



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

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

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



**Estudio de mecánica de suelos con la finalidad determinar el pavimento
a utilizar en el perímetro de la plaza de armas del distrito Nuevo Cuzco
Alto Biavo provincia de Bellavista región San Martín**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

Paulo Emilio Pinedo Diaz

Pedro Jesús Campana Vásquez

ASESOR:

Ing. Carlos Segundo Huamán Torrejón

Tarapoto – Perú

2020

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



**Estudio de mecánica de suelos con la finalidad determinar el pavimento
a utilizar en el perímetro de la plaza de armas del distrito Nuevo Cuzco
Alto Biavo provincia de Bellavista región San Martín**

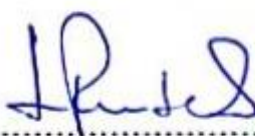
AUTOR:

Paulo Emilio Pinedo Díaz

Pedro Jesús Campana Vásquez

Sustentada y aprobada el 11 de noviembre del 2020, ante el honorable jurado:


.....
Ing. Jorge Isaacs Rioja Díaz
Presidente


.....
Ing. Ivan Gustavo Reátegui Acedo
Secretario


.....
Ing. Nestor Raúl Sandoval Salazar
Vocal


.....
Ing. Carlos Segundo Huamán Torrejón
Asesor

Declaratoria de autenticidad

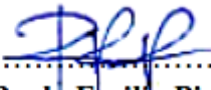
Paulo Emilio Pinedo Diaz, con DNI N° 48060228 y **Pedro Jesús Campana Vásquez**, con DNI N° 47236572, bachilleres de la Escuela profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín, autores de la tesis titulada: **Estudio de mecánica de suelos con la finalidad determinar el pavimento a utilizar en el perímetro de la plaza de armas del distrito Nuevo Cuzco Alto Biavo provincia de Bellavista región San Martín**

Declaramos bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de nuestra autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumimos bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de nuestro accionar, sometiéndonos a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 11 de noviembre del 2020.


.....
Bach. Paulo Emilio Pinedo Diaz

DNI N° 48060228


.....
Bach. Pedro Jesús Campana Vásquez

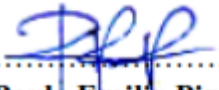
DNI N° 47236572

Declaración jurada

Paulo Emilio Pinedo Diaz, con DNI N° 48060228, Domicilio en el Jirón Perú N° 1164 Tarapoto y **Pedro Jesús Campana Vásquez**, con DNI N° 47236572, Domicilio en Av. Central Km. 9 Urb. Centro - ATE, a efecto de cumplir con las Disposiciones Vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, **Declaramos bajo juramento que**, todos los documentos, datos e información en la presente tesis, son auténticos y veraces.

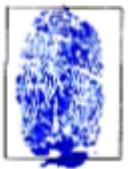
En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las Normas Académicas de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 11 de noviembre del 2020.


.....

Bach. Paulo Emilio Pinedo Diaz

DNI N° 48060228


.....

Bach. Pedro Jesús Campana Vásquez

DNI N° 47236572

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

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	Pineda Diaz, Pablo Emilio		
Código de alumno :	123125	Teléfono:	945 256 389
Correo electrónico :	pablo-murd@gmail.com	DNI:	48060228

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

2. Datos Académicos

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

3. Tipo de trabajo de investigación

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

4. Datos del Trabajo de investigación

Título :	Estudio de mecánica de suelos con la finalidad determinar el pavimento a utilizar en el perímetro de la plaza de armas del distrito Nuevo Green Alto Bano provincia de Bellavista región San Martín
Año de publicación:	2020

5. Tipo de Acceso al documento

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

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

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

6. Originalidad del archivo digital.

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

7. Otorgamiento de una licencia **CREATIVE COMMONS**

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

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

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

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


Firma del Autor

8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

13 / 12 / 2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología
e Innovación de Acceso Abierto - UNSM.

Ing. M.Sc. Alfredo Ramos Perea
Responsable

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

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

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

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	Campana Vázquez, Pedro Jesús			
Código de alumno :	123109	Teléfono:	928 310 506	
Correo electrónico :	pccava666@gmail.com		DNI:	47236572

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

2. Datos Académicos

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

3. Tipo de trabajo de investigación

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

4. Datos del Trabajo de investigación

Título :	Estudio de Mecánica de suelos con la finalidad determinar el pavimento a utilizar en el perímetro de la plaza de armas del Distrito Alto Bazo Wazo provincia de Bellavista región San Martín
Año de publicación:	2020

5. Tipo de Acceso al documento

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

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

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

6. Originalidad del archivo digital.

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

7. Otorgamiento de una licencia **CREATIVE COMMONS**

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

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

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

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


Firma del Autor

8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

13 / 12 / 2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología
e Innovación de Acceso Abierto - UNSM.

Ing. M.Sc. Alfredo Ramos Perea
Responsable

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

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

Dedicatoria

Dedicado a toda nuestra familia que
gracias
a ellos fue posible la realización de la
tesis,
e inclusive la culminación de la carrera;
por ellos y para ellos.

Agradecimientos

Al ingeniero: Carlos Segundo Huamán Torrejón

Mi agradecimiento de manera muy especial por su orientación y apoyo para el desarrollo de la presente tesis.

Agradecimiento a los ingenieros de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNSM.

Mi más sincero reconocimiento por sus valiosas enseñanzas, además de hacer muy agradable mi paso por la universidad, junto con mis compañeros de generación.

Índice general

Dedicatoria.....	vi
Agradecimientos	vii
Índice general	viii
Índice de tablas	x
Índice de gráficos o figuras	xi
Resumen	xii
Abstract.....	xiii
 Introducción.....	 1
 CAPITULO I	 2
REVISION BIBLIOGRAFICA.....	2
1.1. Generalidades	2
1.2. Exploración Preliminar Orientado a la Investigación.....	3
1.3. Aspectos Generales del Estudio.....	4
1.3.1. Ubicación del Proyecto	4
1.4. Marco teórico.....	8
1.4.1. Antecedentes del Problema.....	8
1.4.2. Planteamiento del Problema	9
1.4.3. Delimitación del Problema	10
1.4.4. Formulación del Problema.....	10
1.5. Objetivos.....	10
1.6. Justificación de la Investigación.....	11
1.7. Delimitación de la Investigación	11
1.8. Marco Teórico	12
1.8.1. Antecedentes de la Investigación.....	12
1.8.2. Fundamentación Teórica de la Investigación	15
1.9. Definición de Términos Básicos.....	77
1.10. Marco Histórico	79
1.11. Hipótesis	80
 CAPITULO II.....	 81
MATERIAL Y METODOS	81

2.1.Materiales	81
2.1.1. Recursos Humanos	81
2.1.2. Recursos materiales	81
2.2. Metodología de Investigación	82
2.2.1. Universo y/o Muestra	82
2.2.2. Sistema de Variables.....	82
2.2.3. Tipos y nivel de investigación.....	82
2.2.4. Diseño del Método de la Investigación	83
2.2.5. Diseño de instrumentos	83
2.2.6. Procesamiento de la Información	83
 CAPITULO III	 110
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	110
3.1. Ubicación y exploración de las calicatas	110
3.2.Estudio de Mecánica de Suelos	110
3.3.Cálculo de espesor de pavimento flexible	111
3.4. Cálculo de espesor de pavimento rígido.....	112
3.5. Selección de alternativa de pavimento flexible	113
3.6. Contrastación de hipótesis.....	113
 CONCLUSIONES.....	 114
 RECOMENDACIONES	 116
 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 117
 ANEXOS	 120

Índice de tablas

Tabla 1 Población censada por Distrito; Departamento de San Martín, por Censos 2018 ...	7
Tabla 2:Requerimientos Granulométricos para Sub-Base Granular	26
Tabla 3:Requerimientos de Calidad para Sub-Base Granular	26
Tabla 4: Requerimientos Granulométricos para Base Granular	27
Tabla 5: Valor Relativo de Soporte, CBR	27
Tabla 6: Requerimientos del Agregado Grueso de Base Granular	27
Tabla 7: Requerimientos del Agregado Fino de Base Granular	28
Tabla 8 Categorías de la Subrasante	34
Tabla 9: Sentido del Carril según Instituto del Asfalto	37
Tabla 10: Sentido del Carril según AASTHO	37
Tabla 11: Factor de Crecimiento	38
Tabla 12: FEC para pavimentos flexibles, ejes simples, $P_t = 2,0$	39
Tabla 13: FEC para pavimentos flexibles, ejes tandem, $P_t = 2,0$	40
Tabla 14: FEC, ejes tridem, $P_t = 2,0$	41
Tabla 15: FEC para pavimentos flexibles, ejes simples, $P_t = 2,5$	42
Tabla 16: FEC para pavimentos flexibles, ejes tandem, $P_t = 2,5$	43
Tabla 17: FEC para pavimentos flexibles, ejes tridem, $P_t = 2,5$	44
Tabla 18: FEC para pavimentos flexibles, ejes simples, $P_t = 3,0$	45
Tabla 19: FEC para pavimentos flexibles, ejes tandem, $P_t = 3,0$	46
Tabla 20: FEC para pavimentos flexibles, ejes tridem, $P_t = 3,0$	47
Tabla 21 Factor de Distribucion por Carril.....	48
Tabla 22: Valores de Confiabilidad Recomendados por AASHTO	50
Tabla 23: Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 ó 20 años) según rango de Tráfico	50
Tabla 24: Valores de desviación estandar normal de acuerdo a la confiabilidad	51
Tabla 25: Coeficientes estructurales de las capas del pavimento a1(MTC2014).....	54
Tabla 26: Índice de servicialidad inicial, final y perdida de servicialidad, según rango de tráfico (MTC, 2014).....	56
Tabla 27: Valores recomendados del Coeficiente de Drenaje mi Para Bases y Sub Bases granulares no tratadas en Pavimentos Flexibles	57
Tabla 28: Valores de la calidad de drenaje con el tiempo que tarda el agua en ser evacuada.....	57

Tabla 29: Espesores Mínimos (AASHTO, 1993) (pulg).....	59
Tabla 30: Valores recomendados de espesores mínimos de capa superficial y base granular (MTC,2014).....	59
Tabla 31: Limitaciones de tránsito y geometría vial para la aplicación de los distintos tipos de capa superficial (MTC,2014).....	60
Tabla 32: FEC para pavimentos rígidos, ejes simples, $P_t = 2,0$	61
Tabla 33: FEC para pavimentos rígidos, ejes tandem, $P_t = 2,0$	62
Tabla 34: FEC para pavimentos rígidos, ejes tridem, $P_t = 2,0$	63
Tabla 35: FEC para pavimentos rígidos, ejes simples, $P_t = 2,5$	64
Tabla 36: FEC para pavimentos rígidos, ejes tandem, $P_t = 2,5$	65
Tabla 37: FEC para pavimentos rígidos, ejes tridem, $P_t = 2,5$	66
Tabla 38: FEC para pavimentos rígidos, ejes simples, $P_t = 3,0$	67
Tabla 39: FEC para pavimentos rígidos, ejes tandem, $P_t = 3,0$	68
Tabla 40: FEC para pavimentos rígidos, ejes tridem, $P_t = 3,0$	69
Tabla 41: Valores Recomendados de Resistencia del Concreto segun rango de Trafico...	71
Tabla 42: Valores de Modulo de Rotura recomendados.....	71
Tabla 43: Correlación entre la resistencia a la compresión y el Módulo de Elasticidad E_c	72
Tabla 44: Valores de Coeficiente de Transmisión de Carga J	74
Tabla 45: Dimensiones de Losa.....	76
Tabla 46: Espaciamiento de Juntas Recomendado para Pavimentos de Concreto Simple	77
Tabla 47: Normas técnicas de los trabajos de investigación en campo.....	84
Tabla 48: Ubicación/Descripción de Calicatas.....	85
Tabla 49: Ensayos a Realizarse.....	86
Tabla 50: Índice Medio Diario.....	87
Tabla 51: Resumen - Propiedades Fisico-Mecanicas Y Clasificacion.....	110
Tabla 52: Resumen de Clasificacion de Suelos de Base y Subbase.....	111
Tabla 53: Diseño de espesores del pavimento flexible.....	112
Tabla 54: Diseño de espesor del pavimento rígido.....	113

Índice de figuras

Figura 1 Ubicación del Proyecto.....	4
Figura 2: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.....	22
Figura 3: Sistema de Clasificación AASHTO.....	23
Figura 4: Signos Convencionales para Perfil de Calicatas – Clasificación AASHTO.....	24
Figura 5: Signos Convencionales para Perfil de Calicatas – Clasificación SUCS.....	24
Figura 6: Tipos de Eje.....	36
Figura 7: Variación en el coeficiente estructural de la capa de la base granular (a2).....	53
Figura 8: Variación de coeficiente de capa de sub base granular (a3).....	53
Figura 9: Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles.....	58
Figura 10: Nomograma para determinar el módulo de reacción compuesto de la subrasante, suponiendo una profundidad infinita.....	73
Figura 11: Nomograma AASHTO.....	75

Resumen

El presente trabajo de tesis denominado Estudio de mecánica de suelos con la finalidad determinar el pavimento a utilizar en el perímetro de la plaza de armas del distrito Nuevo Cuzo Alto Biavo provincia de Bellavista región San Martín, se desarrolló en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Martín, con fines de titulación como Ingeniero Civil. Esta tesis tiene por finalidad realizar el estudio de mecánica de suelos del perímetro de la plaza de armas del distrito Alto Biavo - provincia de Bellavista - región San Martín para así poder realizar el diseño de pavimento en función de los resultados de dicho estudio. Se realizaron estudios preliminares en campo como , estudio de tráfico, excavaciones a cielo abierto, de los cuales se extrajeron parámetros propios de los suelos de la zona en estudio, mediante el desarrollo de los ensayos realizados en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de San Martín; posteriormente en gabinete se realizaron cálculos de diseño siguiendo los parámetros del Reglamento Nacional de Construcciones, determinando las características mecánicas de los suelos y posteriormente el tipo y diseño de pavimento que garantizara la fácil y optima transitabilidad de vehículos livianos y pesados. Como conclusión se recomienda usar un pavimento rígido, con una estructura de 15cm de losa de concreto y 20cm de subbase, por ser más seguro y conservador.

Palabras clave: Estudio de mecánica de suelos, diseño de pavimento, pavimento flexible.

Abstract

The present thesis work called Study of soil mechanics with the purpose of determining the pavement to be used in the perimeter of the main square of the district Nuevo Cuzo Alto Biavo, province of Bellavista, San Martin region, was developed in the Faculty of Civil Engineering of the National University of San Martin, with the purpose of obtaining the degree of Civil Engineer. The purpose of this thesis is to carry out a soil mechanics study of the perimeter of the main square of the Alto Biavo district - province of Bellavista - San Martin region, in order to design the pavement based on the results of this study. Preliminary studies were carried out in the field, such as a traffic study, open-air excavations, from which soil parameters were extracted from the area under study, through the development of tests carried out in the soil laboratory of the National University of San Martin. Later, in the office, design calculations were made following the parameters of the National Construction Regulations, determining the mechanical characteristics of the soil and subsequently the type and design of pavement that would guarantee easy and optimum trafficability for light and heavy vehicles. In conclusion, it is recommended to use a rigid pavement, with a 15cm concrete slab structure and 20cm of subbase, as it is safer and more conservative.

Key words: Soil mechanics study, pavement design, flexible pavement.



Introducción

El presente trabajo de tesis se desarrolla en la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, de la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto con el propósito de aportar a la sociedad, debido a la problemática vial en nuestro departamento, y las localidades que requieren desarrollarse.

En la actualidad, la ingeniería vial viene avanzando a grandes pasos a nivel de investigación y aplicación de nuevas tecnologías y junto a ello el desarrollo de proyectos de infraestructura; que buscan dar acceso a la población con un transporte competitivo y sostenible, dicho transporte permitirá que los diferentes centros urbanos y rurales se integren logrando el progreso de nuestro país.

El diseño de pavimentos es un tema importante en el ámbito de la Ingeniería Civil; en el Perú, y nuestra Región hay muchas estructuras de pavimento que fracasan de forma prematura; debido a diseños inadecuados, producto en algunas ocasiones a factores que debieron ser considerados inicialmente en el diseño y en últimas no lo son.

Si observamos nuestra realidad vial, nos damos cuenta de la carencia de vías pavimentadas, lo cual nos hace reflexionar en cuanto al rol de la gestión del gobierno y la no adecuada evaluación de las diferentes alternativas que existen para pavimentar estas vías, ya que las infraestructuras y los servicios de transporte deben ser eficientes, rentables, confiables y ecológicamente sostenibles.

El constante crecimiento de nuestra Región hace que nuestros distritos tengan la necesidad vital de contar con una mejor infraestructura vial, tanto para mejorar las condiciones de transitabilidad de vehículos y peatones, como también para un mayor desarrollo de la población, ya sea satisfaciendo sus necesidades básicas o para una mayor comodidad en sus actividades comerciales.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Generalidades

En el Perú, al igual que en otros lugares del mundo, se han presentado problemas geotécnicos en proyectos viales que han comprometido su funcionabilidad, seguridad y calidad. Muchos de estos problemas se originan en un estudio de suelos deficiente, inadecuado o escaso, realizado en las diferentes etapas del proyecto, sobre todo al iniciar el estudio.

Por lo general, no se asigna a esta primera operación la importancia que merece. El estudio del sitio donde se proyecta construir un puente, un pavimento, etc. Y particularmente la operación de obtener muestras, se deja muchas veces en manos de personal poco experimentado.

El estudio de la mecánica de suelos, es una parte del área de la ingeniería que está dedicada a estudiar las fuerzas o cargas que son establecidas en la superficie terrestre. El estudio de Mecánica de Suelos permite conocer las propiedades físicas y mecánicas del suelo, y su composición estratigráfica, es decir las capas o estratos de diferentes características que lo componen en profundidad, y por cierta ubicación de napas de agua (freáticas), si las hubiere.

Tanto el estudio del sitio donde se proyecta levantar una estructura, como la obtención de muestras, es de gran importancia y debería hacerse bajo la dirección y constante supervisión de un ingeniero especialista.

El estudio de suelos, no debe limitarse a1 lugar por donde pasara una carretera, sino también tener conocimiento de las características de la región: si es, o no, una zona lluviosa, etc. Los taludes de los cortes a efectuarse, de los terraplenes a construirse, los espesores de pavimento, pueden ser modificados de acuerdo con estos datos de campo.

