	103.50	104.60	113.850	114.25	150.80
Peso del suelo seco +tara	g	99.20	98.90	106.00	104.90	137.30
Tara		21.60	21.50	21.40	21.40	35.00
Peso de agua	g	4.30	5.70	7.80	9.35	13.50
Peso del suelo Seco	g	77.60	77.40	84.60	83.50	102.30
Contenido de agua	%	5.54	7.36	9.22	11.20	13.20
Peso volumétrico seco	g/cm <sup>3</sup>	1.774	1.799	1.823	1.833	1.792
<b>Densidad máxima (g/cm<sup>3</sup>)</b>						<b>1.834</b>
<b>Humedad óptima (%)</b>						<b>10.88</b>

Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 13

*Expansión*

Expansión											
Fecha	hora	Tiempo	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión	
				mm	%		mm	%		mm	%
21.03.12	16.00	00 h	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00
22.03.12	16.00	24 h	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00
24.03.12	16.00	48 h	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00
25.03.12	16.00	72 h	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00

Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 14  
Penetración

Penetración Pulgadas	Carga Estand Lb/pul²	Molde 1			Molde 2			Molde 3		
		Carga	Corrección		Carga	Corrección		Carga	Corrección	
			lb	lb		%	lb		lb	%
0.000		0			0			0		
0.025		214			155			112		
0.050		458			282			139		
0.075		861			478			196		
0.100	1000	1288	1255	41.6	718	717	23.8	270	283	9.4
0.125		1659			947			354		
0.150		2012			1175			463		
0.175		2309			1386			573		
0.200	1500	2535	2547	56.3	1564	1550	34.2	682	667	14.7
0.225		2678			1662			770		
0.250		2770			1723			838		
0.275		2827			1743			892		
0.300										

Fuente: *Elaboración propia*

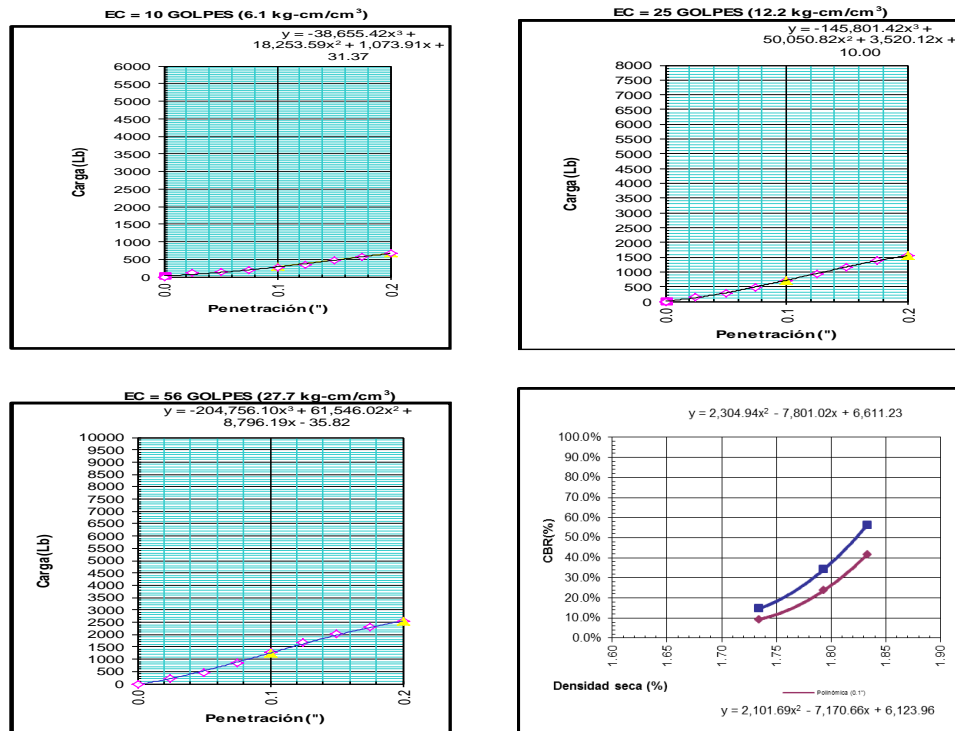


Figura 50. Penetración.  
Fuente: *Elaboración propia*

#### 6.4. Análisis granulométrico

Tabla 15

Análisis Granulométrico Peso total (gr) = 638.75 gr

MALLAS	ABERTURA	PESO RETENIDO	% RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	% PASA
3/8"	9.52	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 4	4.75	0.75	0.12	0.12	99.88
Nº 8	2.36	5.15	0.81	0.92	99.08
Nº 16	1.18	10.90	1.71	2.63	97.37
Nº 30	0.60	23.20	3.63	6.26	93.74
Nº 50	0.30	74.70	11.69	17.96	82.04
Nº 100	0.15	432.10	67.65	85.60	14.40
Nº 200	0.07	74.95	11.73	97.34	2.66
Cazoleta		17.00	2.66	100.00	0.00
		638.75	<b>100.00</b>		

Fuente: *Elaboración propia (2019)*

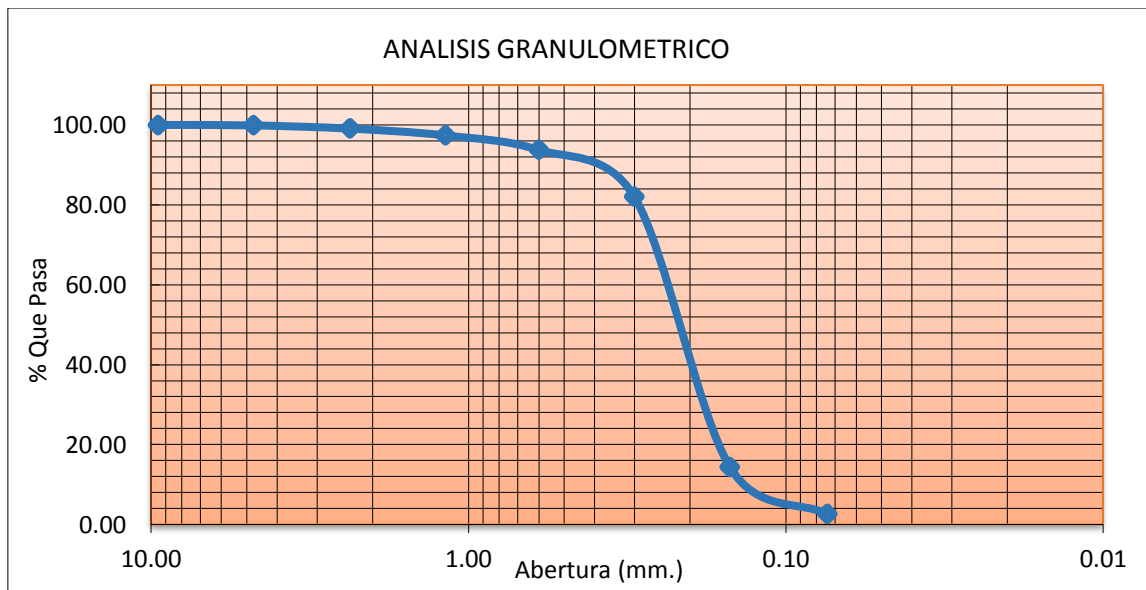


Figura 51 *Curva granulométrica.*

Fuente: *Elaboración propia (2019)*

Tabla 16  
*Clasificación del Suelo*

DATOS	
Grava (No.4 < Diam < 3")	<b>0.12%</b>
Arena (No.200 < Diam < No.4)	<b>97.22%</b>
Finos (Diam < No.200)	<b>2.66%</b>
Límite Líquido	<b>---</b>
Límite Plástico	<b>N.P.</b>
Índice Plasticidad	<b>N.P.</b>