Con el estudio de suelos, se determina la capacidad máxima de carga que acepta el terreno, el tipo de suelo, los asentamientos permisibles, la magnitud y distribución de cargas, la presencia del nivel freático, etc. Si se sobrepasan los límites de la capacidad resistente del suelo, o sí, aún sin llegar a ellos, las deformaciones son considerables, se pueden producir esfuerzos secundarios en los miembros estructurales, quizás no tomados en consideración en el diseño, los cuales pueden producir deformaciones importantes, fisuras, grietas, alabeo

o desplomos que pueden producir, en el peor de los casos, puede ocasionar el colapso de la obra o su inutilización y abandono.

El presente proyecto de tesis, servirá como un aporte ya que se podrá utilizar la información que este contiene en la elaboración de futuros proyectos de mejoramiento y/o pavimentación de calles y así contribuir al desarrollo de la localidad de San Rafael, y al mismo tiempo poner a disposición de la Universidad una investigación que servirá como base para futuros proyectos de desarrollo.

1.2. Exploración Preliminar Orientado a la Investigación

El distrito de Alto Biavo, es uno de los seis distritos que conforman la provincia de Bellavista en el departamento de San Martín. Su capital es la localidad de San Rafael, la que se encuentra ubicado a 242 msnm; lugar donde se desarrolló la presente tesis.

La zona en estudio, pertenece a una de las vías de comunicación de la localidad de San Rafael que interconecta a dicha localidad con la Carretera Fernando Belaunde Terry, la misma que conduce hacia la Provincia de Bellavista, donde se encuentran los principales centros de abastecimiento.

Los pueblos que se ubican a lo largo de este tramo de carretera, se dedican básicamente a la producción de arroz y maíz. Además de la ganadería y la producción doméstica como el plátano, yuca, y frutas diversas (MINAG, 2012).

En el departamento de San Martín, es necesario un plan de desarrollo de la red vial tanto en las carreteras de carácter nacional, así como las carreteras del sistema departamental y vecinal; para que integren la unidad del país, de manera que los pueblos interconectados por la red vial, puedan satisfacer sus necesidades de consumo. Además, elevar el nivel social, cultural y económico de sus habitantes.

La población del Distrito de Alto Biavo se ve perjudicada debido a que una de las vías más transitadas para dirigirse a la Ruta Nacional Carretera Fernando Belaunde Terry no se encuentra pavimentada; ya que esta vía es importante para la movilización de la comunidad, proporcionándoles una ruta de acceso principal en buen estado, lo cual agilizará el transporte por estas vías, haciéndolo así más cómodo para la actividad comercial con los mercados adyacentes.

Para ejecutar la pavimentación, esta debe estar respaldada con los respectivos estudios de ingeniería, con el objetivo de establecer proyectos seguros y económicos que cumplan

satisfactoriamente el periodo de vida para el que fueron diseñados. Se debe tener claro que cada especialidad proporciona, según los requerimientos, los parámetros necesarios para el diseño eficiente y funcional de una obra. Pero, particularmente, la mecánica de suelos se basa en investigaciones de campo para obtener las condiciones reales del suelo y definir las situaciones más favorables.

Ante esta teoría se busca realizar el estudio de mecánica de suelos para así realizar el diseño de pavimento más conveniente para la zona, con el propósito de que este tenga la funcionalidad adecuada para su transitabilidad.

1.3. Aspectos Generales del Estudio

1.3.1. Ubicación del Proyecto

1.3.1.1. Ubicación Geográfica del Proyecto

El proyecto de tesis se encuentra ubicado en:

Región: San Martín

Provincia: Bellavista

Distrito: Alto Biavo Rafael

Localidad Cuzco

Altitud: 232 m.s.n.m.

Región Geográfica: Selva



Figura 1. Ubicación del Proyecto

1.3.1.2. Vías de Acceso

El acceso al distrito de Alto Biavo, se realiza por medio de automóviles o camionetas. De la ciudad de Tarapoto a la localidad de San Rafael, existe una carretera asfaltada, a una distancia de 85 km, que se recorren aproximadamente en una hora con cuarenta minutos de viaje. Desde Alto Biavo hasta Bellavista, existe también una carretera asfaltada, por la cual es posible recorrer los 42 km de trayecto en unos 20 minutos aproximadamente.

1.3.1.3. Aspecto Climático

Es imprescindible referirse a la influencia que ejercen los factores climáticos sobre las formas topográficas; tratándose de un área de estudio ubicada en una región tipo Selva Alta, con un relieve abrupto y moderado, en donde se encuentra la ciudad de Bellavista.

El clima, es uno de los principales factores que condicionan las costumbres de las poblaciones, por sus características de precipitaciones, temperaturas, humedad, vientos, entre otros factores.

En la provincia de Bellavista, debido a la variación de altitud, a los rasgos estratigráficos y morfo estructurales, por encontrarse a orillas de un río Huallaga (caudaloso), se presentan características climáticas particulares:

El territorio del área urbana se encuentra entre los 230 y 350 m.s.n.m. Le corresponde un Clima Seco y Cálido, sin exceso de agua durante el año y con una concentración térmica de verano normal. Este tipo de clima manifiesta un índice de aridez alrededor del 40% y presenta limitaciones para las actividades agropecuarias, por falta de lluvias, lo que ha sido subsanado por riego artificial en las partes bajas.

Este clima presenta las precipitaciones pluviales más bajas registradas por las cuatro estaciones indicadas, con dos épocas bien marcadas durante el año: uno lluviosa (entre octubre y abril, con promedio mensual más alto en marzo, cercano a 300 mm.), y otra con menores precipitaciones (entre mayo y septiembre, con mínimo mensual de 50 mm.). La precipitación promedio anual este alrededor de los 950 mm.

1.3.1.4. Situación Actual de la Vía

Las calles en estudio, se encuentra actualmente deterioradas, por los efectos de las fuertes precipitaciones pluviales en la zona en las épocas de invierno; la inexistencia de pavimento y de obras de arte, lo que permite que las aguas de lluvias discurran por la plataforma causando erosión y pérdida de sección en la rasante. Situación que se agrava con el paso de

camionetas rurales, lo que a su vez origina que en épocas de lluvias este camino se vuelva intransitable para cualquier vehículo que intente transitar por allí; motivo por el cual la población tiene muchas dificultades para trasladar sus productos desde los centros de producción a los mercados de consumo local.

1.3.1.5. Geología Local

La geología Local en este sector está caracterizada por la presencia de depósitos cuaternarios de los tipos aluviales, Fluvio-aluviales y colu-aluviales, principalmente estos materiales provienen principalmente de la cadena montañosa al este de la ciudad de Tarapoto, denominado cordillera azul.

En general los depósitos encontrados son:

Depósitos aluviales. - Se caracterizan estos materiales por que el transporte ó traslado de los sólidos del suelo (minerales y partículas de roca) han sido efectuadas por las corrientes de agua de la red natural de los ríos Cumbaza y mayo. La textura que caracteriza a estos suelos es de media a fina, constituidas por partículas de arena cuarzosa, limo y arcilla.

Depósitos Fluvio-Aluviales. - Se encuentran formando las terrazas, inferiores, formando suelos de textura gruesa y media. Los materiales gruesos son depósitos de grava con dimensiones muy heterogéneas, constituidos por areniscas cuarzosas blanquecinas de mediana durabilidad y fragmentos oscuros y coloreados de lutitas y limolitas de dimensiones menores. Los clastos tienen dimensiones desde 16” a 18” hasta partículas de grava menuda. Los materiales de menor tamaño en estos suelos son arena de grano medio a fino, con alto porcentaje de limos y arcillas. (Geotecnia, Ingeniería & Construcción, 2019)

1.3.1.6. Area de Influencia

Con la realización de este proyecto de tesis y posterior ejecución, se verán influenciados en su desarrollo, socioeconómico y cultural, localidad de Cuzco, distrito de Alto Biavo – Provincia de Bellavista

1.3.1.7. Población Beneficiada

Al realizar la ejecución del Proyecto de tesis en mención, se estará beneficiando la localidad de Cuzco, distrito de Alto Biavo. La población directamente beneficiada es de 1301 habitantes, correspondiente a la localidad de Alto Biavo.

Esta población ha sido censada al año 2018 según información del INEI (Instituto Nacional de Estadísticas e Informática), distribuyéndose de la manera como se muestra en la Tabla 1:

Tabla 1

Población censada por Distrito; Departamento de San Martín, por Censos 2018

DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN				
CÓDIGO	CENTROS POBLADOS	POBLACIÓN CENSADA		
		Total	Hombre	Mujer
220206	ALTO BIAVO	6 033	3 105	2 928
0001	SAN RAFAEL	1 301	672	629
0003	PALESTINA	133	68	65
0004	CRISTINO	1 365	709	656
	GARC			
	IA CARHUAPOMA			
0006	GETSEMANI	5	3	2
0007	PORVENIR	2	1	1
0008	HABANA CUBA	-	-	-
0010	PUENTE SISA	20	10	10
0013	PANAMA	190	101	89
0018	IBERIA	-	-	-
0020	HABANA	-	-	-
0021	MONTE CRISTO	4	2	2
0024	ZANCUDAL	3	2	1
0025	SANTA CATALINA	94	43	51
0026	LISBOA	5	4	1
0027	SAN JOSE	688	356	332
0028	LA LIBERTAD	1 905	959	946
0029	PUERTO NUEVO	-	-	-
0031	ALTO PALESTINA	51	22	29
0032	LAS ALMENDRAS	20	10	10
0035	LOS OLIVOS	41	24	17
0036	NUEVO UTCUBAMBA	59	34	25
0038	EL EDEN	-	-	-
0040	LUCHADOR	6	4	2
0041	TRIUNFO	-	-	-
0043	TANUJO	1	1	-
0049	NUEVO PARAISO	63	34	29
0051	EL TESORO	11	7	4
0055	VILLA MARIA	18	12	6
0056	CRISTOBAL	3	1	2
0059	QUINILLAL	-	-	-
0060	LA POBREZA	4	2	2
0062	FLOR DE LA ESPERANZA	-	-	-
0065	KIODA	4	3	1
0066	BAJO VAINILLA	37	21	16

Fuente: Instituto Nacional De Estadística E Informática, Censos Nacionales de Población y Vivienda 2018– Oficina Zonal San Martín-Tarapoto.

1.3.1.8. Actividades Principales y Niveles de Vida

La actividad preponderante es sin duda la actividad agropecuaria, los cultivos que se producen principalmente son el arroz y en la parte baja el Cacao y como forma complementaria plátano, frijol, Maíz entre otros, los cuales no les remunera mucho, por el mal estado de la vía. Y la ganadería en poca proporción.

Los productos agropecuarios que se comercializan en el mercado regional y/o provincial, son de un número reducido de personas que poseen mayor cantidad de tierras y ganados y que el volumen de producción les permite cubrir los costos altos de transporte que implica evacuar sus productos hacia el mercado local; sin embargo una gran parte de la población produce sólo para el autoconsumo; el intercambio de sus productos mediante el trueque y un mínimo volumen de comercialización debido a la carencia de una carretera transitable que les facilite evacuar a bajo costo su producción hacia los mercados de consumo.

1.4. Marco teórico

Antecedentes, Planteamiento, Delimitación, Formulación del Problema a resolver

1.4.1. Antecedentes del Problema

La Red Vial Nacional, Departamental, Vecinal y la infraestructura vial urbana del Perú, tiene especial importancia como base para el progreso, bienestar económico y social de los distritos, constituyéndose en integrador y facilitador del intercambio social, cultural y económico de los pueblos, asimismo facilita enormemente la implementación de otros proyectos en Salud, Educación, y Producción.

En el Departamento de San Martín, como en todas las regiones de nuestro territorio, uno de los grandes problemas que atrasa el desarrollo integral, es entre otros, principalmente la falta y la intransitabilidad de las vías de comunicación, lo que impide el desarrollo de los pueblos.

La función de estas vías es de singular importancia, pues estimulan el progreso de regiones aisladas y deprimidas económicamente, generalmente de buen potencial productivo que, por la carencia o deterioro de los caminos, permanecen inexplorados o con sistemas artesanales de explotación orientados básicamente a cubrir las necesidades de autoconsumo.

Un apropiado diseño y mantenimiento de la red vial nacional, departamental, vecinal y urbana disminuye significativamente los costos de operación de los vehículos, reduce los tiempos de recorrido, mejora la comodidad para la circulación vehicular y aminora los

accidentes de tráfico por causa del mal estado de la vía, todo lo cual facilita el acceso de los bienes producidos en las localidades apartadas hacia los centros consumidores y ayuda a expandir los servicios públicos de diferente índole en las zonas rurales

La zona en estudio no cuenta con un proyecto integral de pavimentación, y son Los moradores, sobre todo en épocas de lluvia, siempre sufren de incomodidades en su desplazamiento y hasta a veces sus viviendas se ven severamente afectadas, por lo que en diversas oportunidades han solicitado a la municipalidad local, tome en cuenta este problema cuando efectúe la pavimentación de las calles.

Constituyendo este proyecto necesario para permitir una mejor red vial para la Localidad de San Rafael tanto para el turismo como para el transporte público, transporte de carga y circulación de vehículos menores.

1.4.2. Planteamiento del Problema

En el Perú, al igual que en otros lugares del mundo, se han presentado problemas geotécnicos en proyectos viales que han comprometido su funcionabilidad, seguridad y calidad. Aunado a esto, en San Martín hay muy pocos especialistas en geotecnia vial, lo que muchas veces se refleja en la ineficacia y en un bajo nivel de servicio de la infraestructura vial por problemas geotécnicos.

La geotecnia vial es la especialidad de la ingeniería que se encarga de atender “las necesidades y problemas de la infraestructura vial relacionados con el suelo y las rocas como medio de soporte de las obras viales tales como puentes y pavimentos y como componente de la misma en túneles, taludes de corte y terraplenes” (Vargas, 2010), y debería ser tomada en cuenta desde las etapas iniciales de cualquier proyecto vial para poder identificar las restricciones geotécnicas del entorno y sus implicaciones en las etapas de diseño, construcción y mantenimiento de las obras.

Algunos de los problemas típicos que atiende la geotecnia vial son los de capacidad de soporte de subrasante para pavimentos, de mejoramiento de subrasante por medio de compactación, estabilización, sustitución o reforzamiento; análisis de estabilidad de laderas y taludes, diseño de obras de estabilización como muros anclados y muros de retención, análisis de estabilidad y diseño de rellenos, análisis de compresibilidad, consolidación y asentamiento de rellenos, licuación de suelos y diseño de estructuras, como cimentaciones de puentes y pantallas de pilotes.

Esta tesis tiene como finalidad que la Municipalidad Distrital De Alto Biavo cuente con el mismo para ser tenido en cuenta al momento de elaborar sus proyectos de pavimentación, con el propósito de mejorar las condiciones de transitabilidad vehicular y peatonal de la Localidad de San Rafael, facilitar un acceso más eficiente, mejorar las condiciones de desarrollo de la población satisfaciendo sus necesidades básicas, además es de gran importancia ya que servirá como acceso rápido y cómodo para la actividad comercial de mercados adyacentes.

1.4.3. Delimitación del Problema

Delimitación Espacial:

El problema está delimitado al perímetro de la Plaza de Armas y calles adyacentes de la Localidad de Cuzco, Distrito de Alto Biavo, Provincia Bellavista - San Martín”

1.4.4. Formulación del Problema

Con el fin de realizar el estudio de mecánica de suelos, y la importancia de esta, en el diseño del pavimento para la localidad de Cuzco – Provincia de Bellavista – Región San Martín, se plantea y se responde el siguiente problema:

El estudio de mecánica de suelos determina el diseño del pavimento a usar en el perímetro de la plaza de armas y calles adyacentes del distrito Alto Biavo - provincia de Bellavista - región San Martín.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Determinar el diseño de pavimento en función de los resultados del estudio de mecánica de suelos del perímetro de la plaza de armas y calles adyacentes del distrito San Rafael - provincia de Bellavista - región San Martín.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Estudiar el terreno con fines de exploración de suelos.
- Determinar las características de la Subrasante.
- Definir la caracterización del tránsito
- Estudiar el impacto ambiental del tipo de pavimento a determinar

1.6. Justificación de la Investigación

Esta tesis se justifica académicamente porque permitirá aplicar procedimientos y metodologías para realizar el estudio de mecánica de suelos y el diseño de pavimento en las calles del perímetro de la Plaza de Armas y calles adyacentes de la Localidad de San Rafael.

También se justifica socialmente porque proporcionará una alternativa más adecuada para afrontar el problema del inadecuado servicio de transitabilidad y el mal estado de la superficie de rodadura, esto mejorara la calidad de vida de la población delimitada por el área en estudio ya que el mejoramiento de estas calles permitirá facilitar la transitabilidad vial y peatonal, propiciando el desarrollo de la localidad involucrada, debido a que la población podrá tener mejores condiciones de tránsito peatonal y de vehículos, así como una mejora de la imagen urbana del entorno, a través de la cual, los pobladores, los pequeños y medianos agricultores o ganaderos podrán trasladar sus productos hacia los mercados de comercialización en cualquier época del año con la mayor facilidad del caso.

La presente tesis es importante porque permite brindara información necesaria para que la entidad responsable elabore el proyecto, para su posterior ejecución; el que beneficiara a los pobladores de la Localidad de Cuzco.

1.7. Delimitación de la Investigación

Delimitación Espacial

La investigación se limita a efectuar el Estudio de Mecánica de Suelos para determinar el tipo y diseño del pavimento para la plaza de armas y las calles adyacentes de la Localidad de Alto Biavo, Provincia de Bellavista - San Martín.

Delimitación Temporal:

El proyecto se realizará en cuatro meses de acuerdo al cronograma de actividades del Desarrollo del proyecto de tesis.

Delimitación Temática:

El presente trabajo cuenta al contenido de la ingeniería del proyecto como la delimitación temática.

1.8. Marco Teórico

1.8.1. Antecedentes de la Investigación

Antecedentes primarios

Mecánica de suelos, Juárez Badillo-Rico Rodríguez. Los autores presentan con mucha satisfacción esta edición del Vol. 1 de Mecánica de Suelos. Aborda temas relacionados a resistencias, compresibilidad y relaciones esfuerzos – deformación de los suelos tanto cohesivos como granulares, incorporando todo un conjunto de hechos importantes que ha proporcionado la investigación de los últimos 10 o 12 años.

Ingeniería de pavimentos, Ing. José Rafael Menéndez Acurio. Se presentan temas como Suelos de Fundación y Subrasante, Materiales Granulares y Agregados, Mezclas Asfálticas, concreto hidráulico, estabilización y reciclado, efectos ambientales en pavimento, drenaje en pavimentos y tráfico.

RNE-NORMA TECNICA CE.010 – PAVIMENTOS URBANOS, Aprobado por D.S. N°001-2010-VIVIENDA. Esta Norma tiene por objeto establecer los requisitos mínimos para el diseño, construcción, rehabilitación, mantenimientos, rotura y reposición de pavimentos urbanos, desde los puntos de vista de la mecánica de suelos y de la ingeniería de pavimentos, a fin de asegurar la durabilidad, el uso racional de los recursos y el buen comportamiento de aceras, pistas y estacionamientos de pavimentos urbanos, a lo largo de su vida de servicio

Antecedentes secundarios

OLARTE, Jorge. *(Tesis de posgrado) UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA*, Perú 2015. En su trabajo de investigación titulado, *PROCESO INNOVADO PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE SUBRASANTE MEJORADA EN SUELOS LIMO-ARCILLOSOS APLICADO EN LA CARRETERA PUENTE RATHER – PUENTE PAUCARTAMBO* Llegó a las siguientes conclusiones:

Durante la construcción de carreteras es frecuente encontrar sectores donde la capacidad de soporte de la subrasante es deficiente ($CBR < 7\%$). Los eventos geológicos que caracterizan estas zonas han condicionado la presencia de una gran variedad de suelos finos, los mismos que deberán ser sometidos a una evaluación geotécnica para determinar si formarán parte de

la plataforma o por el contrario deberán ser eliminados para ser reemplazados por suelos de mejor calidad.

MANUAL CENTROAMERICANO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS, Ing. Jorge Coronado Iturbide Consultor. Este estudio fue desarrollado a través del convenio de donación USAID/SIECA No. 0596-0184.20, siendo parte del Programa “mejora de la capacidad de la región para mitigar los efectos transnacionales de desastres”, dando como componente final el “MANUAL CENTROAMERICANO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS”.

DISEÑO DE PAVIMENTO (AASHTO - 93), Ing. Oscar V. Cordo. El Manual AASHTO '93 en castellano tiene la metodología de diseño de pavimentos nuevos y refuerzos, que ya ha sido utilizado en varios proyectos de diseño de pavimentos por dicho instituto de investigación.

Antecedentes terciarios

FLORES, Jaime. En su trabajo de investigación titulado, ESTABILIZACION DE SUELOS CON FINES DE CONFORMACION DE LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE ESTABILIZADO CON CEMENTO EN LA CIUDAD DE JULIACA (Tesis de pregrado) UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ, PERÚ 2015. Llegó a las siguientes conclusiones:

El uso de cemento para estabilizar suelos ha sido considerado en el área de la ingeniería como una contribución significativa, ya que tiene múltiples aplicaciones en el campo de la construcción especialmente para la estabilización en base, sub base y sub rasante para carreteras; requiriendo para su adecuado desempeño, material selecto y relativamente pequeñas cantidades de cemento, generando así un nuevo material compuesto, comúnmente conocido como “Suelo Cemento”; el cual presenta una gran versatilidad ya que permite ampliar de manera considerable la utilización de casi todos los suelos como materiales de construcción.

TENIENTE, Jhordan. (Tesis de pregrado) UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO, PERÚ 2016. En su trabajo de investigación titulado, ANÁLISIS COMPARATIVO EN LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ADMISIBLE POR LOS MÉTODOS DE

TERZAGUI Y MEYERHOF, PARA EL DISEÑO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES SEGÚN LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO DE INQUILPATA DEL DISTRITO DE ANTA. Llegó a las siguientes conclusiones:

Se logró demostrar la Hipótesis general que indica: “La capacidad admisible obtenida por el método de Terzagui brinda mayor seguridad estructural que la del método de Meyerhof, en el diseño de cimentaciones superficiales, según las características del suelo de Inquilpata del distrito de Anta.”. Dando como resultados que el método de Terzagui si nos brinda mayor seguridad estructural que el método de Meyerhof en el diseño de cimentaciones superficiales según las características del suelo de Inquilpata del distrito de Anta.

Br. SUSAN JACKELIN GOMEZ VALLEJOS - “DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA EL ANILLO VIAL DEL ÓVALO GRAU – TRUJILLO - LA LIBERTAD”

Para la concepción del proyecto vial, se ha tomado en cuenta los volúmenes de tránsito existentes, las proyecciones de los mismos y el aspecto estético del proyecto integral, de modo que se pueda solucionar así los movimientos vehiculares en todos los sentidos. Las avenidas involucradas en el estudio por la importancia que han adquirido, merecen un tratamiento especial toda vez que canalizan gran parte del tránsito.

La presente tesis pretende determinar los criterios estructurales según normas y metodologías para diseñar la estructura de un pavimento flexible y así lograr un eficiente nivel de transitabilidad mejorando las condiciones de vida de la población en toda la zona de influencia.

BACH. ESCOBAR BELLIDO, LUIS, BACH. HUINCHO OCHOA, JESUS - “DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE, BAJO INFLUENCIA DE PARÁMETROS DE DISEÑO DEBIDO AL DETERIOR O DEL PAVIMENTO EN SANTA ROSA – SACHAPITE, HUANCABELICA – 2017”:

El presente trabajo de investigación realiza el análisis y evaluación del desempeño estructural del pavimento flexible mediante la aplicación de una de las variables obtenidas en laboratorio y el cálculo por medio de las ecuaciones de AASHTO 93 e INSTITUTO DEL ASFALTO. Esta dentro de los parámetros de diseño según la norma peruana del MANUAL DE CARRETERAS SUELOS, GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS.

1.8.2. Fundamentación Teórica de la Investigación

1.8.2.1. Suelos

El suelo es el soporte de la estructura de pavimento y representa uno de los problemas más complejos de modelar y predecir su comportamiento debido a que se ve afectado por muchos factores. El efecto del suelo influye en la definición del trazo y las dimensiones de la estructura de pavimento, así como también los trabajos de mantenimiento que serán requeridos durante a vida útil del pavimento.

El suelo de fundación proporciona una parte sustancial de la capacidad general del sistema estructural del pavimento, especialmente para los pavimentos flexibles. Los esfuerzos generados por las cargas de tráfico son mayores en las capas superiores, y disminuye con la profundidad. Por consiguiente, los materiales de mayor calidad y por lo general de mayor costo son utilizados en las capas superiores del pavimento, y los de menor calidad y menor costo se utilizan para las capas más profundas de la estructura.

Esta optimización del uso de materiales reduce los costos de construcción y maximiza la capacidad de utilizar materiales disponibles localmente. Sin embargo, este enfoque también requiere una mayor atención a las capas de menor calidad en el diseño (el suelo de fundación) con el fin de reducir los costos del ciclo de vida del pavimento, ya que las capas superiores deberían ser las únicas que requieren mantenimiento o reemplazo a lo largo de la vida útil del pavimento. (Menendez Acurio, 2016)

1.8.2.2. Mecánica de Suelos

Terzaghi dice: La mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería, que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o la descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no materia orgánica.

La mecánica de suelos incluye:

- a. Teorías sobre el comportamiento de los suelos sujetas a cargas, basadas en simplificaciones necesarias dado el estado actual de la teoría.
- b. Investigación de las propiedades físicas de los suelos.
- c. Aplicación del conocimiento teórico y empírico de los problemas prácticos.

1.8.2.3. Exploración de Suelos

La exploración e investigación del suelo es muy importante tanto para la determinación de las características del suelo, como para el correcto diseño de la estructura del pavimento. Si la información registrada y las muestras enviadas al laboratorio no son representativas, los resultados de las pruebas aun con exigencias de precisión, no tendrán mayor sentido para los fines propuestos.

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

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

El programa de exploración e investigación de campo incluirá la ejecución de calicatas o pozos exploratorios. Generalmente están espaciadas entre 250 m y 2,000 m, pero pueden estar más próximas dependiendo de puntos singulares, como en los casos de: cambio en la topografía de la zona en estudio; por la naturaleza de los suelos o cuando los suelos se presentan en forma errática o irregular delimitar las zonas en que se detecten suelos que se consideren Insuficientes, inadecuados.

De las calicatas o pozos exploratorios deberán obtenerse de cada estrato muestras representativas en número y cantidades suficientes de suelo o de roca, o de ambos, de cada material que sea importante para el diseño y la construcción. El tamaño y tipo de la muestra requerida depende de los ensayos que se vayan a efectuar y del porcentaje de partículas gruesas en la muestra, y del equipo de ensayo a ser usado.

Con las muestras obtenidas en la forma descrita, se efectuarán ensayos en laboratorio y finalmente con los datos obtenidos se pasará a la fase de gabinete, para consignar en forma gráfica y escrita los resultados obtenidos, asimismo se determinará un perfil estratigráfico de los suelos (eje y bordes), debidamente acotado en un espesor no menor a 1.50 m, teniendo como nivel superior la línea de sub rasante del diseño geométrico vial y debajo de ella,

espesores y tipos de suelos del terraplén y los del terreno natural, con indicación de sus propiedades o características y los parámetros básicos para el diseño de pavimentos. Para obtener el perfil estratigráfico en zonas donde existirán cortes cerrados, se efectuarán métodos geofísicos de prospección que permitan determinar la naturaleza y características de los suelos y/o roca subyacente (según Norma MTC E 101). (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

Guía de mecánica de suelo I-UNSM menciona:

- **Métodos de la exploración del suelo**

- a. **Excavaciones, pozos a cielo abierto.**

El método más simple para reconocer al terreno consiste en excavar un pozo donde se ve las capas de suelo en plena estratificación. La profundidad de estas excavaciones es muy limitada, se llega solamente a unos 2 á 4 metros de profundidad. En tales excavaciones se obtiene tanto muestras alteradas como inalteradas. Una vez encontrada el nivel freático ya no se penetra más y la excavación se da por terminada.

- b. **Perforaciones.**

Normalmente en estos sondeos exploratorios, la muestra de suelo obtenida es completamente alterada (excepto cuando se emplee equipo muy especial) las perforaciones pueden ser llevadas a cabo en estado seco, así como mediante el método lavado. Las herramientas para sondeo exploratorios por rotación son barrenos helicoidales (mayormente en perforaciones secas) o barrenos de perforación (herramienta de ataque).

En ciertos casos, hay que emplear un sondeo entubado (en suelo muy suelto) para el muestreo se utiliza herramientas especiales, como las cucharas muestreadoras.

Cuando un sondeo alcanza una capa de roca más ó menos firme, no es posible lograr penetración mediante herramientas arriba mencionadas, si no se ha de recurrir a herramientas diferentes (brocas de cincel, brocas de diamante, etc.)

- c. **Investigaciones geofísicas**

Método sísmico.- Este método se funda en la diferente velocidad de propagación de las ondas vibratorias de tipo sísmico a través de diferentes medios materiales. En los suelos, la velocidad de propagación varía entre 150 y 2500 m/seg., correspondiendo los valores mayores a mantos de grava muy compactos y los menores a arenas sueltas; los suelos

arcillosos tienen valores medios, mayores para las arcillas duras y menores para las blandas. En roca sana la velocidad de propagación fluctúa entre 2000 y 8000 m/seg. El método consiste en provocar explosiones en la zona a explorar, colocando registradores de ondas (geófonos) que captan las vibraciones, transmitiéndolas a un oscilógrafo central las ondas directas y refractadas (por fronteras entre estratos) llegan al geófono en tiempos diferentes. Por medio de gráficos y cálculos, se averigua la estratificación del terreno.

1.8.2.4. Propiedades físico – mecánicas de los suelos

Para el diseño del pavimento se requiere, en primer término, conocer las propiedades de los suelos que servirán como suelo de fundación y subrasante pudiendo ser naturales o transportados como es el caso de los rellenos. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

Las propiedades físicas proporcionan información básica del suelo. Estas propiedades físicas también pueden ser correlacionadas con otras propiedades fundamentales tales como la resistencia o la permeabilidad. (Menendez Acurio, 2016)

Las propiedades físico - mecánicas son las características usadas para la selección de los materiales, para las especificaciones de construcción y para el control de calidad.

Para conocer las propiedades físico - mecánicas de los suelos en un proyecto, es necesario tomar muestras para posteriormente determinar sus propiedades en el laboratorio.

1.8.2.5. Ensayos de Laboratorio

Los ensayos de laboratorio realizados, fueron los siguientes:

- **Contenido de Humedad (MTC E108-2000)**

El contenido de humedad del suelo, también conocido como contenido de agua presente en el suelo. Por definición, el contenido de humedad es a relación del peso del agua en un amuestra con el peso del solido (secado en el horno) en la muestra, expresado como porcentaje (w).

Se expresa mediante la ecuación:

$$w\% = \frac{W_w}{W_s} \times 100; \quad W = W_h - W_s$$

donde:

w (%): Contenido de humedad expresado en porcentaje.

W_w : Peso del agua contenida en la muestra de suelo (gr.)

W_h : Peso de la muestra húmeda (gr.)

W_s : Peso de la muestra seca (gr.) (Menendez Acurio, 2016)

- **Análisis Granulométrico (MTC E107 – 2000 ASTM D 422-69 Y ASTM 2217- 85)**

El análisis granulométrico, el cual se encuentra entre los ensayos de suelos más antiguos, es usado en la clasificación de suelos y es parte de las especificaciones de suelos para aeropuertos, carreteras, presas de tierra y otras construcciones con terraplenes de tierra. El análisis granulométrico estándar determina las proporciones relativas de distintos tamaños de granos mientras son distribuidos en ciertos rangos de tamaño, el cual se conoce como distribución granulométrica.

En los suelos granulares nos da una idea de su permeabilidad y en general de su comportamiento ingenieril, no así en suelos cohesivos donde este comportamiento depende más de la historia geológica del suelo.

El análisis granulométrico nos permite estudiar el tamaño de las partículas y medir la importancia que tendrán según la fracción de suelo que representen. Este tipo de análisis se realiza por tamizado, o por sedimentación cuando el tamaño de las partículas es muy pequeño, se puede encontrar gravas, arenas, limos y arcillas. Si bien un análisis granulométrico es suficiente para gravas y arenas, cuando se trata de arcillas y limos, turbas y margas se debe completar el estudio con ensayos que definan la plasticidad del material.

La información obtenida del análisis granulométrico puede en ocasiones utilizarse para predecir movimientos del agua a través del suelo, aun cuando los ensayos de permeabilidad se utilizan más comúnmente. La susceptibilidad de sufrir la acción de las heladas en suelo, una consideración de gran importancia de climas muy fríos, puede predecirse a través del análisis granulométrico del suelo. (Menendez Acurio, 2016)

- **Limite líquido, limite plástico y determinación del índice de plasticidad (MTC E110 Y MTC 111, ASTM D 4318-95A)**

Los índices de plasticidad describen la respuesta de un suelo a los cambios en el contenido de humedad. Las arcillas pueden ser muy plásticas, los limos son menos plásticos y las

arenas y gravas no tienen plasticidad. La plasticidad del suelo se establece en base a los límites de Atterberg, que corresponden a los valores de contenido de humedad:

- El límite líquido (LL), que define la transición entre los estados líquido y plástico.
- El límite de plástico (LP), que define la transición entre los estados y semi-sólido de plástico.
- El límite de contracción (SL), que define la transición entre sólido y semi sólido.

Las arcillas y algunos suelos finos muestran plasticidad si la cantidad apropiada de agua está presente en el suelo. Un suelo plástico es aquel que puede deformarse más allá del punto de recuperación sin romperse ni cambiar de volumen. Esos suelos pueden ser remoldeados.

El límite líquido es el máximo contenido de agua que un material puede contener y manteniendo aun su plasticidad. Una mayor cantidad de agua ocasionaría que se convierta en un líquido espeso.

El límite plástico es el contenido menos de agua que un material puede tener para un comportamiento clásico. Con menos agua el suelo se torna quebradizo y se rompe en fragmentos al intentar remoldearlos. El índice de plasticidad (IP) es la diferencia numérica entre el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP).

$$IP = LL - LP$$

Un valor alto de IP, nos indica que el suelo es altamente plástico; un valor bajo denota un suelo con poca plasticidad. A medida que el contenido de agua disminuye por debajo del límite plástico, la masa de suelo se retrae y se torna rígida. Ya que no existe una distinción exacta entre los estados de consistencia líquido, plástico, sólido, procedimientos estandarizados han sido establecidos para determinar el límite líquido y el límite plástico. Estos límites de consistencia, así como el límite de retracción, son llamados Límites de Atterberg. (Menendez Acurio, 2016)

• **Clasificación de Suelos**

Para la clasificación de suelos en carreteras se puede emplear dos sistemas AASHTO y el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS. El sistema SUCS se utiliza con mayor frecuencia en suelos y, por ende, para la Clasificación del material de subrasante, mientras que el sistema de clasificación AASHTO es utilizada con frecuencia para la clasificación de materiales de subbase y base. (Menendez Acurio, 2016)

- **Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)**

Está basado en la identificación de los suelos según sus calidades estructurales, la plasticidad y la agrupación con relación a su comportamiento como materiales de construcción.

Para la clasificación se toma en cuenta lo siguiente:

- Porcentaje de la fracción que pasa el tamiz N° 200
- Forma de la curva de distribución granulométrica
- Características de plasticidad y compresibilidad. Los suelos se separan en tres grupos.
- Suelos de grano grueso
- Suelos de grano fino
- Suelos altamente orgánicos

Los suelos de grano grueso:

Se dividen en **gravas (G)** y **arenas (S)**, las gravas contienen un 50% > de la fracción gruesa retenida en el tamiz N° 4 (4.75 mm). Y las arenas son aquellos suelos cuya porción 50% > pasa el tamiz N° 4. Tanto las gravas (G) como las arenas (S) se dividen en cuatro grupos secundarios:

- GW, SW : Limpio de finos bien graduado
- GP, SP : Limpio de finos mal graduado
- GM, SM : Con cantidad apreciable de finos no plásticos
- GC, SC : Con cantidad apreciable de finos plásticos.