Fuente: *Elaboración propia*

*La clasificación del suelo es:*

- *Clasificación SUCS:*            *SP*
- *clasificación AASHTO:*       *A-2-4 (0)*

Tabla 17  
*Proctor modificado*

PUNTO No.	I	II	III	IV	V
MOLDE No.	4"	4"	4"	4"	4"
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2120.00	2120.00	2120.00	2120.00	2120.00
Peso del molde (gr)	4215.00	4215.00	4215.00	4215.00	4215.00
Peso del molde + muestra húmeda (gr)	8160.00	8265.00	8370.00	8395.00	8410.00
Peso de la muestra húmeda (gr)	3945.000	4050.000	4155.000	4180.000	4195.000
Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> )	1.861	1.910	1.960	1.972	1.979

Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 18  
*Contenido de humedad y densidad seca*

Peso de la tara (gr)	21.30	34.40	35.00	30.20	25.10
Peso de la tara + suelo húmedo (gr)	127.55	149.30	167.25	154.10	152.65
Peso de la tara + suelo seco (gr)	116.75	136.00	149.90	136.90	133.50
Peso del agua (gr)	10.800	13.300	17.350	17.200	19.150
Peso del suelo seco (gr)	95.450	101.600	114.900	106.700	108.400
Contenido de Humedad (%)	11.315	13.091	15.100	16.120	17.666
Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.672</b>	<b>1.689</b>	<b>1.703</b>	<b>1.698</b>	<b>1.682</b>

Fuente: *Elaboración propia*

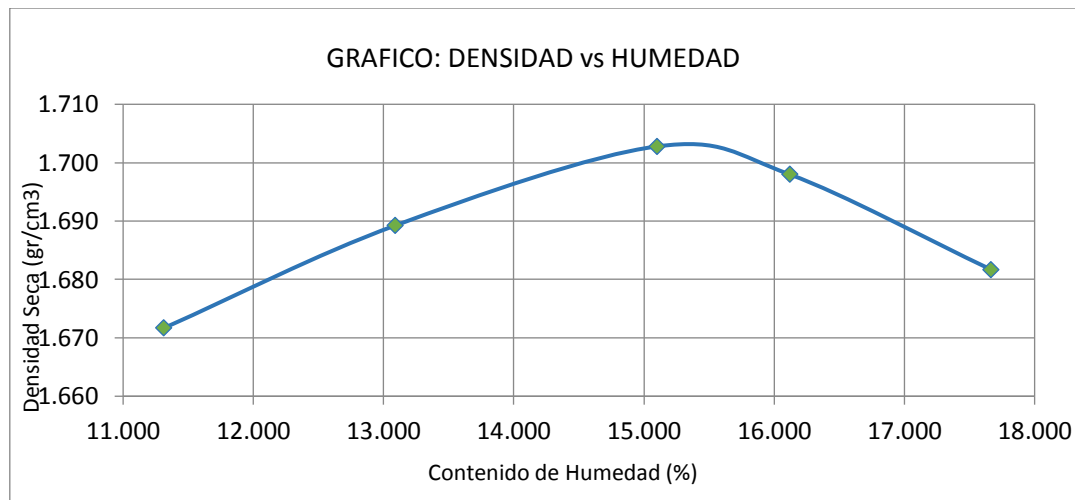


Figura 52. *Densidad vs humedad.*

Fuente: *Elaboración propia*

*Observando la curva:*

- *Máxima Densidad Seca:* 1.703 gr/cm<sup>3</sup>
- *Óptimo Contenido de Humedad:* 15.37 %
- **C.B.R.:**

Tabla 19  
*Compactación de los moldes CBR*

Molde N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
N° de golpes por capa	55	26	12
Peso del molde + suelo compactado [gr]	11950.000	11855.000	11825.000
Peso del molde [gr]	7580.000	7620.000	7705.000
Peso de suelo compactado [gr]	4370.000	4235.000	4120.000
Volumen de molde [cm3]	2152.000	2157.000	2147.000
Densidad húmeda [gr/cm3]	<b>2.031</b>	<b>1.963</b>	<b>1.919</b>

Fuente: *Elaboración propia*

## 6.5 Contenido de humedad y densidad seca

Tabla 20  
*Contenido de humedad y densidad seca*

Tara N°	1	2	3
Peso de la tara [gr]	30.25	34.40	30.25
Peso de la tara + suelo húmedo [gr]	145.900	134.250	131.900
Peso de la tara + suelo seco [gr]	130.500	120.950	118.350
Peso del agua [gr]	15.40	13.30	13.55
Peso del suelo seco [gr]	100.25	86.55	88.10
Contenido de humedad [%]	15.362	15.367	15.380
Densidad seca de la muestra [gr/cm3]	<b>1.760</b>	<b>1.702</b>	<b>1.663</b>

Fuente: *Elaboración propia*

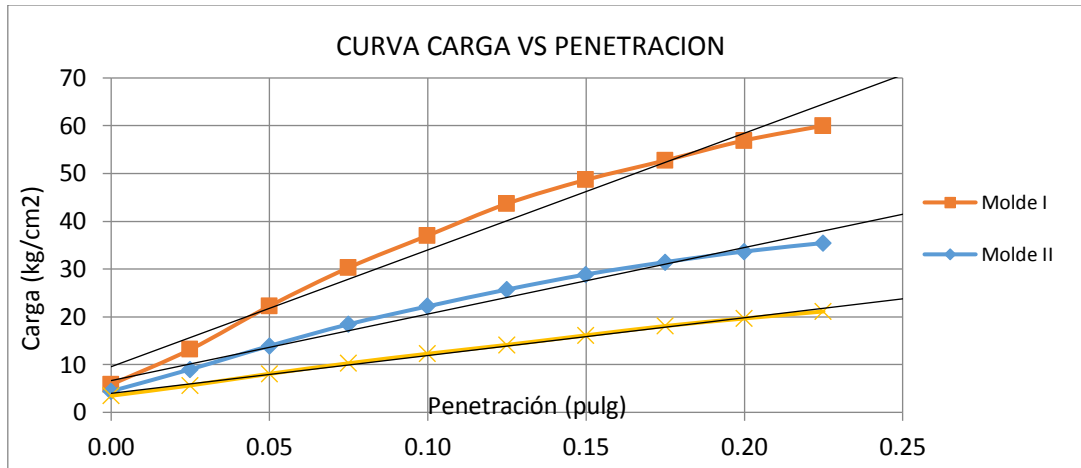


Figura 53. Carga Vs Penetración.