Los suelos de grano fino:

Los limos (**M**) y las arcillas (**C**), se dividen a su vez en dos grupos secundarios basados en el hecho de que el suelo tiene un LL relativamente bajo (L = low), o alto (H = high)

Los suelos altamente orgánicos:

Son usualmente muy comprensibles y tienen características inadecuadas para la construcción. Se clasifican dentro del grupo designado por el símbolo Pt: turba, el humus y los suelos de pantanos son ejemplos típicos de este grupo de suelos. (Ing. M.Sc. Martínez Quiroz, 2012)

DIVISION MAYOR	GRUPO SÍMBOLOS	DESCRIPCION	CRITERIO DE CLASIFICACION DEL LABORATORIO
SUELOS DE GRANO GRUESO Mas de la mitad del material es mayor que el tamiz N° 200	GRAVAS (Mas de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamiz N° 4)	GW Grava bien graduado o mezcla de arena y grava. Poco o ningunos finos.	$C_u = \frac{D_{60} \text{ mayor que } 4}{D_{10}}$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \text{ entre } 1 \text{ y } 3$
		GP Grava mal graduado o mezcla de grava y arena. Poco o ningunos finos.	No reúne los requisitos de granulometría para GW
		GM Grava con finos, grava mal graduado muy limoso. Mezcla grava, arena y arcilla.	Límites de Atterberg bajo la línea "A" o I.P. menor de 4
			Caso de estar sobre la línea "A" con I.P. entre 4 y 7; estamos en un caso "límite", y usarse los dos símbolos
	ARENAS (Mas de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamiz N° 40)	GC Mezcla bien graduado de grava, arena y arcilla. Excelente aglutinante.	Límites de Atterberg sobre la línea "A" o I.P. mayor 7
		SW Arena bien graduada y arena gravilosa. Poco o ningunos finos.	$C_u = \frac{D_{60} \text{ mayor que } 6}{D_{10}}$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \text{ entre } 1 \text{ y } 3$
		SP Arena mal graduado. Arena gravilosa. Poco o ningunos finos.	No reúne los requisitos de granulometría para SW
		SM Arena con finos. Area muy limoso. Mal graduado mezcla arena y arcilla.	Límites de Atterberg la línea "A" o I.P. menor de 4
			Las líneas trazadas en la zona rayada con I.P. entre 4 y 7
			son casos limite y deben usarse los dos símbolos.
SUELOS DE GRANO FINO Mas de la mitad del material es menor que el tamiz N° 200	LIMO Y ARCILLA (límite líquido es menor de 50)	ML Limos inorgánico y arena muy fina. Polvo roca. Arena fino con ligera plasticidad.	
		CL Arcilla inorgánica de baja o medias plasticidad. Arcilla arenosa. Arcilla gravilosa. Arcilla limosa. Arcilla floja	
		OL Limos. Orgánico. Limos – arcilla orgánico de baja plasticidad.	
		MH Limos inorgánicos, arena fina micáceo o diamatáceo o suelo limoso, suelo elástico	
	ARCILLA (límite líquido es menor de 50)	CH Arcilla inorgánica de alta plasticidad. Arcillas grasas	
		OH Arcilla orgánica de media o alta plasticidad	
		Pt Turba (pect) y otros materiales altamente orgánicos.	

Figura 2: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. (Fuente: Manual de Ensayos de Materiales – Norma MTC E101, Símbolos gráficos para suelos).

• Sistema de Clasificación AASHTO (American association of state highway official)

Un sistema de clasificación de los suelos, es una agrupación de estos con características semejantes. El propósito es estimar en forma fácil las propiedades de un suelo por comparación con otros del mismo tipo, cuyas características se conocen. Son tantas las propiedades y combinaciones en los suelos y múltiples los intereses ingenieriles, que las clasificaciones están orientadas al campo de ingeniería para la cual se desarrollaron, por consiguiente, sólo se explicarán las clasificaciones empleadas en obras viales.

El sistema describe un procedimiento para clasificar suelos en grupos, basado en las determinaciones de laboratorio de granulometría, límite líquido e índice de plasticidad. La evaluación en cada grupo se hace mediante un “índice de grupo”. Se informa en

números enteros y si es negativo se informa igual a 0. El grupo de clasificación, incluyendo el índice de grupo, se usa para determinar la calidad relativa de suelos de terraplenes, material de subrasante, subbase y bases. El valor del índice de grupo debe ir siempre en paréntesis después del símbolo del grupo, como: A-2-6 (3); A-7-5 (17), etc.

Cuando el suelo es NP o cuando el límite no puede ser determinado, el índice de grupo debe considerarse (0). Si un suelo es altamente orgánico (turba) puede ser clasificado como A-8 sólo con una verificación visual, sin considerar el porcentaje bajo 0,08 mm, límite líquido e índice de plasticidad. Generalmente es de color oscuro, fibroso y olor putrefacto y fuerte. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

Clasificación General	Suelos Granulares ($\leq 35\%$ pasa 0,08 mm)							Suelos Finos ($> 35\%$ Bajo 0,08 mm)			
Grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub-Grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*				A-7-5** A-7-6**
2 mm	≤ 50										
0,5 mm	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
0,08 mm	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35				36			
W _L				≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41
IP	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
Descripción	Gravas y Arenas		Arena Fina	Gravas y Arenas Limosas Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
** A-7-5: $IP \leq (W_L - 30)$						** A-7-6: $IP > (W_L - 30)$					
Si el suelo es NP $\rightarrow IG = 0$; Si $IG < 0 \rightarrow IG = 0$											

Figura 3: Sistema de Clasificación AASHTO. (Fuente: Manual de Ensayos de Materiales – Norma MTC E101, Símbolos gráficos para suelos).

• Determinación del perfil de suelos

La primera labor por llevar a cabo en la investigación de suelos consiste en la ejecución sistemática de perforaciones en el terreno, con el objeto de determinar la cantidad y extensión de los diferentes tipos de suelos, la forma como éstos están dispuestos en capas y la detección de la posición del nivel freático.

Debe registrarse, además, la posición del nivel freático en caso de detectarse, por cuanto este dato es importante para el diseño de los dispositivos de sub drenaje que sean necesarios en la obra vial.

Los suelos encontrados serán descritos y clasificados de acuerdo a metodología para construcción de vías, la clasificación se efectuará obligatoriamente por AASHTO y SUCS, se utilizarán los signos convencionales de las figuras 4 y 5:

Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A-1-a		A-5
	A-1-b		A-6
	A-3		A-7-5
	A-2-4		A-7-6
	A-2-5		MATERIA ORGANICA
	A-2-6		ROCA SANA
	A-2-7		ROCA DESINTEGRADA
	A-4		

Figura 4: Signos Convencionales para Perfil de Calicatas – Clasificación AASHTO. (Fuente: Manual de Ensayos de Materiales – Norma MTC E101, Símbolos gráficos para suelos).

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

Figura 5: Signos Convencionales para Perfil de Calicatas – Clasificación SUCS. (Fuente: Manual de Ensayos de Materiales – Norma MTC E101, Símbolos gráficos para suelos)

- **Ensayo de Compactación (ASTM D 1557-91)**

La compactación es uno de los procedimientos básicos de la construcción que comprende la subrasante y base de carreteras y pavimento de aeropuertos, terraplenes y estructuras similares. La compactación es el proceso de incrementar la cantidad de sólidos por unidad de volumen de suelo con técnicas mecánicas.

Este aumento de densidad tiene un efecto importante en el mejoramiento de propiedades del suelo tales como resistencia, permeabilidad y compresibilidad.

La cantidad de compactación es cuantificada en términos de densidad de suelo (peso unitario seco). Usualmente, el suelo puede ser compactado (y en consecuencia alcanzar una mayor densidad) si solo es añadida cierta cantidad de agua. El agua actúa como un lubricante, permitiendo que las partículas del suelo se cohesionen mejor. Sin embargo, si es que se agrega mucha agua, se obtendrá menos densidad porque el exceso de agua separa las partículas del suelo.

En consecuencia, para una determinada energía de compactado existe un contenido de humedad particular, en el cual la densidad seca es mayor y la compactación es mejor. Este contenido de humedad, y la densidad seca asociada es llamada máxima densidad seca. (Menendez Acurio, 2016)

- **Ensayo Razón Soporte California CBR (ASTM D 1883 y AASHTO T193)**

El ensayo CBR es una medida indirecta de la resistencia del suelo a penetración y se trata de un ensayo relativamente simple para obtener un indicador de la resistencia del suelo de la subrasante, subbase y base para uso en carreteras y aeropuertos, aunque por sí mismo no representa una propiedad fundamental del material. El valor CBR obtenido puede ser aplicado directamente para el diseño de pavimentos en los métodos empíricos y a través de correlaciones con el módulo resiliente en el caso de los métodos mecanísticos empíricos. El ensayo fue desarrollado por la División de Carreteras de California en 1929 y adoptado por el Cuerpo de Ingenieros para usarlo en el diseño de pavimentos flexibles en lugares donde el congelamiento no es un factor de control.

1.8.2.6. Requisitos de los Materiales

Los materiales deberán cumplir con los requerimientos que se dan a continuación. Los materiales que incumplan estos requisitos y sus tolerancias, serán rechazados.

De la Sub-Base:

Estos materiales deberán cumplir los requisitos mínimos establecidos en las siguientes Tablas:

Tabla 2

Requerimientos Granulométricos para Sub-Base Granular

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A *	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75 – 95	100	100
9,5 mm (3/8")	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100
4,75 mm (Nº 4)	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85
2,0 mm (Nº 10)	15 – 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70
4,25 µm (Nº 40)	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
75 µm (Nº 200)	2 – 8	5 – 15	5 – 15	8 – 15

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones Norma CE. 010 Pavimentos Urbanos

Además, el material también deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad:

Tabla 3

Requerimientos de Calidad para Sub-Base Granular

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		< 3000 msnmm	≥ 3000 msnmm
Abrasión Los Angeles	NTP 400.019:2002	50 % máximo	
CBR de laboratorio	NTP 339.145:1999	30-40 % mínimo*	
Limite Líquido	NTP 339.129:1998	25% máximo	
Índice de Plasticidad	NTP 339.129:1998	6% máximo	4% máximo
Equivalente de Arena	NTP 339.146:2000	25% mínimo	35% mínimo
Sales Solubles Totales	NTP 339.152:2002	1% máximo	

* 30% para pavimentos rígidos y de adoquines. 40% para pavimentos flexibles.

De la Base:

Estos materiales deberán cumplir los requisitos de gradación establecidos en la siguiente Tabla:

Tabla 4*Requerimientos Granulométricos para Base Granular*

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A *	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75 – 95	100	100
9,5 mm (3/8")	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100
4,75 mm (Nº 4)	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85
2,0 mm (Nº 10)	15 – 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70
425 µm (Nº 40)	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
75 µm (Nº 200)	2 – 8	5 – 15	5 – 15	8 – 15

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones Norma CE. 010 Pavimentos Urbanos

El material de Base Granular deberá cumplir además con las siguientes características físico- mecánicas y químicas que a continuación se indican:

Tabla 5*Valor Relativo de Soporte, CBR*

Vías Locales y Colectoras	Mínimo 80%
Vías Arteriales y Expresas	Mínimo 100%

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones Norma CE. 010 Pavimentos Urbanos

Tabla 6*Requerimientos del Agregado Grueso de Base Granular*

Ensayo	Norma	Requerimientos	
		Altitud	
		< 3000 msnmm	≥ 3000 msnmm
Partículas con una cara fracturada	MTC E – 210 (1999)	80% mínimo	
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E – 210 (1999)	40% mínimo	50% mínimo
Abrasión Los Ángeles	NTP 400.019:2002	40% máximo	
Sales Solubles	NTP339.152:2002	0,5% máximo	
Pérdida con Sulfato de Sodio	NTP 400.016:1999	---	12% máximo
Pérdida con Sulfato de Magnesio	NTP 400.016:1999	---	18% máximo

Tabla 7*Requerimientos del Agregado Fino de Base Granular*

Ensayo	Norma	Requerimientos	
		< 3000 msnmm	> 3000 msnmm
Índice Plástico	NTP 339.129:1999	4% máximo	2% máximo
Equivalente de arena	NTP 339.146:2000	35% mínimo	45% mínimo
Salas solubles	NTP 339.152:2002	0,5% máximo	
Índice de durabilidad	MTC E214-2000	35% mínimo	

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones Norma CE. 010 Pavimentos Urbanos

1.8.2.7. Pavimento

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

- Capa de Rodadura: Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento Portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito.
- Base: Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante ($\text{CBR} \geq 80\%$) o será tratada con asfalto, cal o cemento.
- Subbase: Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular ($\text{CBR} \geq 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

1.8.2.8. Tipos de Pavimentos Usados en Vías Urbanas**• Pavimento Flexible**

El pavimento flexible es una estructura compuesta por capas granulares (subbase, base) y como capa de rodadura una carpeta constituida con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos. Principalmente se considera como capa de rodadura asfáltica sobre capas granulares: mortero asfáltico, tratamiento superficial bicapa, micro pavimentos, macadam asfáltico, mezclas asfálticas en frío y mezclas asfálticas en caliente. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

- **Pavimento Rígido**

El pavimento rígido es una estructura de pavimento compuesta específicamente por una capa de subbase granular, no obstante, esta capa puede ser de base granular, o puede ser estabilizada con cemento, asfalto o cal, y una capa de rodadura de losa de concreto de cemento hidráulico como aglomerante, agregados y de ser el caso, aditivos. Dentro de los pavimentos rígidos existen tres categorías:

- ☐ Pavimento de concreto simple con juntas
- ☐ Pavimento de concreto con juntas y refuerzo de acero en forma de fibras o mallas
- ☐ Pavimento de concreto con refuerzo continuo. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

- **Pavimento Articulados**

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborado con bloques de concreto prefabricado, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí. Esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual, a su vez, se apoya sobre una capa de base granular o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de ésta y de la magnitud y frecuencia de las cargas que circulan por dicho pavimento.

- **Pavimento Semirrígidos**

Este tipo de pavimento guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible, una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo que puede ser: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos. El empleo de estos aditivos tiene la finalidad básica de corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales locales que no son aptos para la construcción de las capas del pavimento, teniendo en cuenta que los adecuados se encuentran a distancias talque encarecerían notablemente los costos de construcción.

1.8.2.9. Diseño de Pavimentos

El diseño de pavimentos es el proceso por el cual los componentes estructurales (Capa de rodadura, base y sub-base) de un segmento de vía son determinados para que la vía tenga un comportamiento adecuado para el usuario. Para el diseño se toma en consideración la naturaleza del suelo de fundación o sub-rasante, las consideraciones ambientales, densidad y composición del tráfico, y las condiciones de mantenimiento y construcción. En resumen, el diseño de la estructura del pavimento es establecer los espesores y rigideces de los

materiales para mantener la vía bajo un cierto nivel de deterioro, confort, transitabilidad y seguridad. (Menendez Acurio, 2016)

1.8.2.10. Características que debe reunir un Pavimento

Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos:

- ☐ Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- ☐ Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- ☐ Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- ☐ Debe ser durable
- ☐ Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.
- ☐ El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influyen en el entorno, debe ser adecuadamente moderado.
- ☐ Debe ser económico.
- ☐ Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramiento, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito. (Montejo Fonseca, 2002)

1.8.2.11. Factores de Diseño

La relación entre los Diferentes Factores de que afectan el pavimento es compleja, por lo general se puede indicar que el factor que mayor incidencia tiene en el comportamiento de la estructura del pavimento es el tráfico, luego se tiene el medio ambiente que modifica el comportamiento de los materiales y luego la estructuración, la construcción y el mantenimiento.

Los factores de Diseño pueden ser divididos en cuatro categorías: tráfico y carga, medio ambiente, materiales, y criterios de falla (Huang, 2004).

El tráfico y la carga: El tráfico y la carga de ser considerados incluyen cargas por eje, el número de repeticiones de carga, zonas de neumáticos de contacto, y velocidades de los vehículos.

El medio ambiente: Los factores ambientales que influyen en el diseño del pavimento incluyen la temperatura y la precipitación, tanto que afecta a los módulos de elasticidad de las diversas capas. En el método empírico- mecánico de diseño, cada año se puede dividir en un número de períodos, cada uno que tiene un conjunto diferente de la capa de módulos. Se evalúa el daño durante cada periodo y resumir todo el año para determinar la vida útil. (Vega Conza, 2014)

El concreto como material amigable al medio ambiente

Constantemente se buscan soluciones para neutralizar los efectos invernaderos y en el ámbito de la ingeniería, a partir de lo conversado en el XIX Simposio Peruano de Energía Solar (2012, Puno, Perú), es válido mencionar el concepto de “construcción sostenible” como aquella que teniendo especial respeto y compromiso con el medio ambiente, implica el uso eficiente de la energía y del agua, los recursos y materiales no perjudiciales para el medioambiente, resulta más saludable y se dirige hacia una reducción de los impactos ambientales. Dando mayor énfasis, en el estudio, a la construcción de los pavimentos.

Publicaciones de la EUPAVE (European Concrete Paving Association) dan como definición de sostenibilidad en obras viales como:

« Las carreteras sostenibles hacen un uso eficiente de los recursos naturales y respetan el medio ambiente durante todo su ciclo de vida; mejoran el transporte de toda la comunidad, prestan servicio a la sociedad en términos de movilidad, seguridad y comodidad mediante una elección inteligente basada en el diseño, la construcción, el mantenimiento y la demolición ».

Para tener en cuenta una mejor elección de pavimentos, es necesario tener en cuenta conceptos importantes como son:

Análisis de ciclo de vida (ACV) y huella de carbono

La vida útil de los pavimentos de concreto (40 a más años) es mayor que la del pavimento de concreto asfáltico o también conocido como concreto bituminoso. Además, este tipo de pavimento no necesita excesivas operaciones de mantenimiento.

Teniendo en cuenta el tiempo del impacto en el cambio climático podemos decir que la huella de carbono es la cantidad de CO₂ (dióxido de carbono) y otros gases que producen el efecto invernadero.

Consumo de combustibles de vehículos pesados en pavimentos de concreto

Según manifiestan los estudios realizados por el Consejo Nacional de Investigación de Canadá existe un menor consumo de combustibles por parte de los vehículos pesados, cuando estos transitan sobre pavimentos de concreto con respecto a los hechos de concreto asfáltico.