Fuente: *Elaboración propia.*

$$\text{Área del pistón} = 3 \text{ pulg}^2 = 19.3548 \text{ cm}^2$$

$$\text{Presión}_{\left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right)} = \frac{\text{Peso}_{(\text{kg})}}{\text{Área del pistón}_{(\text{cm}^2)}}$$

Tabla 21  
Prueba de penetración

Penetración (pulg)	Presión patrón (kg/cm²)	Molde N° I		Molde N° II		Molde N° III	
		Peso	Presión	Peso	Presión	Peso	Presión
0.000		112.6	6	85.6	4	67.3	3
0.025		254.9	13	174.4	9	109.1	6
0.050		430.3	22	269.2	14	156.0	8
0.075		586.3	30	356.9	18	198.8	10
<b>0.100</b>	<b>70</b>	<b>716.3</b>	<b>37</b>	<b>429.6</b>	<b>22</b>	<b>237.4</b>	<b>12</b>
0.125		845.3	44	497.6	26	273.3	14
0.150		942.1	49	558.8	29	312.0	16
0.175		1020.6	53	608.7	31	349.7	18
0.200	105	1101.6	57	651.8	34	380.5	20
0.225		1161.3	60	686.2	35	408.9	21

Fuente: *Elaboración propia*



Tabla 22  
Curva CBR Vs Densidad seca

Molde	Penetración (pulg)	Presión aplicada (kg/cm <sup>2</sup> )	Presión patron (kg/cm <sup>2</sup> )	C.B.R. (%)	Expansión
I	0.1	37.0	70	52.87	0.0000
II	0.1	22.2	70	31.71	0.0000
III	0.1	12.3	70	17.52	0.0000

Fuente: *Elaboración propia*

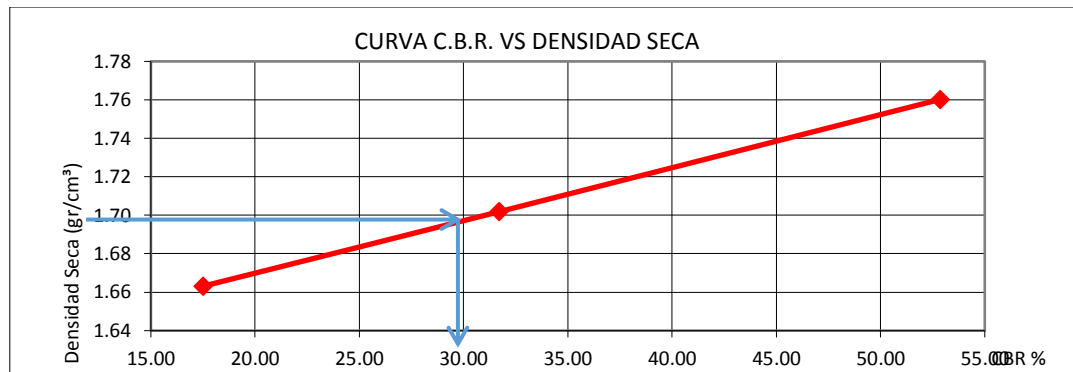


Figura 54. Curva C.B.R. Vs Densidad Seca.

Fuente: *Elaboración propia*

Observando el grafico:

- C.B.R. 100% MDS : 31.80 %

- C.B.R.

a) Ensayo preliminar de Proctor modificado

Máxima Densidad Seca (g/cm<sup>3</sup>) 2.405

Optimo Contenido de humedad (%) 6.620

Tabla 23  
Compactación de los moldes CBR

Molde N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
N° de golpes por capa	56	26	12
1 Peso del molde + suelo compactado (g)	13100.00	12580.00	12580.00
2 Peso del molde (g)	7580.00	7620.00	7705.00
3 Peso de suelo compactado (g) (1)-(2)	5520.00	5230.00	4875.00
4 Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2152.00	2157.00	2147.00
5 Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> ) (3)/(4)	2.57	2.42	2.27

Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 24

*Contenido de humedad y densidad seca*

Tara N°	Descripción	Operación	1	2	3
1	Peso de la tara (g)		35.30	20.90	22.30
2	Peso de la tara + suelo húmedo (g)		161.250	130.200	131.700
3	Peso de la tara + suelo seco (g)		153.410	123.420	124.900
4	Peso del agua (g)	(7) – (8)	7.84	6.78	6.80
5	Peso del suelo seco (g)	(8) – (6)	118.11	102.52	102.600
6	Contenido de humedad (%)	(9)/(10)x100	6.64	6.61	6.63
7	Densidad seca de la muestra (g/cm <sup>2</sup> )	5/(1+(11)/100	2.045	2.274	2.129

Fuente: *Elaboración propia*

**Prueba de penetración**

Tabla 25

*Prueba de penetración*

Penetración (pulgadas)	Presión patrón (Lb/pul <sup>2</sup> )	Molde I		Molde II		Molde III	
		Lectura Lb	Presión	Lectura Lb	Presión	Lectura Lb	Presión
0.000		0.0	0	0.0	0	0.0	0
0.025		402.0	134	317.3	106	47.3	16
0.050		1062.0	354	581.3	194	131.3	44
0.075		1701.0	567	756.7	252	396.7	132
0.100	1000	2367.0	789	1185.8	395	615.8	205
0.125		2725.9	909	1462.9	488	892.9	298
0.150		3270.0	1090	1841.3	614	1140.8	380
0.175		3597.0	1199	2194.4	731	1373.0	458
0.200	1500	3930.0	1310	2547.5	849	1607.4	536
0.225		4569.7	1523	2913.3	971	1785.6	595
0.250		4966.3	1655	3274.0	1091	2057.1	686
0.275		5662.8	1888	3634.7	1212	2307.4	769
0.300	1900	6059.4	2020	3995.4	1332	2567.5	856
0.325		6755.9	2252	4356.1	1452	2823.1	941
0.350		7452.5	2484	4716.8	1572	3060.5	102
0.375		7849.0	2616	5077.5	1692	3326.4	1109
0.400	2300	8545.5	2849	5438.2	1813	35890.9	1194
0.425		9242.1	3081	5798.9	1933	3838.2	1279
0.450		9638.6	3213	6159.6	2053	4104.7	1368
0.475		10335.2	3445	6520.3	2173	4357.8	1453
0.500	2600	11031.7	3677	6881.0	2294	4622.6	1541

Fuente: *Elaboración propia*

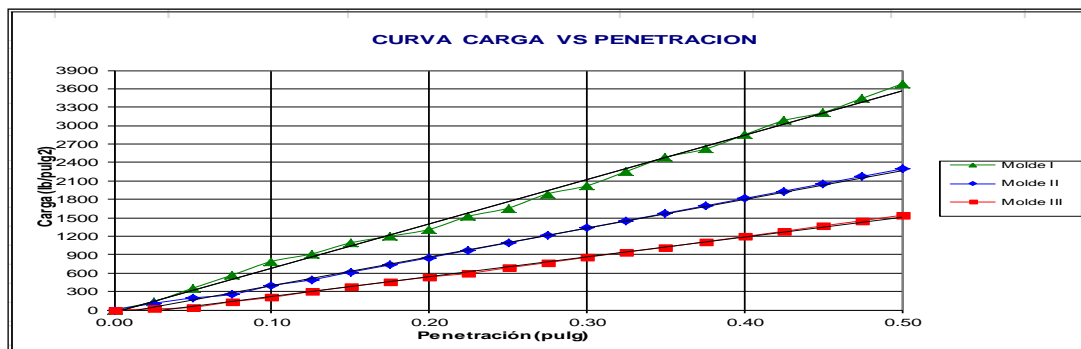


Figura 55. *Curva Carga-Penetración.*

Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 26

*CBR VS densidad seca*

Molde	Penetración (Pulg)	Presión aplicada (lb/pulg) <sup>2</sup>	Presión aplicada (lb/pug) <sup>2</sup>	CBR (%)	Expansión
I	0.1	789.0	1000	78.90	0.0000
II	0.1	395.0	1000	39.50	0.0000
III	0.1	205.0	1000	20.50	0.0000