Reciclado del concreto

Es posible reciclar el concreto a un 100%, usándolo como un “árido” (material granulado) para la base y sub-base de un pavimento. Además, se sabe que se puede sustituir material granular por este árido reciclado. (Hernandez Salazar, 2016)

1.8.2.12. Ventajas y desventajas de los Pavimentos. Ventajas del pavimento flexible

Mayor drenabilidad: Las mezclas asfálticas de granulometría abierta proporcionan una drenabilidad mayor al permitir el desalojo del agua transversalmente sobre la macro textura superficial que presentan, reduciendo el hidroplaneo y la proyección de agua.

Confort: La sensación de confort que experimentan los pasajeros a bordo del vehículo es mayor sobre pavimentos asfálticos que sobre rígidos, debido a la naturaleza misma del pavimento asfáltico, su flexibilidad y a que las mezclas asfálticas se disponen en varias capas y no solo en una, como en el concreto.

Resulta más económico en su construcción inicial.

Transmite las cargas hacia las capas inferiores, por lo que necesita mayor cantidad de material en las bases.

Desventajas:

Requieren que las acciones de mantenimiento sean adecuadas y constantes para que brinde un buen servicio durante la vida útil.

Las cargas pesadas producen roderas y dislocamientos en el asfalto y son un peligro potencial para los usuarios. Esto constituye un serio problema en intersecciones, casetas de cobro de cuotas de peaje, rampas, donde el tráfico está constantemente frenando y arrancando. Las roderas llenas de agua de lluvia en estas zonas, pueden causar derrapamientos, pérdida de control del vehículo y por lo tanto, dar lugar a accidentes y a lesiones personales. (Salazar, 2014)

Ventajas de Pavimento rígido:

Costo inicial (construcción), para uso en carreteras de tráfico medio y pesado, es normalmente igual o menor al de los flexibles.

Costo final (al considerar la vida útil) es normalmente menor a la de los pavimentos flexibles.

Mayor vida útil

Considerando el calentamiento global, el concreto absorbe menos calor que el asfalto.

La calidad de la superficie se mantiene por muchos años, y básicamente se conserva la estructura del pavimento.

Como función de la textura superficial, mayor resistencia al deslizamiento.

Mejores características de drenaje superficial: es prácticamente impermeable, el agua escurre más fácil, y las estructuras de drenaje son más simples.

Mejor distribución de presiones a los suelos de apoyo. Soporta fácilmente sobrecargas imprevistas y tráfico intenso.

En el caso del concreto el mantenimiento es mínimo y menos frecuente, lo cual es favorable dado que disminuye los costos asociados a los tiempos de viaje de los usuarios ocasionados por reparaciones continuas como es el caso de la opción en asfalto.

El concreto al ser un material más rígido reduce sustancialmente el espesor de la capa granulares, reduciendo, además, los volúmenes de materiales pétreos. Esta cualidad también reduce los volúmenes de excavación, reduciendo costos e impactos al medio ambiente.

Reparaciones El concreto se repara fácilmente, bajo cualquier condición climática, se pueden agregar una gran variedad de aditivos a la mezcla permitiendo efectuar todo tipo de trabajos con gran rapidez y eficiencia.

Desventajas:

Tiene un costo inicial mucho más elevado que el pavimento flexible.

Se deben tener cuidado en el diseño.

En el uso de vías urbanas se recomienda ejecutar los trabajos de instalación de agua y desagüe previo a la pavimentación de vías. (Zuloeta, 2019)

1.8.2.13. Determinación de la Subrasante de Diseño

La subrasante de diseño debe ser calculada siguiendo el procedimiento que cada método de diseño plantea. A continuación, se mostrará de manera resumida el procedimiento requerido:

Método de la Norma Peruana del MTC de diseño de Pavimentos

En el caso de la norma peruana del MTC (2013) se considera un material apto para ser considerado como subrasante cuando su CBR es mayor o igual al 6%. Si tiene un CBR menor se debe plantear el mejoramiento o reemplazo de dicho suelo. El CBR de diseño se calcula de acuerdo a los siguientes pasos:

1. En los sectores con 6 o más valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinará el valor de CBR de diseño en base al promedio del total de valores analizadas por sector de características homogéneas.
2. En los sectores con menos de 6 valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinará el valor de CBR de diseño en base a lo siguiente:
 - Si los valores son parecidos o similares, tomar el valor promedio.
 - Si los valores no son parecidos o no son similares, tomar el valor critico (más bajo).
3. Una vez definido el valor de CBR de diseño, para cada sector de características homogéneas, se clasificará a que categoría de subrasante pertenece el sector o sub tramo, según el cuadro siguiente:

Tabla 8

Categorías de la Subrasante

Categorías de Subrasante	CBR
S ₀ : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S ₁ : Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3% a CBR < 6%
S ₂ : Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% a CBR < 10%
S ₃ : Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% a CBR < 20%
S ₄ : Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% a CBR < 30%
S ₅ : Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%

1.8.2.14. Diseño de Pavimentos

1.8.2.14.1. Diseño de Pavimento

Flexible

Se podrá utilizar cualquier método de diseño estructural sustentado en teorías y experiencias a largo plazo, tales como las metodologías AASHTO-93 y PCA, comúnmente empleadas en el Perú. (Ministerio de Vivienda, 2010).

Para la presente tesis se optó por usar la Metodología AASHTO 93 pues ha demostrado una gran efectividad para hallar los espesores correctos de las capas del pavimento, además de que es fácil de utilizar.

1.8.14.2. Método AASHTO 1993 para pavimentos flexibles (AASHTO 1993)

En la metodología AASHTO-93 para diseño de estructuras de pavimento flexible, se presenta un modelo o ecuación a través de la cual se obtiene el parámetro llamado número estructural (SN) cuyo valor además de ser un indicativo del espesor total requerido del pavimento, está en función del tránsito y la confiabilidad entre otros. Para la determinación de este parámetro se utiliza normalmente un ábaco en el cual se ingresa con el valor de la confiabilidad y conociendo los valores de los demás parámetros como son el tránsito, la desviación estándar, la confiabilidad y el índice de serviciabilidad, se obtiene el SN el cual es un valor fundamental para la determinación de los espesores finales de las diferentes capas que conforman la estructura de pavimento. (Garcia Morales, 2015).

1.8.14.3. Procedimiento de Diseño

El objetivo principal es determinar los espesores de las capas de pavimento diferentes para satisfacer los objetivos de diseño. D1, D2 Y D3. El procedimiento de diseño se puede dividir en los pasos que se indican a continuación:

- Calcular el tráfico para el periodo de diseño
- Determinar la confiabilidad R y la desviación estandar total
- Establecer el módulo de resiliencia efectivo de la subrasante M_r
- Determinar la perdida de servicialidad de diseño
- Obtener el numero estructural SN
- Establecer los espesores que satisfagan SN. (Menendez Acurio, 2016) Datos de Entrada

1.8.14.4. Análisis de Tráfico

El tráfico es uno de los parámetros más importantes para el diseño de pavimentos. Para obtener este dato es necesario determinar el número de repeticiones de cada tipo de eje durante el periodo de diseño, a partir de un tráfico inicial medido en el campo a través de aforos.

1.8.14.4.1. Volumen de tránsito

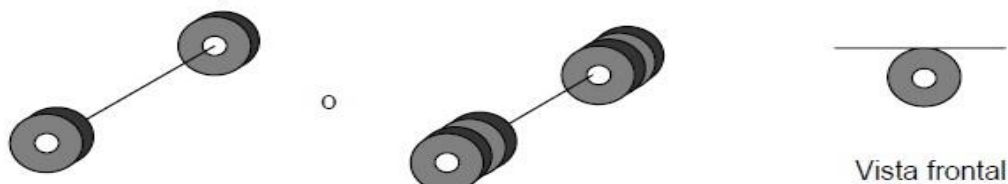
Se define como el número de vehículos que pasan por un punto o un carril durante una unidad de tiempo. Sus unidades son vehículos/día; vehículos/hora, etc.

Los estudios de tránsito, en el área urbana, son aquellos en los cuales se analiza y propone medidas de mitigación respecto del impacto vial, recopila las cantidades del flujo vehicular que se desplaza en la zona. (Minaya Gonzales & Ordoñez Huaman , 2006)

Se darán algunas definiciones y conceptos de ingeniería de tránsito:

Tipos de Eje

Eje sencillo: Es un eje con una o dos ruedas sencillas en sus extremos.



Eje tandem: Son dos ejes sencillos con ruedas dobles en los extremos.



Eje tridem: Son tres ejes sencillos con ruedas dobles en los extremos.



Figura 6: Tipos de Eje. (Fuente: S. MINAYA & A. ORDOÑEZ).

1.8.14.4.2. Índice Medio Diario, IMD

Es el promedio del número de vehículos que pasan por un punto durante un período de tiempo. Según el período de análisis para medir el volumen, podrá ser índice medio diario anual, IMDA, índice medio diario mensual (IMDM) o índice medio diario semanal (IMDS). (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

1.8.14.4.3. Reglamento Nacional de Vehículos

El D.S.Nº034-2001-MTC titulado “Reglamento Nacional de Vehículos”, reglamenta entre otras cosas los pesos y dimensiones máximas de los vehículos para transporte terrestre.

1.8.14.4.4. Carril de diseño

Para calles y carreteras de dos carriles, el carril de diseño puede ser cualquiera de los dos, mientras que, para calles y carreteras de carriles múltiples, generalmente es el carril externo. Bajo ciertas condiciones, es probable que haya mayor tránsito de camiones en un sentido que en otro. En muchos sitios los camiones circulan cargados en un sentido y vacíos en otro. Las recomendaciones del Instituto del Asfalto y la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), son: (Minaya Gonzales & Ordoñez Huaman , 2006)

Tabla 9

Sentido del Carril según Instituto del Asfalto

Nº carriles (2 direcciones)	%de camiones en el carril de diseño
2	50
4	45 (35-48)
6 ó más	40 (25-48)

Fuente: Instituto del Asfalto

Según AASTHO Parte del conteo en ambas direcciones, el factor direccional recomendado es de 50%, aunque este valor puede variar entre 30 a 70%. El tráfico en un sentido se separa para el carril de diseño según la recomendación:

Tabla 10

Sentido del Carril según AASTHO

Nº CARRILES EN 1 DIRECCION	% ESAL EN EL CARRIL DE DISEÑO
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.

1.8.14.4.5. Crecimiento del Tránsito

(Minaya Gonzales & Ordoñez Huaman , 2006). El pavimento debe ser diseñado para servir adecuadamente la demanda del tránsito durante un período de años; por lo tanto, el crecimiento del tránsito se debe anticipar.

El crecimiento puede considerarse como el Factor de Crecimiento:

$$\text{Factor de Crecimiento} = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

Donde:

r tasa de crecimiento anual,

% n período de diseño en años

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

Los valores del factor de crecimiento para diferentes tasas anuales y periodos de diseño se muestran en la tabla siguiente, de acuerdo al criterio de la AASHTO: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

Tabla 11

Factor de Crecimiento

Periodo de diseño, años (n)	Tasa de crecimiento anual, g en porcentaje							
	Sin Crecimiento	2	4	5	6	7	8	10
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	2.0	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.0	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.0	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.0	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.0	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.0	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.0	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.0	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.0	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.0	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.0	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.0	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.0	15.97	18.29	19.18	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.0	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.0	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.0	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.0	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.0	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.0	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28
25	25.0	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	30.0	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.48
35	35.0	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02

1.8.14.4.6. Factor de Equivalencia de Carga

Con el objeto de evaluar el efecto dañino, en un pavimento flexible, de las cargas diferentes a un eje estándar, se han considerado factores de equivalencia de carga por eje, FEC. Estos valores se obtuvieron a partir de los resultados experimentales de la AASHO Road Test. (Minaya Gonzales & Ordoñez Huaman , 2006)

Las siguientes tablas indican los diferente LEFs para distintos tipos de cargas por eje, para distintos tipos de cargas por eje, para distintos índices de servicialidad finales.

Tabla 12

FEC para pavimentos flexibles, ejes simples, $P_t = 2,0$

Carga p/eje (kips) ⁶	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.010	0.009	0.009
8	0.03	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	0.075	0.085	0.090	0.085	0.079	0.076
12	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	0.325	0.338	0.354	0.350	0.338	0.331
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	113.	108.	97.	86.	81.	82.

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.

Tabla 13

FEC para pavimentos flexibles, ejes tándem, $P_t = 2,0$

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	0.041	0.048	0.050	0.046	0.042	0.040
18	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	0.227	0.244	0.260	0.252	0.239	0.231
26	0.322	0.340	0.360	0.353	0.338	0.329
28	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	0.810	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	16.6	16.0	14.7	13.7	13.8	14.5
64	19.3	18.6	17.0	15.8	15.8	16.6
66	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	33.3	32.0	29.1	26.5	26.2	27.4
74	37.8	36.4	33.0	30.0	29.4	30.8
76	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	48.4	46.5	42.0	38.0	37.0	38.6
80	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0
86	76.3	73.3	66.0	59.0	56.8	58.6
88	85.0	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.

Tabla 14*FEC, ejes tridem, $P_t = 2,0$*

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
6	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
8	0.0009	0.0010	0.0009	0.0008	0.0007	0.0007
10	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001
12	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
14	0.008	0.007	0.007	0.006	0.006	0.005
16	0.010	0.012	0.012	0.010	0.009	0.009
18	0.016	0.019	0.019	0.017	0.015	0.015
20	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
22	0.034	0.042	0.042	0.038	0.035	0.034
24	0.049	0.058	0.060	0.055	0.051	0.048
26	0.068	0.080	0.083	0.077	0.071	0.068
28	0.093	0.107	0.113	0.105	0.098	0.094
30	0.125	0.140	0.149	0.140	0.131	0.126
32	0.164	0.182	0.194	0.184	0.173	0.167
34	0.213	0.233	0.248	0.238	0.225	0.217
36	0.273	0.294	0.313	0.303	0.288	0.279
38	0.346	0.368	0.390	0.381	0.364	0.353
40	0.434	0.456	0.481	0.473	0.454	0.443
42	0.538	0.560	0.587	0.580	0.561	0.548
44	0.662	0.682	0.710	0.705	0.686	0.673
46	0.807	0.825	0.852	0.849	0.831	0.818
48	0.976	0.992	1.015	1.014	0.999	0.987
50	1.17	1.18	1.20	1.20	1.19	1.18
52	1.40	1.40	1.42	1.42	1.41	1.40
54	1.66	1.66	1.68	1.68	1.66	1.66
56	1.95	1.95	1.93	1.93	1.94	1.94
58	2.29	2.27	2.24	2.23	2.25	2.27
60	2.67	2.64	2.59	2.57	2.60	2.63
62	3.10	3.05	2.98	2.95	2.99	3.04
64	3.59	3.53	3.41	3.37	3.42	3.49
66	4.13	4.05	3.89	3.83	3.90	3.99
68	4.73	4.63	4.43	4.34	4.42	4.54
70	5.40	5.28	5.03	4.90	5.00	5.15
72	6.15	6.00	5.68	5.52	5.63	5.82
74	6.97	6.79	6.41	6.20	6.33	6.56
76	7.88	7.67	7.21	6.94	7.08	7.36
78	8.88	8.63	8.09	7.75	7.90	8.23
80	9.98	9.69	9.05	8.63	8.79	9.18
82	11.2	10.8	10.1	9.6	9.8	10.2
84	12.5	12.1	11.2	10.6	10.8	11.3
86	13.9	13.5	12.5	11.8	11.9	12.5
88	15.5	15.0	13.8	13.0	13.2	13.8
90	17.2	16.6	15.3	14.3	14.5	15.2

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.

Tabla 15

FEC para pavimentos flexibles, ejes simples, $P_t = 2,5$

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0004	0.0004	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.003	0.004	0.004	0.003	0.002	0.002
6	0.011	0.017	0.017	0.013	0.010	0.009
8	0.032	0.047	0.051	0.041	0.034	0.031
10	0.078	0.102	0.118	0.102	0.088	0.080
12	0.168	0.198	0.229	0.213	0.189	0.176
14	0.328	0.358	0.399	0.388	0.360	0.342
16	0.591	0.613	0.646	0.645	0.623	0.606
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.57	1.49	1.47	1.51	1.55
22	2.48	2.38	2.17	2.09	2.18	2.30
24	3.69	3.49	3.09	2.89	3.03	3.27
26	5.33	4.99	4.31	3.91	4.09	4.48
28	7.49	6.98	5.90	5.21	5.39	5.98
30	10.3	9.5	7.9	6.8	7.0	7.8
32	13.9	12.8	10.5	8.8	8.9	10.0
34	18.4	16.9	13.7	11.3	11.2	12.5
36	24.0	22.0	17.7	14.4	13.9	15.5
38	30.9	28.3	22.6	18.1	17.2	19.0
40	39.3	35.9	28.5	22.5	21.1	23.0
42	49.3	45.0	35.6	27.8	25.6	27.7
44	61.3	55.9	44.0	34.0	31.0	33.1
46	75.5	68.8	54.0	41.4	37.2	39.3
48	92.2	83.9	65.7	50.1	44.5	46.5
50	112.	102	79.	60.	53.	55.

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.

Tabla 16

FEC para pavimentos flexibles, ejes tándem, $P_t = 2,5$

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0005	0.0005	0.0004	0.0003	0.0003	0.0002
6	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001
8	0.004	0.006	0.005	0.004	0.003	0.003
10	0.008	0.013	0.011	0.009	0.007	0.006
12	0.015	0.024	0.023	0.018	0.014	0.013
14	0.026	0.041	0.042	0.033	0.027	0.024
16	0.044	0.065	0.070	0.057	0.047	0.043
18	0.070	0.097	0.109	0.092	0.077	0.070
20	0.107	0.141	0.162	0.141	0.121	0.110
22	0.160	0.198	0.229	0.207	0.180	0.166
24	0.231	0.273	0.315	0.292	0.260	0.242
26	0.327	0.370	0.420	0.401	0.364	0.342
28	0.451	0.493	0.548	0.534	0.495	0.470
30	0.611	0.648	0.703	0.695	0.658	0.633
32	0.813	0.843	0.889	0.887	0.857	0.834
34	1.06	1.08	1.11	1.11	1.09	1.08
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.75	1.73	1.69	1.68	1.70	1.73
40	2.21	2.16	2.06	2.03	2.08	2.14
42	2.76	2.67	2.49	2.43	2.51	2.61
44	3.41	3.27	2.99	2.88	3.00	3.16
46	4.18	3.98	3.58	3.40	3.55	3.79
48	5.08	4.80	4.25	3.98	4.17	4.49
50	6.12	5.76	5.03	4.64	4.86	5.28
52	7.33	6.87	5.93	5.38	5.63	6.17
54	8.72	8.14	6.95	6.22	6.47	7.15
56	10.3	9.6	8.1	7.2	7.4	8.2
58	12.1	11.3	9.4	8.2	8.4	9.4
60	14.2	13.1	10.9	9.4	9.6	10.7
62	16.5	15.3	12.6	10.7	10.8	12.1
64	19.1	17.6	14.5	12.2	12.2	13.7
66	22.1	20.3	16.6	13.8	13.7	15.4
68	26.3	23.3	18.9	15.6	15.4	17.2
70	29.0	26.6	21.5	17.6	17.2	19.2
72	33.0	30.3	24.4	19.8	19.2	21.3
74	37.5	34.4	27.6	22.2	21.3	23.6
76	42.5	38.9	31.1	24.8	23.7	26.1
78	48.0	43.9	35.0	27.8	26.2	28.8
80	54.0	49.4	39.2	30.9	29.0	31.7
82	60.6	55.4	43.9	34.4	32.0	34.8
84	67.8	61.9	49.0	38.2	35.3	38.1
86	75.7	69.1	54.5	42.3	38.8	41.7
88	84.3	76.9	60.6	46.8	42.6	45.6
90	93.7	85.4	67.1	51.7	46.8	49.7

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.

Tabla 17

FEC para pavimentos flexibles, ejes tridem, $P_t = 2,5$

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001
6	0.0006	0.0007	0.0005	0.0004	0.0003	0.0003
8	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
10	0.003	0.004	0.003	0.002	0.002	0.002
12	0.005	0.007	0.006	0.004	0.003	0.003
14	0.008	0.012	0.010	0.008	0.006	0.006
16	0.012	0.019	0.018	0.013	0.011	0.010
18	0.018	0.029	0.028	0.021	0.017	0.016
20	0.027	0.042	0.042	0.032	0.027	0.024
22	0.038	0.058	0.060	0.048	0.040	0.036
24	0.053	0.078	0.084	0.068	0.057	0.051
26	0.072	0.103	0.114	0.095	0.080	0.072
28	0.098	0.133	0.151	0.128	0.109	0.099
30	0.129	0.169	0.195	0.170	0.145	0.133
32	0.169	0.213	0.247	0.220	0.191	0.175
34	0.219	0.266	0.308	0.281	0.246	0.228
36	0.279	0.329	0.379	0.352	0.313	0.292
38	0.352	0.403	0.461	0.436	0.393	0.368
40	0.439	0.491	0.554	0.533	0.487	0.459
42	0.543	0.594	0.661	0.644	0.597	0.567
44	0.666	0.714	0.781	0.769	0.723	0.692
46	0.811	0.854	0.918	0.911	0.868	0.838
48	0.979	1.015	1.072	1.069	1.033	1.005
50	1.17	1.20	1.24	1.25	1.22	1.20
52	1.40	1.41	1.44	1.44	1.43	1.41
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.93	1.90	1.90	1.91	1.93
58	2.29	2.25	2.17	2.16	2.20	2.24
60	2.67	2.60	2.48	2.44	2.51	2.58
62	3.09	3.00	2.82	2.76	2.85	2.95
64	3.57	3.44	3.19	3.10	3.22	3.36
66	4.11	3.94	3.61	3.47	3.62	3.81
68	4.71	4.49	4.06	3.88	4.05	4.30
70	5.38	5.11	4.57	4.32	4.52	4.84
72	6.12	5.79	5.13	4.80	5.03	5.41
74	6.93	6.54	5.74	5.32	5.57	6.04
76	7.84	7.37	6.41	5.88	6.15	6.71
78	8.83	8.28	7.14	6.49	6.78	7.43
80	9.92	9.28	7.95	7.15	7.45	8.21
82	11.1	10.4	8.8	7.9	8.2	9.0
84	12.4	11.6	9.8	8.6	8.9	9.9
86	13.8	12.9	10.8	9.5	9.8	10.9
88	15.4	14.3	11.9	10.4	10.6	11.9
90	17.1	15.8	13.2	11.3	11.6	12.9

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993

Tabla 18

FEC para pavimentos flexibles, ejes simples, $P_t = 3,0$

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0008	0.0009	0.0008	0.0003	0.0002	0.0002
4	0.004	0.008	0.008	0.004	0.002	0.002
6	0.014	0.030	0.028	0.018	0.012	0.010
8	0.035	0.070	0.080	0.055	0.040	0.034
10	0.082	0.132	0.168	0.132	0.101	0.086
12	0.173	0.231	0.296	0.280	0.212	0.187
14	0.332	0.388	0.468	0.447	0.391	0.358
16	0.594	0.633	0.695	0.693	0.651	0.622
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.60	1.53	1.41	1.38	1.44	1.51
22	2.47	2.29	1.96	1.83	1.97	2.16
24	3.67	3.33	2.69	2.39	2.60	2.96
26	5.29	4.72	3.65	3.08	3.33	3.91
28	7.43	6.56	4.88	3.93	4.17	5.00
30	10.2	8.9	6.5	5.0	5.1	6.3
32	13.8	12.0	8.4	6.2	6.3	7.7
34	18.2	15.7	10.9	7.8	7.6	9.3
36	23.8	20.4	14.0	9.7	9.1	11.0
38	30.6	26.2	17.7	11.9	11.0	13.0
40	38.8	33.2	22.2	14.6	13.1	15.3
42	48.8	41.6	27.6	17.8	15.5	17.8
44	60.6	51.6	34.0	21.6	18.4	20.6
46	74.7	63.4	41.5	26.1	21.6	23.8
48	91.2	77.3	50.3	31.3	25.4	27.4
50	110.	94.	61.	37.	30.	32.

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.

Tabla 19

FEC para pavimentos flexibles, ejes tándem, $P_t = 3,0$

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000
4	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
6	0.003	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001
8	0.008	0.011	0.009	0.005	0.003	0.003
10	0.011	0.024	0.020	0.012	0.008	0.007
12	0.019	0.042	0.039	0.024	0.017	0.014
14	0.031	0.066	0.068	0.045	0.032	0.026
16	0.049	0.096	0.109	0.076	0.055	0.046
18	0.075	0.134	0.164	0.121	0.090	0.076
20	0.113	0.181	0.232	0.182	0.139	0.119
22	0.166	0.241	0.313	0.260	0.205	0.178
24	0.238	0.317	0.407	0.358	0.292	0.257
26	0.333	0.413	0.517	0.476	0.402	0.360
28	0.457	0.534	0.643	0.614	0.538	0.492
30	0.616	0.684	0.788	0.773	0.702	0.656
32	0.817	0.870	0.956	0.953	0.896	0.855
34	1.07	1.10	1.15	1.15	1.12	1.09
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.75	1.71	1.64	1.62	1.66	1.70
40	2.21	2.11	1.94	1.89	1.98	2.08
42	2.75	2.59	2.29	2.19	2.33	2.50
44	3.39	3.15	2.70	2.52	2.71	2.97
46	4.15	3.81	3.16	2.89	3.13	3.50
48	5.04	4.58	3.70	3.29	3.57	4.07
50	6.08	5.47	4.31	3.74	4.05	4.70
52	7.27	6.49	5.01	4.24	4.57	5.37
54	8.65	7.67	5.81	4.79	5.13	6.10
56	10.2	9.0	6.7	5.4	5.7	6.9
58	12.0	10.6	7.7	6.1	6.4	7.7
60	14.1	12.3	8.9	6.8	7.1	9.8
62	16.3	14.2	10.2	7.7	7.8	9.5
64	18.9	16.4	11.6	8.6	8.6	10.5
66	21.8	18.9	13.2	9.6	9.5	11.6
68	25.1	21.7	15.0	10.7	10.5	12.7
70	28.7	24.7	17.0	12.0	11.5	13.9
72	32.7	28.1	19.2	13.3	12.6	15.2
74	37.2	31.9	21.6	14.8	13.8	16.5
76	42.1	36.0	24.3	16.4	15.1	17.9
78	47.5	40.6	27.3	18.2	16.5	19.4
80	53.4	45.7	30.5	20.1	18.0	21.0
82	60.0	51.2	34.0	22.2	19.6	22.7
84	67.1	57.2	37.9	24.6	21.3	24.5
86	74.9	63.8	42.1	27.1	23.2	26.4
88	83.4	71.0	46.7	29.8	25.2	28.4
90	92.7	78.8	51.7	32.7	27.4	30.5

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.

Tabla 20

FEC para pavimentos flexibles, ejes tridem, $P_t = 3,0$

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0005	0.0004	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
8	0.003	0.004	0.002	0.001	0.001	0.001
10	0.005	0.008	0.005	0.003	0.002	0.002
12	0.007	0.014	0.010	0.006	0.004	0.003
14	0.011	0.023	0.018	0.011	0.007	0.006
16	0.016	0.035	0.030	0.018	0.013	0.010
18	0.022	0.050	0.047	0.029	0.020	0.017
20	0.031	0.069	0.069	0.044	0.031	0.026
22	0.043	0.090	0.097	0.065	0.046	0.039
24	0.059	0.116	0.132	0.092	0.066	0.056
26	0.079	0.145	0.174	0.126	0.092	0.078
28	0.104	0.179	0.223	0.168	0.126	0.107
30	0.136	0.218	0.279	0.219	0.167	0.143
32	0.176	0.265	0.342	0.279	0.218	0.188
34	0.226	0.319	0.413	0.350	0.279	0.243
36	0.286	0.382	0.491	0.432	0.352	0.310
38	0.359	0.456	0.577	0.524	0.437	0.389
40	0.447	0.543	0.671	0.626	0.536	0.483
42	0.550	0.643	0.775	0.740	0.649	0.593
44	0.673	0.760	0.889	0.865	0.777	0.720
46	0.817	0.894	1.014	1.001	0.920	0.865
48	0.984	1.048	1.152	1.148	1.080	1.030
50	1.18	1.23	1.30	1.31	1.26	1.22
52	1.40	1.43	1.47	1.48	1.45	1.43
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.92	1.86	1.85	1.88	1.91
58	2.28	2.21	2.09	2.06	2.13	2.20
60	2.66	2.54	2.34	2.28	2.39	2.50
62	3.08	2.92	2.61	2.52	2.66	2.84
64	3.56	3.33	2.92	2.77	2.96	3.19
66	4.09	3.79	3.25	3.04	3.27	3.58
68	4.68	4.31	3.62	3.33	3.60	4.00
70	5.34	4.88	4.02	3.64	3.94	4.44
72	6.08	5.51	4.46	3.97	4.31	4.91
74	6.89	6.21	4.94	4.32	4.69	5.40
76	7.78	6.98	5.47	4.70	5.09	5.93
78	8.76	7.83	6.04	5.11	5.51	6.48
80	9.84	8.75	6.67	5.54	5.96	7.06
82	11.0	9.8	7.4	6.0	6.4	7.7
84	12.3	10.9	8.1	6.5	6.9	8.3
86	13.7	12.1	8.9	7.0	7.4	9.0
88	15.3	13.4	9.8	7.6	8.0	9.6
90	16.9	14.8	10.7	8.2	8.5	10.4

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.

1.8.14.4.7. Factor de distribución por carril

Se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL's. Para un camino de dos carriles, cualquiera de las dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril. Para caminos de varios carriles, el de diseño será el externo, por el hecho de que los vehículos pesados van en ese carril, ver tabla 13. (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, 2002)

Tabla 21

Factor de Distribucion por Carril

Número de carriles en una sola dirección	LC ¹¹
1	1.00
2	0.80 – 1.00
3	0.60 – 0.80
4	0.50 – 0.75

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993

1.8.14.4.8. Factor Camión, FC

Se entiende por factor camión al número de aplicaciones de ejes estándar de 80 kN, correspondiente al paso de un vehículo. El factor camión se puede obtener por pesaje. El peso es un método costoso para proyectos pequeños; por lo tanto, cuando se deba efectuar el diseño para un tramo de vía en la cual no se tengan datos sobre el pesaje quedan dos alternativas:

- Asumir el F.C. conocido de una vía cuyas características sean similares.
- Estimar el F.C. por algún método empírico.

Se puede emplear el D.S. N°034-2001-MTC del 25 de julio del 2001, página 207449 de El Peruano. En el capítulo VIII de la mencionada norma se publican las dimensiones y pesos por eje de vehículos pesados. Los autos no se incorporan en la presente norma, porque como se vio en los ejemplos, el paso de un vehículo ejerce un daño no significativo en el pavimento. (Minaya Gonzales & Ordoñez Huaman , 2006)

1.8.14.4.9. Determinación del Número de Ejes Equivalentes.

Una vez determinado el número acumulado de vehículos que transitarán en el carril de diseño y durante el período de diseño, es posible convertir ésta cantidad de vehículos a ejes simples equivalentes de 8.2 tn. mediante el factor camión. Se calcula para el carril de diseño utilizando la siguiente ecuación:

$$ESALs = \left(\sum_{i=1}^m p_i * F_i * P \right) * (TPD) * (FC) * F_d * F_c * 365$$

ESAL = Σ (Nº vehículos $\times$ FC vehículo) Dónde:

Pi: porcentaje del total de repeticiones para el i-esimo grupo de vehículos o cargas.

Fi: factor de equivalencia de carga por eje

P: promedio de ejes por camión pesado.

TPD: tránsito de crecimiento para un periodo de diseño en años. Fd: factor direccional.

Fc: factor de distribución por carril (Tabla 13) (Minaya Gonzales & Ordoñez Huaman , 2006)

1.8.14.4.10. Período de diseño

El periodo de diseño está relacionado con los requerimientos de cada entidad o las condiciones contractuales; sin embargo, de acuerdo a la importancia de la vía, este puede estar comprendido dentro 5 años hasta 20 años, en el caso de vías de mayor importancia. El manual de diseño del MTC (2014) indica que el periodo de diseño a ser empleado para pavimentos flexibles será hasta 10 años para caminos de bajo volumen de tránsito, que puede darse en dos etapas de 10 años cada una y periodo de diseño en una etapa de 20 años. (Menendez Acurio, 2016)

1.8.14.4.11. Confiabilidad

El nivel de confiabilidad (R) es seleccionado en función de la clasificación funcional de la carretera y el tipo de zona (urbana o rural). La confiabilidad es la probabilidad de que el pavimento tendrá una duración para el periodo de diseño sin fallar. Un mayor valor de la confiabilidad asegurará un mejor comportamiento, pero se requerirá mayores espesores de cada capa. El siguiente cuadro presenta los valores recomendados por AASHTO para las diferentes clasificaciones funcionales de carreteras. (Menendez Acurio, 2016)

Tabla 22*Valores de Confiabilidad Recomendados por AASHTO*

Clasificación Funcional	Nivel Recomendado de Confiabilidad	
	Urbana	Rural
Interestatal y otras vías expresas	85 – 99.9	80 – 99.9
Arteriales principales	80 – 99	75 – 95
Vías colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 – 80

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

A continuación, se especifican los valores recomendados en la guía del MTC (2014) de niveles de confiabilidad para los diferentes rangos de tráfico.

Tabla 23

Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 ó 20 años) según rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P0}	100,000	150,000	65%
	T _{P1}	150,001	300,000	70%
	T _{P2}	300,001	500,000	75%
	T _{P3}	500,001	750,000	80%
	T _{P4}	750 001	1,000,000	80%
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	85%
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	85%
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	85%
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	90%
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	90%
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	90%
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	90%
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	95%
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	95%
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	95%
	T _{P15}	>30'000,000		95%

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

1.8.14.4.12. Desviación Estandar Combinada

La desviación estandar combinada (S_0) es un valor que toma en cuenta la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y de los otros factores que afectan el comportamiento del pavimento; como, por ejemplo, construcción, medioambiente, incertidumbre del

modelo. La Guía AASHTO recomienda adoptar, para los pavimentos flexibles, valores de S_0 comprendidos entre 0.4 y 0.5. En el Manual del MTC (2014) se adopta el valor de 0.45 para diseños recomendados. (Menendez Acurio, 2016)

1.8.14.4.13. Desviación estandar normal (Z_r)

La desviación estándar normal está en función de la confiabilidad del proyecto, R .

En la tabla 24 se muestran los valores de desviación estándar correspondiente a diferentes niveles de confiabilidad. (Menendez Acurio, 2016)

Tabla 24

Valores de desviación estandar normal de acuerdo a la confiabilidad

Confiabilidad (R%)	Desviación Estandar Normal	Confiabilidad (R%)	Desviación Estandar Normal
50%	0.000	93%	-1.475
60%	-0.253	94%	-1.555
70%	-0.524	95%	-1.645
75%	-0.674	96%	-1.751
80%	-0.842	97%	-1.881
85%	-1.036	98%	-2.054
90%	-1.282	99%	-2.326
91%	-1.341	99.9%	-3.090
92%	-1.405	99.99%	-3.719

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993

1.8.14.4.14. Módulo Resiliente

Para el diseño de pavimentos flexibles deben utilizarse valores medios resultantes de los ensayos de laboratorio, las diferencias que se puedan presentar están consideradas en el nivel de confiabilidad R .

Durante el año se presentan variaciones en el contenido de humedad de la subrasante, las cuales producen alteraciones en la resistencia del suelo, para evaluar esta situación es necesario establecer los cambios que produce la humedad en el módulo resiliente. Con este fin se obtienen módulos resilientes para diferentes contenidos de humedad que simulen las condiciones que se presentan en el transcurso del año, en base a los resultados se divide el año en periodos en los cuales el MR es constante.

1.8.14.4.15. Evaluación de los materiales

Para el diseño de los espesores de una sección estructural del pavimento flexible, el método actual del Instituto del Asfalto, considera como parámetro fundamental, dentro de la evaluación de los materiales, la obtención del Módulo de Resiliencia (M_r) de la subrasante. Sin embargo, reconocen que no todos los organismos tienen el equipo adecuado para llevar a cabo tal prueba, por lo que han establecido factores de correlación entre M_r y la prueba estándar de Valor Relativo de Soporte CBR. Señalan que los resultados son bastante aproximados; sin embargo, para un diseño preciso, se recomienda llevar a cabo la prueba del Módulo de Resiliencia para la subrasante.