Fuente: *Elaboración propia*

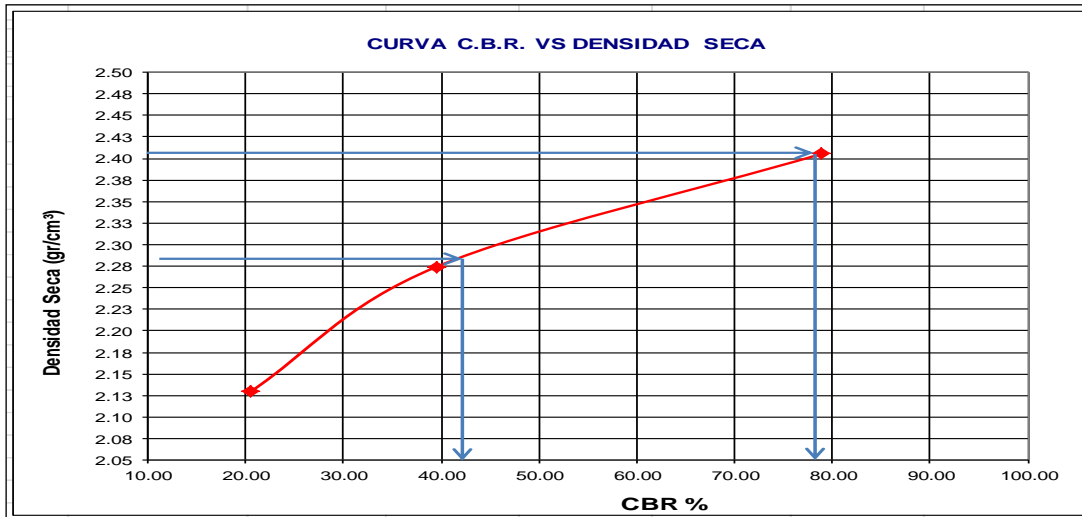


Figura 56. *Curva Vs densidad - CBR.*

Fuente: *Elaboración propia*

Observando el grafico:

- C.B.R. 100% MDS : 78.90 %

## 6.6. Proyecto: Resultados del Software Urb. Pacífico 1

### Proyecto: URB. PACIFICO

#### General Información

Periodo de diseño	20 años
Construcción de Construcción base/subrasante	September, 2012
Construcción pavimento	Octubre, 2012
Trafico abierto	Noviembre, 2012
Tipo de diseño	Flexible

**Descripción:**  
Diseño de pavimentos con una duración aproximado de 20 años.

#### Análisis de Parámetros

#### Criterio de desempeño

	Limit	Reliability
Initial IRI (in/mi)	63	
Terminal IRI (in/mi)	172	90
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking) (ft/mile):	1000	90
AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (%):	25	90
AC Thermal Fracture (Transverse Cracking) (ft/mi):	1000	90
Chemically Stabilized Layer (Fatigue Fracture)	25	90
Permanent Deformation (AC Only) (in):	0.25	90
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0.75	90
Reflective cracking (%):	100	

Location:	URB. PACIFICO
Project ID:	001
Section ID:	RUTA 1 A RUTA 2
Date:	30/07/2012
Station/milepost format:	Feet: 00 + 00
Station/milepost begin:	00+00
Station/milepost end:	00+50
Traffic direction:	East bound

#### Nivel de entrada predeterminado

Default input level Level 3, Default and historical agency values.

#### Trafico

Initial two-way AADTT:	1000
Number of lanes in design direction:	2
Percent of trucks in design direction (%):	50
Percent of trucks in design lane (%):	90
Operational speed (mph):	60

#### Factores de ajuste del volumen de tráfico

#### Monthly Adjustment Factors (Level 3, Default MAF)

Month	Vehicle Class									
	Class 4	Class 5	Class 6	Class 7	Class 8	Class 9	Class 10	Class 11	Class 12	Class 13
January	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
February	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
March	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
April	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
May	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
June	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
July	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
August	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
September	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
October	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

November	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
December	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

### Vehicle Class Distribution

(Level 3, Default Distribution)

#### AADTT distribution by vehicle class

Class 4	10.0%
Class 5	40.0%
Class 6	20.0%
Class 7	5.0%
Class 8	15.0%
Class 9	10.0%
Class 10	0.0%
Class 11	0.0%
Class 12	0.0%
Class 13	0.0%

### Hourly truck traffic distribution

by period beginning:

Midnight	2.3%	Noon	5.9%
1:00 am	2.3%	1:00 pm	5.9%
2:00 am	2.3%	2:00 pm	5.9%
3:00 am	2.3%	3:00 pm	5.9%
4:00 am	2.3%	4:00 pm	4.6%
5:00 am	2.3%	5:00 pm	4.6%
6:00 am	5.0%	6:00 pm	4.6%
7:00 am	5.0%	7:00 pm	4.6%
8:00 am	5.0%	8:00 pm	3.1%
9:00 am	5.0%	9:00 pm	3.1%
10:00 am	5.9%	10:00 pm	3.1%
11:00 am	5.9%	11:00 pm	3.1%

### Traffic Growth Factor

Vehicle Class	Growth Rate	Growth Function
Class 4	4.0%	Compound
Class 5	4.0%	Compound
Class 6	4.0%	Compound
Class 7	4.0%	Compound
Class 8	4.0%	Compound
Class 9	4.0%	Compound
Class 10	4.0%	Compound
Class 11	4.0%	Compound
Class 12	4.0%	Compound
Class 13	4.0%	Compound

### Traffic -- Axle Load Distribution Factors

Level 3: Default

### Traffic -- General Traffic Inputs

Mean wheel location (inches from the lane marking):	18
Traffic wander standard deviation (in):	10
Design lane width (ft):	12

### Number of Axles per Truck

Clase de Vehículo	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Tridem	Eje Cuadrue
Clase 4	1.62	0.39	0.00	0.00
Clase 5	2.00	0.00	0.00	0.00
Clase 6	1.02	0.99	0.00	0.00
Clase 7	1.00	0.26	0.83	0.00
Clase 8	2.38	0.67	0.00	0.00
Clase 9	1.13	1.93	0.00	0.00
Clase 10	1.19	1.09	0.89	0.00
Clase 11	4.29	0.26	0.06	0.00
Clase 12	3.52	1.14	0.06	0.00
Clase 13	2.15	2.13	0.35	0.00

### Axle Configuration

Average axle width (edge-to-edge) outside dimensions,ft):	8.5
Dual tire spacing (in):	12

**Axle Configuration**

Tire Pressure (psi) : 120

**Average Axle Spacing**

Tandem axle(ksi): 51.6

Tridem axle(ksi): 49.2

Quad axle(ksi): 49.2

**Climate**

icm file:

G:\usb abner\CD GUIA MEPDG - AASHTO 2008\MEPDG-Software-Ejercicios\MEPDG-EJERCICIOS\ACP\_Flexible\Climatic Data\EI Paso.icm

Latitude (degrees.minutes) 31.49

Longitude (degrees.minutes) -106.23

Elevation (ft) 3945

Depth of water table (ft) 55

**Structure--Design Features**

HMA E\* Predictive Model: NCHRP 1-37A viscosity based model.