Factores recomendados de correlación:

$M_r = 1500 \times \text{CBR}$ Para $\text{CBR} < 10\%$. (AASHTO) – Origen Heukelom & Klomp (1962).

$M_r = 3000 \times \text{Cbr}^{0.65}$ Para $7.2\% < \text{CBR} < 20\%$ - Origen Sudáfrica.

$M_r = 4362 \times \ln \text{CBR} + 241$ Para $\text{CBR} > 20\%$.

$M_r = 2555 \times \text{CBR}^{0.64}$ Amplia gama de valores – Origen AASHTO 2004 Design Guide.

Las ecuaciones anteriores están expresadas en unidades (psi). (DIEZ ALVARADO & NAVARRO VARGAS, 2008)

1.8.14.4.16. Coeficientes Estructurales de capa

La estructura del pavimento flexible está formada por un sistema de varias capas, por lo cual debe dimensionarse cada una de ellas considerando sus características propias. Una vez que el diseñador ha obtenido el número estructural SN para la sección estructural del pavimento, se requiere determinar una sección multicapa, que en conjunto provea una suficiente capacidad de soporte, equivalente al número estructural de diseño. Para este fin se utiliza la siguiente ecuación que permite obtener los espesores de la capa de rodamiento o carpeta, de la capa base y de la sub base:

$$\text{SN} = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3$$

Donde:

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

d_1, d_2, d_3 = espesores de las capas: superficial, base y subbase, respectivamente

m_2, m_3 = coeficientes de drenaje para las capas de base y subbase, respectivamente

Los subíndices 1,2 y 3 se refieren a las capas de carpeta asfáltica, base y sub base (si se aplica) respectivamente. Los coeficientes de capa dependen del módulo resiliente del suelo (M_R), se determinan empleando los conceptos esfuerzo-deformación de un sistema multicapa. Los coeficientes de capa usados en la pista de prueba AASHO son:

Concreto asfáltico superficial, a_1 0.40 - 0.44 pulg.⁻¹

Base de piedra chancada, a_2 0.10 - 0.14 pulg.⁻¹

Sub base de grava arenosa, a_3 0.06 - 0.10 pulg.⁻¹

(Minaya Gonzales & Ordoñez Huaman , 2006)

El coeficiente estructural de capa es una medida de capacidad realtiva de una unidad de espesor de un determinado material para funcionar como un componente estructutal del pavimento. Tres coeficientes de capa estructural (a_1, a_2, a_3) son necesarios para la superficies, base y subbase, respectivamente. Estos coeficientes fueron determinados en las pistas de pruebas de AASHO y se pueden estimar a partir de correlaciones con las propiedades del material, tal como se muestra en las siguientes figuras: (Menendez Acurio, 2016)

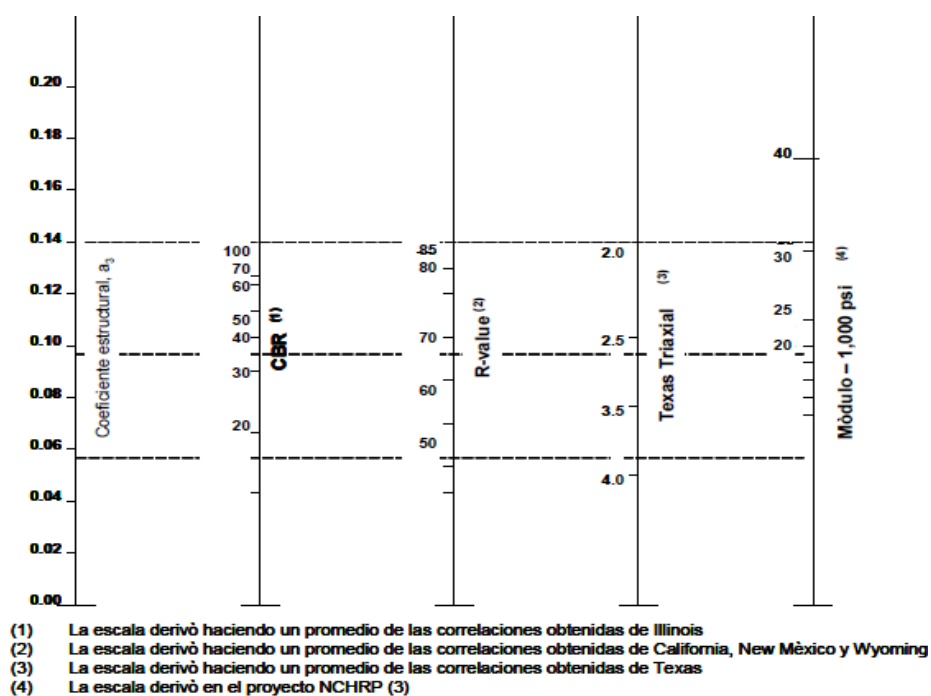


Figura 7: Variación en el coeficiente estructural de la capa de la base granular (a_2)
(Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993).

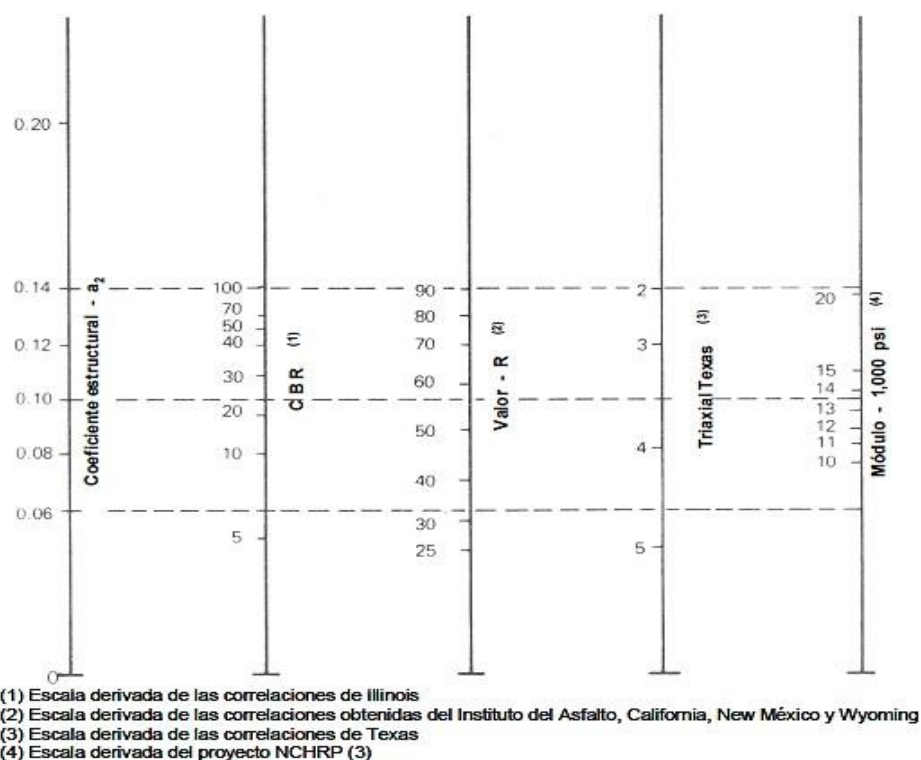


Figura 8: Variación de coeficiente de capa de sub base granular (a3)
 Fuente: Guia para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993

Tabla 25

Coeficientes estructurales de las capas del pavimento a1(MTC2014)

COMPONENTE DEL PAVIMENTO			COEFICIENTE	VALOR COEFICIENTE	OBSERVACIÓN
CAPA SUPERFICIAL					
Carpeta	Asfáltica	en	a1	0.170 / cm	Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico
Caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 oC (68 oF)					
Carpeta	Asfáltica	en Frío,	a1	0.125 / cm	Capa Superficial recomendada para Trafico $\leq 1'000,000$ EE
mezcla asfáltica con emulsión.					
Micropavimento	25mm		a1	0.130 / cm	Capa Superficial recomendada para Trafico $\leq 1'000,000$ EE
Tratamiento	Superficial		a1	0.250 (*)	Capa Superficial recomendada para Trafico $\leq 500,000$ EE.
Bicapa.					
No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8%; y, en vías con curvas					

			pronunciadas, curvas de volteo, curvas y contracurvas, y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
Lechada asfáltica (slurry seal) de 12mm.	a1	0.150 (*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 500,000$ EE No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8% y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
(*) Valor Global (no se considera el espesor)			
BASE			
Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	a2	0.052 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico $\leq 5'000,000$ EE
Base Granular CBR 100%, compactada al 100% de la MDS	a2	0.054 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico $> 5'000,000$ EE
Base Granular Tratada con Asfalto (Estabilidad Marshall = 1500 lb)	a2	0.115 / cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cemento (resistencia a la compresión 7 días = 35 kg/cm ²)	a2	0.070 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cal (resistencia a la compresión 7 días = 12 kg/cm ²)	a2	0.080 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
SUBBASE			
Sub Base Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS	a3	0.047 / cm	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico $\leq 15'000,000$ EE
Sub Base Granular CBR 60%, compactada al 100% de la MDS	a3	0.050 / cm	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico $> 15'000,000$ EE

Fuente: (Menendez Acurio, 2016). En base a datos de la Guía AASHTO'93 (MTC)

1.8.14.4.17. Servicialidad

La Servicialidad representa el confort o comodidad de circulación que la vía ofrece al usuario. Su valor está comprendido entre 5 (condición máxima ideal) y 0 (condición de completo deterioro). Inicialmente se basaba en la evaluación visual de un grupo de

calificadores (PSR). Posteriormente, se relacionó con el cambio en la pendiente, fisuras, parchados y ahuellamiento. Sin embargo, es bastante difundida la relación entre Servicialidad y rugosidad.

La pérdida de servicialidad es la diferencia de servicialidad inicial y la servicialidad final. La servicialidad inicial p_0 es la condición que alcanza la vía inmediatamente después de ser construida y depende de la calidad de construcción, las condiciones topográficas y la estructuración del pavimento. El valor típico para una p_0 nuevo pavimento es de 4.5 a 3.8; mientras que la servicialidad final (p_t) es la condición mínima que se espera alcanzar al concluir el periodo de diseño. Los valores recomendados para p_t son 3.0, 2.5D o 2.0 para autopistas, caminos intermedios y caminos secundarios, respectivamente. La pérdida de servicialidad se expresa como:

$$\Delta \text{PSI} = p_0 - p_t$$

La guía de diseño del MTC presenta una relación directa entre el tráfico y la servicialidad. Los valores indicados en dicha guía se muestran en la tabla 18, se aprecia que, a mayor cantidad de ejes equivalentes de diseño, la pérdida de servicialidad debe ser menor. (Menendez Acurio, 2016)

Tabla 26

Índice de servicialidad inicial, final y pérdida de servicialidad, según rango de tráfico (MTC, 2014)

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi)	INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL O TERMINAL (Pt)	DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD (Δ PSI)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP1	150,001	300,000	4.10	2.00	2.10
	TP2	300,001	500,000	4.10	2.00	2.10
	TP3	500,001	750,000	4.10	2.00	2.10
	TP4	750 001	1,000,000	4.10	2.00	2.10
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	4.30	2.50	1.80
	TP6	1,500,001	3,000,000	4.30	2.50	1.80
	TP7	3,000,001	5,000,000	4.30	2.50	1.80
	TP8	5,000,001	7,500,000	4.30	2.50	1.80
	TP9	7,500,001	10'000,000	4.30	2.50	1.80
	TP10	10'000,001	12'500,000	4.30	2.50	1.80
	TP11	12'500,001	15'000,000	4.30	2.50	1.80
	TP12	15'000,001	20'000,000	4.50	3.00	1.50
	TP13	20'000,001	25'000,000	4.50	3.00	1.50
	TP14	25'000,001	30'000,000	4.50	3.00	1.50
	TP15	>30'000,000		4.50	3.00	1.50

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

1.8.14.4.18. Coeficiente de drenaje

El coeficiente de drenaje es la relación que existe entre el módulo resiliente en una condición de humedad optima con respecto al módulo para una cierta condición de humedad. El valor 1.0 representa que las condiciones de drenaje son similares a las de las pistas de pruebas de AASHO, mientras que los valores por encima de 1.0 se trata de condiciones mejores que las obtenidas durante la pista de pruebas. (Menendez Acurio, 2016)

Tabla 27

Valores recomendados del Coeficiente de Drenaje mi Para Bases y Sub Bases granulares no tratadas en Pavimentos Flexibles

CALIDAD DEL DRENAJE	P=% DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTA EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD CERCANO A LA SATURACIÓN.			
	MENOR QUE 1%	1% - 5%	5% - 25%	MAYOR QUE 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 - 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Fuente: Guía de Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO – 1993

Tabla 28

Valores de la calidad de drenaje con el tiempo que tarda el agua en ser evacuada.

CALIDAD DEL DRENAJE	TIEMPO EN QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	El agua no evacua

Fuente: Guía de Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO – 1993

1.8.14.4.19. Diseño de Espesores

El numero estructural (SN) es un valor índice que combina espesores de las capas, la capa de coeficientes estructurales y los coeficientes de drenaje. El SN se calcula con la siguiente ecuación:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_0 + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Donde:

W_{18} : número estimado de ejes simples equivalentes de 8.2

toneladas Z_R : Desviación estandar normal

S_0 : error estandar combinado de la predicción del tránsito y de la predicción del comportamiento

ΔPSI : diferencia entre en índice de servicio

inicial y final M_R : módulo resiliente

SN : numero estructural (Menendez Acurio, 2016)

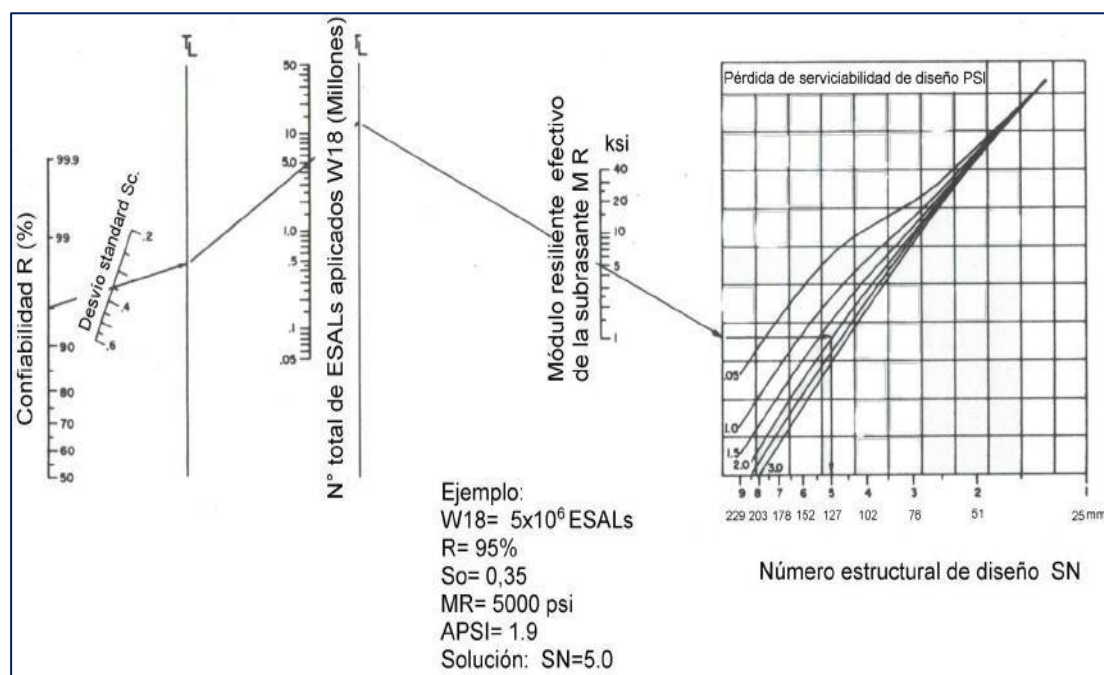


Figura 9: Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles

1.8.14.4.20. Espesores mínimos

En el cálculo de espesores, se debe tomar en cuenta que estos no pueden ser menores que los espesores mínimos recomendados por AASHTO y que son mostrados en el siguiente cuadro

Tabla 29*Espesores Mínimos (AASHTO, 1993) (pulg)*

Trafico en ESAL	Concreto Asfáltico	Base Granular
< 50,000	1 o tratamiento superficial	4
50,000 – 150,000	2	4
150,001 – 500,000	2.5	4
500,001 – 2`000,000	3	6
2`000,000 – 7`000,000	3.5	6
>7`000,000	4	6

Fuente: Ingeniería de Pavimentos. Tomo 3: Diseño de Pavimentos

Para determinar las secciones de estructuras de pavimento flexible, la guía del MTC (2014) recomienda los siguientes espesores mínimos:

Tabla 30

Valores recomendados de espesores mínimos de capa superficial y base granular (MTC,2014)

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		CAPA SUPERFICIAL	BASE GRANULAR
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P1}	150,001	300,000	TSB, ó Lechada Asfáltica (Slurry seal): 12mm, ó Micropavimento: 25mm Capeta Asfáltica en Frio: 50mm Capeta Asfáltica en Caliente: 50mm	150 mm
	T _{P2}	300,001	500,000	TSB, ó Lechada Asfáltica (Slurry seal): 12mm, ó Micropavimento: 25mm Capeta Asfáltica en Frio: 60mm Capeta Asfáltica en Caliente: 60mm	150 mm
	T _{P3}	500,001	750,000	Micropavimento: 25mm Capeta Asfáltica en Frio: 60mm Capeta Asfáltica en Caliente: 70mm	150 mm
	T _{P4}	750,001	1,000,000	Micropavimento: 25mm Capeta Asfáltica en Frio: 70mm Capeta Asfáltica en Caliente: 80mm	200 mm
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	Capeta Asfáltica en Caliente: 80mm	200 mm
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	Capeta Asfáltica en Caliente: 90mm	200 mm
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	Capeta Asfáltica en Caliente: 90mm	200 mm
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	Capeta Asfáltica en Caliente: 100mm	250 mm
	T _{P9}	7,500,001	10`000,000	Capeta Asfáltica en Caliente: 110mm	250 mm
	T _{P10}	10`000,001	12`500,000	Capeta Asfáltica en Caliente: 120mm	250 mm
	T _{P11}	12`500,001	15`000,000	Capeta Asfáltica en Caliente: 130mm	250 mm
	T _{P12}	15`000,001	20`000,000	Capeta Asfáltica en Caliente: 140mm	250 mm
	T _{P13}	20`000,001	25`000,000	Capeta Asfáltica en Caliente: 150mm	300 mm
	T _{P14}	25`000,001	30`000,000	Capeta Asfáltica en Caliente: 150mm	300 mm

Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones,2014

El espesor mínimo constructivo para capas superficiales con carpeta asfáltica en caliente es de 40mm y el espesor mínimo constructivo de las capas granulares (base y subbase) es de 150 mm.