HMA Rutting Model coefficients: NCHRP 1-37A coefficients

Endurance Limit (microstrain): None (0 microstrain)

**Structure--Layers****Layer 1 -- Asphalt concrete**

Material type: Asphalt concrete

Layer thickness (in): 2

**General Properties**General

Reference temperature (F°): 70

Volumetric Properties as Built

Effective binder content (%): 12

Air voids (%): 6

Total unit weight (pcf): 143

Poisson's ratio: 0.35 (user entered)Thermal Properties

Thermal conductivity asphalt (BTU/hr-ft-F°): 0.26

Heat capacity asphalt (BTU/lb-F°): 0.23

**Asphalt Mix**

Cumulative % Retained 3/4 inch sieve: 12

Cumulative % Retained 3/8 inch sieve: 38

Cumulative % Retained #4 sieve: 50

% Passing #200 sieve: 4

**Asphalt Binder**

Option: Conventional viscosity grade

Viscosity Grade AC 20

A 10.7709 (correlated)

VTS: -3.6017 (correlated)

**Thermal Cracking Properties**

Average Tensile Strength at 14°F: 353.47

Mixture VMA (%): 18

Aggregate coeff. thermal contraction (in./in.) 5e-006

Carga Hora (seg)	Temp. Baja -4°F (1/psi)	Temp. Med. 14°F (1/psi)	Temp. Alta 32°F (1/psi)
1	3.37394e-007	5.06798e-007	6.69681e-007

2	3.68318e-007	5.87897e-007	8.48069e-007
5	4.1359e-007	7.15353e-007	1.15881e-006
10	4.51497e-007	8.29825e-007	1.46749e-006
20	4.9288e-007	9.62614e-007	1.8584e-006
50	5.53462e-007	1.17131e-006	2.53934e-006
100	6.0419e-007	1.35874e-006	3.21576e-006

**Layer 2 -- A-1-a**

Unbound Material:

Thickness(in):

**Strength Properties**

Input Level:

Analysis Type:

Poisson's ratio:

Coefficient of lateral pressure,Ko:

CBR:

Modulus (calculated) (psi):

**ICM Inputs**

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI:

Liquid Limit (LL)

Compacted Layer

Passing #200 sieve (%):

Passing #40

Passing #4 sieve (%):

D10(mm)

D20(mm)

D30(mm)

D60(mm)

A-1-a

4

Level 2

ICM inputs (ICM Calculated Modulus)

0.35

0.5

78.9

41833

1

6

No

8.7

1.0

44.7

0.1035

0.425

1.306

10.82

Tamiz	Porcentaje que pasa
0.001mm	
0.002mm	
0.020mm	
#200	8.7
#100	
#80	12.9
#60	
#50	
#40	20.0
#30	
#20	
#16	
#10	33.8
#8	
#4	44.7
3/8"	57.2
1/2"	63.1

3/4"	72.7
1"	78.8
1 1/2"	85.8
2"	91.6
2 1/2"	
3"	
3 1/2"	97.6
4"	97.6

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 127.2 (derived)  
 Specific gravity of solids, Gs: 2.70 (derived)  
 Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 0.05054 (derived)  
 Optimum gravimetric water content (%): 7.4 (derived)  
 Calculated degree of saturation (%): 61.2 (calculated)  
 Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parámetros	Valor
a	7.2555
b	1.3328
c	0.8242
	2
Hr.	117.4

**Layer 3 -- A-1-a**

Unbound Material: A-1-a  
 Thickness(in): 6

**Strength Properties**

Input Level: Level 2  
 Analysis Type: ICM inputs (ICM Calculated Modulus)  
 Poisson's ratio: 0.35  
 Coefficient of lateral pressure, Ko: 0.5  
 Modulus (input) (psi): 29500

**ICM Inputs**

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 1  
 Liquid Limit (LL): 6  
 Compacted Layer: No  
 Passing #200 sieve (%): 8.7  
 Passing #40: 20.0  
 Passing #4 sieve (%): 44.7  
 D10(mm): 0.1035  
 D20(mm): 0.425  
 D30(mm): 1.306  
 D60(mm): 10.82  
 D90(mm): 46.19

Tamiz	Porcentaje pasa
0.001mm	
0.002mm	
0.020mm	
#200	8.7
#100	
#80	12.9
#60	
#50	
#40	20.0



#30	
#20	
#16	
#10	33.8
#8	
#4	44.7
3/8"	57.2
1/2"	63.1
3/4"	72.7
1"	78.8
1 1/2"	85.8
2"	91.6
2 1/2"	
3"	
3 1/2"	97.6
4"	97.6

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 127.2 (derived)  
 Specific gravity of solids, Gs: 2.70 (derived)  
 Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 0.05054 (derived)  
 Optimum gravimetric water content (%): 7.4 (derived)  
 Calculated degree of saturation (%): 61.2 (calculated)  
 Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parámetros	Valor
a	7.2555
b	1.3328
c	0.8242
	2
Hr.	117.4

**Layer 4 -- A-2-4**

Unbound Material:

Thickness(in):

**Strength Properties**

Input Level:

Analysis Type:

Poisson's ratio:

Coefficient of lateral pressure, Ko:

CBR:

Modulus (calculated) (psi):

**ICM Inputs**

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI:

Liquid Limit (LL)

Compacted Layer

Passing #200 sieve (%):

Passing #40

Passing #4 sieve (%):

D10(mm)

D20(mm)

D30(mm)

D60(mm)

D90(mm)

A-2-4  
Semi-infinite

Level 2  
ICM inputs (ICM Calculated Modulus)  
0.35  
0.5  
31.88  
23423

2  
14  
No  
22.4  
67.2  
87.2  
0.001921  
0.0369  
0.1115  
0.3476  
7.383

Tamiz	Porcentaje pasa
-------	-----------------

0.001mm	
0.002mm	
0.020mm	
#200	22.4
#100	
#80	42.3
#60	
#50	
#40	67.2
#30	
#20	
#16	
#10	82.5
#8	
#4	87.2
3/8"	91.6
1/2"	93.5
3/4"	95.9
1"	97.2
1 1/2"	98.5
2"	99.0
2 1/2"	
3"	
3 1/2"	100
4"	100

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 124.0 (derived)  
 Specific gravity of solids, Gs: 2.70 (derived)  
 Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 0.0005854 (derived)  
 Optimum gravimetric water content (%): 9.0 (derived)  
 Calculated degree of saturation (%): 67.5 (calculated)  
 Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parámetros	Valor
a	9.5043
b	0.64386
c	3.0636
Hr.	189.6

**Distress Model Calibration Settings - Flexible**

**AC Fatigue** Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally calibrated values)

k1 0.007566  
 k2 3.9492  
 k3 1.281

**AC Rutting** Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally calibrated values)

k1 -  
 3.35412  
 k2 1.5606  
 k3 0.4791

Standard Deviation Total Rutting  $0.24 * \text{POWER}(\text{RUT}, 0.8026) + 0.001$

(RUT):

**Thermal Fracture** Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally calibrated values)

k1	1.5
Std. Dev. (THERMAL):	$0.1468 * \text{THERMAL} + 65.027$
<b>CSM Fatigue</b>	Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally calibrated values)
k1	1
k2	1
<b>Subgrade Rutting</b>	Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally calibrated values)
<b>Granular:</b>	
k1	2.03
<b>Fine-grain:</b>	
k1	1.35
<b>AC Cracking</b>	
<b>AC Top Down Cracking</b>	
C1 (top)	7
C2 (top)	3.5
C3 (top)	0
C4 (top)	1000
Standard Deviation (TOP)	$200 + 2300/(1+\exp(1.072-2.1654*\log(\text{TOP}+0.0001)))$
<b>AC Bottom Up Cracking</b>	
C1 (bottom)	1
C2 (bottom)	1
C3 (bottom)	0
C4 (bottom)	6000
Standard Deviation (TOP)	$1.13+13/(1+\exp(7.57-15.5*\log(\text{BOTTOM}+0.0001)))$
<b>CSM Cracking</b>	
C1 (CSM)	1
C2 (CSM)	1
C3 (CSM)	0
C4 (CSM)	1000
Standard Deviation (CSM)	$\text{CTB} * 1$
<b>IRI</b>	
<b>IRI HMA Pavements New</b>	
C1(HMA)	40
C2(HMA)	0.4
C3(HMA)	0.008
C4(HMA)	0.015
<b>IRI HMA/PCC Pavements</b>	
C1(HMA/PCC)	40.8
C2(HMA/PCC)	0.575
C3(HMA/PCC)	0.0014
C4(HMA/PCC)	0.00825

Figura 57. Aplicación de software  
Fuente: AASHTO MEPDG-2008

## Project: Av. Pacífico

### General Information

Design Life	25 years
Base/Subgrade	November,

Pavement construction: February,  
 Traffic open: March, 2013  
 Type of design Flexible

**Performance Criteria**

	Limit	Reliability
Initial IRI (in/mi)	78	
Terminal IRI (in/mi)	160	85
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking) (ft/mile):	2000	85
AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (%):	25	85
AC Thermal Fracture (Transverse Cracking) (ft/mi):	1000	85
Chemically Stabilized Layer (Fatigue Fracture)	25	85
Permanent Deformation (AC Only) (in):	0.5	85
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0.75	85
Reflective cracking (%):	100	

Location: Chimbote  
 Project ID: 1  
 Section ID: Route 1 to Route 2

Date: 02/02/2013  
 Station/milepost format: Feet: 00 + 00  
 Station/milepost begin: 00 + 00  
 Station/milepost end: 00 + 308.97  
 Traffic direction: North bound

**Default Input Level**

Default input level Level 3, Default and historical agency values.

**Traffic**

Initial two-way AADTT: 1678  
 Number of lanes in design direction: 2  
 Percent of trucks in design direction (%): 50  
 Percent of trucks in design lane (%): 90  
 Operational speed (mph): 40

**Traffic -- Volume Adjustment Factors**

**Monthly Adjustment Factors (Level 3, Default MAF)**

Month	Vehicle Class									
	Class 4	Class 5	Class 6	Class 7	Class 8	Class 9	Class 10	Class 11	Class 12	Class 13
January	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
February	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

March	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
April	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
May	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
June	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
July	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
August	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
September	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
October	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
November	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
December	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

**Vehicle Class Distribution**

(Level 3, Default Distribution)

**AADTT distribution by vehicle class**

Class 4	93.3%
Class 5	0.8%
Class 6	0.4%
Class 7	0.0%
Class 8	0.3%
Class 9	0.0%
Class 10	4.8%
Class 11	0.4%
Class 12	0.0%
Class 13	0.0%

**Hourly truck traffic distribution**

by period beginning:

Midnight	2.3%	Noon	5.9%
1:00 am	2.3%	1:00 pm	5.9%
2:00 am	2.3%	2:00 pm	5.9%
3:00 am	2.3%	3:00 pm	5.9%
4:00 am	2.3%	4:00 pm	4.6%
5:00 am	2.3%	5:00 pm	4.6%
6:00 am	5.0%	6:00 pm	4.6%
7:00 am	5.0%	7:00 pm	4.6%
8:00 am	5.0%	8:00 pm	3.1%
9:00 am	5.0%	9:00 pm	3.1%
10:00 am	5.9%	10:00	3.1%
11:00 am	5.9%	11:00	3.1%

**Traffic Growth Factor**

Vehicle	Growth	Growth
Class 5	4.0%	Compound
Class 6	4.0%	Compound
Class 7	4.0%	Compound
Class 8	4.0%	Compound
Class 9	4.0%	Compound
Class 10	4.0%	Compound
Class 11	4.0%	Compound
Class 12	4.0%	Compound
Class 13	4.0%	Compound

**Traffic -- Axle Load Distribution Factors**

Level 3: Default

**Traffic -- General Traffic Inputs**

Mean wheel location (inches from the lane marking):	24
Traffic wander standard deviation (in):	10
Design lane width (ft):	10.5

	Single Axle	Tandem Axle		Quad Axle
--	-------------	-------------	--	-----------

Vehicle			Tridem	
Class 4	1.62	0.39	0.00	0.00
Class 5	2.00	0.00	0.00	0.00
Class 6	1.02	0.99	0.00	0.00
Class 7	1.00	0.26	0.83	0.00
Class 8	2.38	0.67	0.00	0.00
Class 9	1.13	1.93	0.00	0.00
Class	1.19	1.09	0.89	0.00
Class	4.29	0.26	0.06	0.00
Class	3.52	1.14	0.06	0.00
Class	2.15	2.13	0.35	0.00

### Axle Configuration

Average axle width (edge-to-edge) outside dimensions,ft): 8.5

Dual tire spacing (in): 12

### Axle Configuration

Tire Pressure (psi) : 120

### Average Axle Spacing

Tandem axle(psi): 51.6

Tridem axle(psi): 49.2

Quad axle(psi): 49.2

### Climate

icm file:

C:\DG2002\hcd\23190.hcd

Latitude (degrees.minutes) 32.49

Longitude (degrees.minutes) -117.08

Elevation (ft) 449

Depth of water table (ft) 4.9

### Structure--Design Features

HMA E\* Predictive Model: NCHRP 1-37A viscosity based model.

HMA Rutting Model coefficients: NCHRP 1-37A coefficients

Endurance Limit (microstrain): None (0 microstrain)

### Structure--Layers

#### Layer 1 -- Asphalt concrete

Material type: Asphalt concrete

Layer thickness (in): 4

### General Properties

#### General

Reference temperature (F°): 70

#### Volumetric Properties as Built

Effective binder content (%): 8

Air voids (%): 5.5

Total unit weight (pcf): 150

Poisson's ratio: 0.35 (user entered)

Thermal Properties

Thermal conductivity asphalt (BTU/hr-ft-F°): 0.67  
Heat capacity asphalt (BTU/lb-F°): 0.23

**Asphalt Mix**

Cumulative % Retained 3/4 inch sieve: 0  
Cumulative % Retained 3/8 inch sieve: 16.943  
Cumulative % Retained #4 sieve: 39.477  
% Passing #200 sieve: 1.275

**Asphalt Binder**

Option: Conventional penetration grade  
Viscosity Grade Pen 60-70  
A 10.6508 (correlated)  
VTS: -3.5537 (correlated)

**Thermal Cracking Properties**

Average Tensile Strength at 14°F: 542.52  
Mixture VMA (%): 13.5  
Aggregate coeff. thermal contraction (in./in.): 0.000005  
Mix coeff. thermal contraction (in./in./°F): 0.000013

Loa	Low	Mid.	High
1	1.82E-07	3.04E-07	4.27
2	1.97E-07	3.5E-07	5.33
5	2.19E-07	4.22E-07	7.14
10	2.37E-07	4.85E-07	8.91
20	2.57E-07	5.59E-07	1.11
50	2.85E-07	6.73E-07	1.49
100	3.09E-07	7.74E-07	1.86