Tabla 31

Limitaciones de tránsito y geometría vial para la aplicación de los distintos tipos de capa superficial (MTC,2014)

CAPA SUPERFICIAL	LIMITACIONES DE TRÁNSITO Y GEOMETRÍA VIAL PARA LA APLICACIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE CAPA SUPERFICIAL		
	TRÁFICO EN EE	PENDIENTE MÁXIMA	CURVATURA HORIZONTAL
Carpeta Asfáltica en Caliente	Sin Restricción	Sin Restricción	Sin Restricción
Carpeta Asfáltica en Frío, mezcla asfáltica con emulsión.	$\leq 1'000,000$ EE	Sin Restricción	Sin Restricción
Micropavimento 25mm	$\leq 1'000,000$ EE	Sin Restricción	Sin Restricción
Tratamiento Superficial Bicapa.	$\leq 500,000$ EE	No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8%	No Aplica en tramos con curvas pronunciadas, curvas de volteo, curvas y contracurvas, y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
Lechada asfáltica (slurry seal) de 12mm.	$\leq 500,000$ EE	No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8%	No Aplica en tramos que obliguen al frenado de vehículos

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014

1.8.14.4.21. Método AASHTO para Diseño de Pavimento Rígido sin refuerzo

La guía de diseño para pavimentos rígidos fue desarrollada al mismo tiempo que para los pavimentos flexibles y fue publicada en el mismo manual. El diseño está basado en ecuaciones empíricas obtenidas del ensayo de carretera de la AASHTO con algunas modificaciones posteriores basadas en teoría y experiencia.

El procedimiento de diseño descrito en la Guía AASHTO (1993) fue desarrollado en función a las conclusiones de la AASHO Road Test. La idea central era proporcionar espesor de la losa suficiente para garantizar un nivel adecuado de desempeño del pavimento en todo el diseño de la vida del pavimento.

El procedimiento de diseño es el siguiente:

- Estimar el tráfico para el periodo de diseño (W18).
- Determinar la confiabilidad R y la desviación estandar total (So).
- Establecer el módulo de reacción efectivo de la subrasante (k).

- Determinar la pérdida de servicialidad de diseño (ΔPSI).
- Obtener el espesor de la losa D (ábaco o fórmula).
- Establecer los espesores que satisfagan SN. (Menendez Acurio, 2016)

Factor de Equivalencia de Carga

Tabla 32

FEC para pavimentos rígidos, ejes simples, $P_t = 2,0$

Carga p/eje (klps)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
8	0.035	0.033	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032
10	0.087	0.084	0.082	0.081	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080
12	0.186	0.180	0.176	0.175	0.174	0.174	0.173	0.173	0.173
14	0.353	0.346	0.341	0.338	0.337	0.336	0.336	0.336	0.336
16	0.614	0.609	0.604	0.601	0.599	0.599	0.598	0.598	0.598
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.55	1.56	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59	1.59	1.59
22	2.32	2.32	2.35	2.38	2.40	2.41	2.41	2.41	2.42
24	3.37	3.34	3.40	3.47	3.51	3.53	3.54	3.55	3.55
26	4.76	4.69	4.77	4.88	4.97	5.02	5.04	5.06	5.06
28	6.48	6.44	6.52	6.70	6.85	6.94	7.00	7.02	7.04
30	8.92	8.68	8.74	8.98	9.23	9.39	9.48	9.54	9.56
32	11.9	11.5	11.5	11.8	12.2	12.4	12.6	12.7	12.7
34	15.5	15.0	14.9	15.3	15.8	16.2	16.4	16.6	16.7
36	20.1	19.3	19.2	19.5	20.1	20.7	21.1	21.4	21.5
38	25.6	24.5	24.3	24.6	25.4	26.1	26.7	27.1	27.4
40	32.2	30.8	30.4	30.7	31.6	32.6	33.4	34.0	34.4
42	40.1	38.4	37.7	38.0	38.9	40.1	41.3	42.1	42.7
44	49.4	47.3	46.4	46.6	47.6	49.0	50.4	51.6	52.7
46	60.4	57.7	56.6	56.7	57.7	59.3	61.1	62.6	63.7
48	73.2	69.9	68.4	68.4	69.4	71.2	73.3	75.3	76.8
50	88.0	84.1	82.2	82.0	83.0	84.9	87.4	89.8	91.7

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1993.

Tabla 33

FEC para pavimentos rígidos, ejes tándem, $P_t = 2,0$

Carga p/eje (klps)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
6	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
8	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
10	0.014	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
12	0.028	0.026	0.026	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
14	0.051	0.049	0.048	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047
16	0.087	0.084	0.082	0.081	0.081	0.080	0.080	0.080	0.080
18	0.141	0.136	0.133	0.132	0.131	0.131	0.131	0.131	0.131
20	0.216	0.210	0.206	0.204	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203
22	0.319	0.313	0.307	0.305	0.304	0.303	0.303	0.303	0.303
24	0.454	0.449	0.444	0.441	0.440	0.439	0.439	0.439	0.439
26	0.629	0.626	0.622	0.620	0.618	0.618	0.618	0.618	0.618
28	0.852	0.851	0.850	0.850	0.850	0.849	0.849	0.849	0.849
30	1.13	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
32	1.48	1.48	1.49	1.50	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
34	1.90	1.90	1.93	1.95	1.96	1.97	1.97	1.97	1.97
36	2.42	2.41	2.45	2.49	2.51	2.52	2.53	2.53	2.53
38	3.04	3.02	3.07	3.13	3.17	3.19	3.20	3.20	3.21
40	3.79	3.74	3.80	3.89	3.95	3.98	4.00	4.01	4.01
42	4.67	4.59	4.66	4.78	4.87	4.93	4.95	4.97	4.97
44	5.72	5.59	5.67	5.82	5.95	6.03	6.07	6.09	6.10
46	6.94	6.76	6.83	7.02	7.20	7.31	7.37	7.41	7.43
48	8.36	8.12	8.17	8.40	8.63	8.79	8.88	8.93	8.96
50	10.00	9.69	9.72	9.98	10.27	10.49	10.62	10.69	10.73
52	11.9	11.5	11.5	11.8	12.1	12.4	12.6	12.7	12.8
54	14.0	13.5	13.5	13.8	14.2	14.6	14.9	15.0	15.1
56	16.5	15.9	15.8	16.1	16.6	17.1	17.4	17.6	17.7
58	19.3	18.5	18.4	18.7	19.3	19.8	20.3	20.5	20.7
60	22.4	21.5	21.3	21.6	22.3	22.9	23.5	23.8	24.0
62	25.9	24.9	24.6	24.9	25.6	26.4	27.0	27.5	27.7
64	29.9	28.6	28.2	28.5	29.3	30.2	31.0	31.6	31.9
66	34.3	32.8	32.3	32.6	33.4	34.4	35.4	36.1	36.5
68	39.2	37.5	36.8	37.1	37.9	39.1	40.2	41.1	41.6
70	44.6	42.7	41.9	42.1	42.9	44.2	45.5	46.6	47.3
72	50.6	48.4	47.5	47.6	48.5	49.9	51.4	52.6	53.5
74	57.3	54.7	53.6	53.6	54.6	56.1	57.7	59.2	60.3
76	64.6	61.7	60.4	60.3	61.2	62.8	64.7	66.4	67.7
78	72.5	69.3	67.8	67.7	68.6	70.2	72.3	74.3	75.8
80	81.3	77.6	75.9	75.7	76.6	78.3	80.6	82.8	84.7
82	90.9	86.7	84.7	84.4	85.3	87.1	89.6	92.1	94.2
84	101.	97.	94.	94.	95.	97.	99.	102.	105.
86	113.	107.	105.	104.	105.	107.	110.	113.	116.
88	125.	119.	116.	116.	116.	118.	121.	125.	128.
90	138.	132.	129.	128.	129.	131.	134.	137.	141.

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1993.

Tabla 34

FEC para pavimentos rígidos, ejes tridem, $P_t = 2,0$

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
6	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009
8	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
10	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
12	0.010	0.010	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
14	0.018	0.017	0.017	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
16	0.030	0.029	0.028	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027
18	0.047	0.045	0.044	0.044	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043
20	0.072	0.069	0.067	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066
22	0.105	0.101	0.099	0.098	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097
24	0.149	0.144	0.141	0.139	0.139	0.138	0.138	0.138	0.138
26	0.205	0.199	0.195	0.194	0.193	0.192	0.192	0.192	0.192
28	0.276	0.270	0.265	0.263	0.262	0.262	0.262	0.262	0.261
30	0.364	0.359	0.354	0.351	0.350	0.349	0.349	0.349	0.349
32	0.472	0.468	0.463	0.460	0.459	0.458	0.458	0.458	0.458
34	0.603	0.600	0.596	0.594	0.593	0.592	0.592	0.592	0.592
36	0.759	0.758	0.757	0.756	0.755	0.755	0.755	0.755	0.755
38	0.946	0.947	0.949	0.950	0.951	0.951	0.951	0.951	0.951
40	1.17	1.17	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.19
42	1.42	1.43	1.44	1.45	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46
44	1.73	1.73	1.75	1.77	1.78	1.78	1.79	1.79	1.79
46	2.08	2.07	2.10	2.13	2.15	2.16	2.16	2.16	2.17
48	2.48	2.47	2.51	2.55	2.58	2.59	2.60	2.60	2.61
50	2.95	2.92	2.97	3.03	3.07	3.09	3.10	3.11	3.11
52	3.48	3.44	3.50	3.58	3.63	3.66	3.68	3.69	3.69
54	4.09	4.03	4.09	4.20	4.27	4.31	4.33	4.35	4.35
56	4.78	4.69	4.76	4.89	4.99	5.05	5.08	5.09	5.10
58	5.57	5.44	5.51	5.66	5.79	5.87	5.91	5.94	5.95
60	6.45	6.29	6.35	6.53	6.69	6.79	6.85	6.88	6.90
62	7.43	7.23	7.28	7.49	7.69	7.82	7.90	7.94	7.97
64	8.54	8.28	8.32	8.55	8.80	8.97	9.07	9.13	9.16
66	9.78	9.46	9.48	9.73	10.02	10.24	10.37	10.44	10.48
68	11.1	10.8	10.8	11.0	11.4	11.6	11.8	11.9	12.0
70	12.6	12.2	12.2	12.5	12.8	13.2	13.4	13.5	13.6
72	14.3	13.8	13.7	14.0	14.5	14.9	15.1	15.3	15.4
74	16.1	15.5	15.4	15.7	16.2	16.7	17.0	17.2	17.3
76	18.2	17.5	17.3	17.6	18.2	18.7	19.1	19.3	19.5
78	20.4	19.6	19.4	19.7	20.3	20.9	21.4	21.7	21.8
80	22.8	21.9	21.6	21.9	22.6	23.3	23.8	24.2	24.4
82	25.4	24.4	24.1	24.4	25.0	25.8	26.5	26.9	27.2
84	28.3	27.1	26.7	27.0	27.7	28.6	29.4	29.9	30.2
86	31.4	30.1	29.6	29.9	30.7	31.6	32.5	33.1	33.5
88	34.8	33.3	32.8	33.0	33.8	34.8	35.8	36.6	37.1
90	38.5	36.8	36.2	36.4	37.2	38.3	39.4	40.3	40.9

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1993.

Tabla 35

FEC para pavimentos rígidos, ejes simples, $P_t = 2,5$

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.012	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
8	0.039	0.035	0.033	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032
10	0.097	0.089	0.084	0.082	0.081	0.080	0.080	0.080	0.080
12	0.203	0.189	0.181	0.178	0.175	0.174	0.174	0.173	0.173
14	0.378	0.360	0.347	0.341	0.338	0.337	0.336	0.336	0.336
16	0.634	0.623	0.610	0.604	0.601	0.599	0.599	0.599	0.598
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.51	1.52	1.55	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59	1.59
22	2.21	2.20	2.28	2.34	2.38	2.40	2.41	2.41	2.41
24	3.16	3.10	3.22	3.36	3.45	3.50	3.53	3.54	3.55
26	4.41	4.26	4.42	4.67	4.85	4.95	5.01	5.04	5.05
28	6.05	5.78	5.92	6.29	6.61	6.81	6.92	6.98	7.01
30	8.16	7.67	7.79	8.28	8.79	9.14	9.35	9.46	9.52
32	10.8	10.1	10.1	10.7	11.4	12.0	12.3	12.6	12.7
34	14.1	13.0	12.9	13.6	14.6	15.4	16.0	16.4	16.5
36	18.2	16.7	16.4	17.1	18.3	19.5	20.4	21.0	21.3
38	23.1	21.1	20.6	21.3	22.7	24.3	25.6	26.4	27.0
40	29.1	26.5	25.7	26.3	27.9	29.9	31.6	32.9	33.7
42	36.2	32.9	31.7	32.2	34.0	36.3	38.7	40.4	41.6
44	44.6	40.4	38.8	39.2	41.0	43.8	46.7	49.1	50.8
46	54.5	49.3	47.1	47.3	49.2	52.3	55.9	59.0	61.4
48	66.1	59.7	56.9	56.8	58.7	62.1	66.3	70.3	73.4
50	79.4	71.7	68.2	67.8	69.6	73.3	78.1	83.0	87.1

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1993.

Tabla 36

FEC para pavimentos rígidos, ejes tándem, $P_t = 2,5$

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
6	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
8	0.007	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
10	0.015	0.014	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
12	0.031	0.028	0.028	0.028	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
14	0.057	0.052	0.049	0.048	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047
16	0.097	0.089	0.084	0.082	0.081	0.081	0.080	0.080	0.080
18	0.155	0.143	0.136	0.133	0.132	0.131	0.131	0.131	0.131
20	0.234	0.220	0.211	0.208	0.204	0.203	0.203	0.203	0.203
22	0.340	0.325	0.313	0.308	0.305	0.304	0.303	0.303	0.303
24	0.475	0.462	0.450	0.444	0.441	0.440	0.439	0.439	0.439
26	0.644	0.637	0.627	0.622	0.620	0.619	0.618	0.618	0.618
28	0.855	0.854	0.852	0.850	0.850	0.850	0.849	0.849	0.849
30	1.11	1.12	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
32	1.43	1.44	1.47	1.49	1.50	1.51	1.51	1.51	1.51
34	1.82	1.82	1.87	1.92	1.95	1.96	1.97	1.97	1.97
36	2.29	2.27	2.35	2.43	2.48	2.51	2.52	2.52	2.53
38	2.85	2.80	2.91	3.03	3.12	3.16	3.18	3.20	3.20
40	3.52	3.42	3.55	3.74	3.87	3.94	3.98	4.00	4.01
42	4.32	4.16	4.30	4.55	4.74	4.86	4.91	4.95	4.96
44	5.26	5.01	5.16	5.48	5.75	5.92	6.01	6.06	6.09
46	6.36	6.01	6.14	6.53	6.90	7.14	7.28	7.36	7.40
48	7.64	7.16	7.27	7.73	8.21	8.55	8.75	8.86	8.92
50	9.11	8.50	8.55	9.07	9.68	10.14	10.42	10.58	10.66
52	10.8	10.0	10.0	10.6	11.3	11.9	12.3	12.5	12.7
54	12.8	11.8	11.7	12.3	13.2	13.9	14.5	14.8	14.9
56	15.0	13.8	13.6	14.2	15.2	16.2	16.8	17.3	17.5
58	17.5	16.0	15.7	16.3	17.5	18.6	19.5	20.1	20.4
60	20.3	18.5	18.1	18.7	20.0	21.4	22.5	23.2	23.6
62	23.5	21.4	20.8	21.4	22.8	24.4	25.7	26.7	27.3
64	27.0	24.6	23.8	24.4	25.8	27.7	29.3	30.5	31.3
66	31.0	28.1	27.1	27.6	29.2	31.3	33.2	34.7	35.7
68	35.4	32.1	30.9	31.3	32.9	35.2	37.5	39.3	40.5
70	40.3	36.5	35.0	35.3	37.0	39.5	42.1	44.3	45.9
72	45.7	41.4	39.6	39.8	41.5	44.2	47.2	49.8	51.7
74	51.7	46.7	44.6	44.7	46.4	49.3	52.7	55.7	58.0
76	58.3	52.6	50.2	50.1	51.8	54.9	58.6	62.1	64.8
78	65.5	59.1	56.3	56.1	57.7	60.9	65.0	69.0	72.3
80	73.4	66.2	62.9	62.5	64.2	67.5	71.9	76.4	80.2
82	82.0	73.9	70.2	69.6	71.2	74.7	79.4	84.4	88.8
84	91.4	82.4	78.1	77.3	78.9	82.4	87.4	93.0	98.1
86	102.	92.	87.	86.	87.	91.	96.	102.	108.
88	113.	102.	96.	95.	96.	100.	105.	112.	119.
90	125.	112.	106.	105.	106.	110.	115.	123.	130.

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1993.

Tabla 37

FEC para pavimentos rígidos, ejes tridem, $P_t = 2,5$

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
10	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
12	0.011	0.010	0.010	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
14	0.020	0.018	0.017	0.017	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
16	0.033	0.030	0.029	0.028	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027
18	0.053	0.048	0.045	0.044	0.044	0.043	0.043	0.043	0.043
20	0.080	0.073	0.069	0.067	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066
22	0.116	0.107	0.101	0.099	0.098	0.097	0.097	0.097	0.097
24	0.163	0.151	0.144	0.141	0.139	0.139	0.138	0.138	0.138
26