**Capa 2 -- A-1-a**

Unbound Material: A-1-a  
Thickness(in): 12

**Strength Properties**

Input Level: Level 2  
Analysis Type: ICM inputs (ICM Calculated Modulus)  
Poisson's ratio: 0.35  
Coefficient of lateral pressure,Ko: 0.5  
CBR: 85  
Modulus (calculated) (psi): 43875

**ICM Inputs**

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 0  
Liquid Limit (LL) 0  
Compacted Layer No  
Passing #200 sieve (%): 2.3  
Passing #40 20.1  
Passing #4 sieve (%): 38.5  
D10(mm) 0.1554  
D20(mm) 0.4163

D30(mm) 1.772  
D60(mm) 16.04  
D90(mm) 45.86

Tamiz	Porcentaje pasa
0.001mm	
0.002mm	
0.020mm	
#200	2.3
#100	9.58
#80	
#60	
#50	17.79
#40	20.14
#30	21.38
#20	
#16	25.33
#10	31.39
#8	
#4	38.54
3/8"	49.34
1/2"	54.06
3/4"	64.03
1"	72.08
1 1/2"	82.75
2"	93.11
2 1/2"	100
3"	100
3 1/2"	100
4"	100

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 120.4 (derived)  
Specific gravity of solids, Gs: 2.70 (derived)  
Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 0.7973 (derived)  
Optimum gravimetric water content (%): 8.9 (derived)  
Calculated degree of saturation (%): 60.0 (calculated)  
Soil water characteristic curve Default values

Parámetros	Val
a	7.89
b	1.99
c	0.75
Hr.	100

**Layer 3 -- A-1-a**

Unbound Material: A-1-a  
Thickness(in): 16

**Strength Properties**

Input Level: Level 2  
Analysis Type: ICM inputs (ICM Calculated Modulus)  
Poisson's ratio: 0.35



Coefficient of lateral pressure, Ko: 0.5  
 CBR: 85  
 Modulus (calculated) (psi): 43875

**ICM Inputs**

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 0  
 Liquid Limit (LL) 0  
 Compacted Layer No  
 Passing #200 sieve (%): 2.3  
 Passing #40 20.1  
 Passing #4 sieve (%): 38.5  
 D10(mm) 0.1554  
 D20(mm) 0.4163  
 D30(mm) 1.772  
 D60(mm) 16.04  
 D90(mm) 45.86

Tamiz	Porcentaje que
0.001mm	
0.002mm	
0.020mm	
#200	2.3
#100	9.58
#80	
#60	
#50	17.79
#40	20.14
#30	21.38
#20	
#16	25.33
#10	31.39
#8	
#4	38.54
3/8"	49.34
1/2"	54.06
3/4"	64.03
1"	72.08
1 1/2"	82.75
2"	93.11
2 1/2"	100
3"	100
3 1/2"	100
4"	100

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 120.4 (derived)  
 Specific gravity of solids, Gs: 2.70 (derived)  
 Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 0.7973 (derived)  
 Optimum gravimetric water content (%): 8.9 (derived)  
 Calculated degree of saturation (%): 60.0 (calculated)  
 Soil water characteristic curve Default values

Parámetros	Val
a	7.89
b	1.99
c	0.75
Hr.	100

#### Layer 4 -- A-4

Unbound Material:

A-4

Thickness(in):

Semi-infinite

#### Strength Properties

Input Level:

Level 2

Analysis Type:

ICM inputs (ICM Calculated Modulus)

Poisson's ratio:

0.33

Coefficient of lateral pressure, Ko:

0.6

CBR:

13.36

Modulus (calculated) (psi):

13425

#### ICM Inputs

##### Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI:

7.04

Liquid Limit (LL)

22.6

Compacted Layer

No

Passing #200 sieve (%):

95.5

Passing #40

99.8

Passing #4 sieve (%):

100

D10(mm)

0.0002001

D20(mm)

0.0004003

D30(mm)

0.0008008

D60(mm)

0.006413

D90(mm)

0.05136

Tamiz	Porcentaje que
0.001mm	
0.002mm	
0.020mm	
#200	95.46
#100	98.35
#80	
#60	
#50	99.65
#40	99.81
#30	99.94
#20	
#16	
#10	
#8	
#4	100
3/8"	100
1/2"	100

3/4"	100
1"	100
1 1/2"	100
2"	100
2 1/2"	100
3"	100
3 1/2"	100
4"	100

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 111.9 (derived)  
 Specific gravity of solids, Gs: 2.70 (derived)  
 Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 2.086e-005 (derived)  
 Optimum gravimetric water content (%): 15.1 (derived)  
 Calculated degree of saturation (%): 80.4 (calculated)

Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Val
a	94.9
b	0.77
c	0.30
Hr.	500

**Distress Model Calibration Settings - Flexible**

**AC Fatigue** Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally

k1 0.007566  
 k2 3.9492  
 k3 1.281

**AC Rutting** Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally

k1 -3.35412  
 k2 1.5606  
 k3 0.4791

Standard Deviation Total Rutting (RUT):  $0.24 * \text{POWER}(\text{RUT}, 0.8026) + 0.001$

**Thermal Fracture** Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally

k1 1.5

Std. Dev. (THERMAL):  $0.1468 * \text{THERMAL} + 65.027$

**CSM Fatigue** Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally

k1 1  
 k2 1

**Subgrade Rutting** Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally

**Granular:**  
 k1 2.03

**Fine-grain:**  
 k1 1.35

**AC Cracking**

**AC Top Down Cracking**  
 C1 (top) 7

C2 (top)	3.5
C3 (top)	0
C4 (top)	1000

Standard Deviation (TOP)  $200 + 2300/(1+\exp(1.072-2.1654*\log(TOP+0.0001)))$

**AC Bottom Up Cracking**

C1 (bottom)	1
C2 (bottom)	1
C3 (bottom)	0
C4 (bottom)	6000

Standard Deviation (TOP)  $1.13+13/(1+\exp(7.57-15.5*\log(BOTTOM+0.0001)))$

**CSM Cracking**

C1 (CSM)	1
C2 (CSM)	1
C3 (CSM)	0
C4 (CSM)	1000

Standard Deviation (CSM)  $CTB*1$

**IRI**

**IRI HMA Pavements New**

C1(HMA)	40
C2(HMA)	0.4
C3(HMA)	0.008
C4(HMA)	0.015

**IRI HMA/PCC Pavements**

C1(HMA/PCC)	40.8
C2(HMA/PCC)	0.575
C3(HMA/PCC)	0.0014
C4(HMA/PCC)	0.00825

<b>Performance Criteria</b>	Distress	Reliability	Distress	Reliability	Acceptable
Terminal IRI (in/mi)	160	85	119.2	89.05	Pass
AC Surface Down Cracking	2000	85	17.5	98.01	Pass
AC Bottom Up Cracking	25	85	3.2	94.05	Pass
AC Thermal Fracture	1000	85	1	99.999	Pass
Chemically Stabilized Layer	25	85			N/A
Permanent Deformation (AC)	0.5	85	0.26	99.83	Pass
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0.75	85	0.54	97.94	Pass

Figura 58. Aplicación de software  
Fuente: AASHTO MEPDG-200

# COMPARACION DE LOS METODOS AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFICIALS (AASHTO-1993) - (MECHANICAL EMPIRICAL PAVEMENT DESIGN GUIDE M-EPDG AASHTO 2008)

## INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://www.fhwa.dot.gov">www.fhwa.dot.gov</a> Fuente de Internet	1%
2	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="http://sp.design.transportation.org">sp.design.transportation.org</a> Fuente de Internet	1%
4	Biplab B. Bhattacharya, Olga Selezneva, Lydia Peddicord. "Development of Traffic Inputs Library in Pennsylvania for the Use in AASHTOWare Pavement ME Design Software", Airfield and Highway Pavements 2017, 2017 Publicación	1%
5	<a href="http://bdigital.unal.edu.co">bdigital.unal.edu.co</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://inba.info">inba.info</a> Fuente de Internet	1%

7	<a href="http://ingenieriacivilapuntes.blogspot.com">ingenieriacivilapuntes.blogspot.com</a> Fuente de Internet	1 %
8	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1 %
9	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1 %
10	<a href="http://repositorio.unsa.edu.pe">repositorio.unsa.edu.pe</a> Fuente de Internet	1 %
11	<a href="http://www.camineros.com">www.camineros.com</a> Fuente de Internet	1 %
12	<a href="http://vbook.pub">vbook.pub</a> Fuente de Internet	1 %
13	<a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://www.eurasphalt.org">www.eurasphalt.org</a> Fuente de Internet	<1 %
15	Submitted to Academic Services Korea Trabajo del estudiante	<1 %
16	<a href="http://ri.ues.edu.sv">ri.ues.edu.sv</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://www.lrrb.org">www.lrrb.org</a> Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1 %

19	<a href="http://repositorio.unh.edu.pe">repositorio.unh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="http://prezi.com">prezi.com</a> Fuente de Internet	<1 %
21	<a href="http://dspace.ucuenca.edu.ec">dspace.ucuenca.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	<1 %
23	Submitted to Universidad Laica Vicente Roca fuerte de Guayaquil Trabajo del estudiante	<1 %
24	<a href="http://tesis.ucsm.edu.pe">tesis.ucsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
25	<a href="http://pirhua.udep.edu.pe">pirhua.udep.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
26	<a href="http://studylib.es">studylib.es</a> Fuente de Internet	<1 %
27	Submitted to Universidad Cooperativa de Colombia Trabajo del estudiante	<1 %
28	<a href="http://repositorio.upao.edu.pe">repositorio.upao.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
29	<a href="http://repositorio.ug.edu.ec">repositorio.ug.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %

30 Zhang, Hong Bo, Jing Hou, Yu Liu, Da Fa Xuan, and Wei Min Fan. "MEPDG Analysis on Relationship between Design Inputs and Performance of Asphalt Pavements", Applied Mechanics and Materials, 2014.  
Publicación

---

31 [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)  
Fuente de Internet

---

32 Kevin D. Hall, Steven Beam. "Estimating the Sensitivity of Design Input Variables for Rigid Pavement Analysis with a Mechanistic-Empirical Design Guide", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2018  
Publicación

---

33 [scholars.unh.edu](http://scholars.unh.edu)  
Fuente de Internet

---

34 [repositorio.upt.edu.pe](http://repositorio.upt.edu.pe)  
Fuente de Internet

---

35 [qdoc.tips](http://qdoc.tips)  
Fuente de Internet

---

36 [repositorio.usfq.edu.ec](http://repositorio.usfq.edu.ec)  
Fuente de Internet

---

37 [www.coursehero.com](http://www.coursehero.com)  
Fuente de Internet

---

[www.utexas.edu](http://www.utexas.edu)



38

Fuente de Internet

&lt;1 %

39

Maha A. El-shaib, Sherif M. El-Badawy, El-Sayed A. Shawaly. "Comparison of AASHTO 1993 and MEPDG considering the Egyptian climatic conditions", Innovative Infrastructure Solutions, 2017

Publicación

&lt;1 %

40

[repositorio.upse.edu.ec](http://repositorio.upse.edu.ec)

Fuente de Internet

&lt;1 %

41

[repositorio.unj.edu.pe](http://repositorio.unj.edu.pe)

Fuente de Internet

&lt;1 %

42

Submitted to Universidad Católica de Santa María

Trabajo del estudiante

&lt;1 %

43

[documents.mx](http://documents.mx)

Fuente de Internet

&lt;1 %

44

[repositorio.espe.edu.ec](http://repositorio.espe.edu.ec)

Fuente de Internet

&lt;1 %

45

[repositorio.uprit.edu.pe](http://repositorio.uprit.edu.pe)

Fuente de Internet

&lt;1 %

46

[utpl.edu.ec](http://utpl.edu.ec)

Fuente de Internet

&lt;1 %

47

[es.slideshare.net](http://es.slideshare.net)

Fuente de Internet

&lt;1 %

48	<a href="http://cybertesis.uach.cl">cybertesis.uach.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
49	<a href="http://dokumen.site">dokumen.site</a> Fuente de Internet	<1 %
50	<a href="http://www.virginiadot.org">www.virginiadot.org</a> Fuente de Internet	<1 %
51	Submitted to Universidad Senor de Sipan Trabajo del estudiante	<1 %
52	Submitted to University of Leicester Trabajo del estudiante	<1 %
53	<a href="http://repositorio.uteg.edu.ec">repositorio.uteg.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
54	<a href="http://lib.ugent.be">lib.ugent.be</a> Fuente de Internet	<1 %
55	<a href="http://www.clubensayos.com">www.clubensayos.com</a> Fuente de Internet	<1 %
56	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
57	Praticò, Filippo G., Domenico Tramontana, and Antonio Casciano. "Bitumen Quality, Pavement LCCA, and Contractor's Expectations", Paving Materials and Pavement Analysis, 2010. Publicación	<1 %

58

Submitted to Universidad Francisco de Paula Santander

Trabajo del estudiante

<1 %

59

repositorio.unesum.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

60

Marcos Carreres Talens. "Thermal effects influence on the Diesel injector performance through a combined 1D modelling and experimental approach", Universitat Politecnica de Valencia, 2016

Publicación

<1 %

61

idoc.pub

Fuente de Internet

<1 %

62

pt.slideshare.net

Fuente de Internet

<1 %

63

repositorio.usmp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

64

Yue Zhou, Shun-chao Qi, Lei Wang, Ming-liang Chen, Chen Xie, Jia-wen Zhou. "Instability analysis of a quaternary deposition slope after two sudden events of river water fluctuations", European Journal of Environmental and Civil Engineering, 2020

Publicación

<1 %

65

documents.tips

Fuente de Internet

<1 %

66	<a href="http://pitgear.com">pitgear.com</a> Fuente de Internet	<1 %
67	<a href="http://repositorio.uladech.edu.pe">repositorio.uladech.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
68	Erik Oscarsson. "Modelling Flow Rutting in In-Service Asphalt Pavements using the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide", Road Materials and Pavement Design, 2011 Publicación	<1 %
69	<a href="http://Es.Slideshare.Net">Es.Slideshare.Net</a> Fuente de Internet	<1 %
70	Submitted to Universidad Privada Boliviana Trabajo del estudiante	<1 %
71	<a href="http://repositorio.puce.edu.ec">repositorio.puce.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
72	<a href="http://www.concretonline.com">www.concretonline.com</a> Fuente de Internet	<1 %
73	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego Trabajo del estudiante	<1 %
74	<a href="http://doku.pub">doku.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
75	<a href="http://wisconsindot.gov">wisconsindot.gov</a> Fuente de Internet	<1 %

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo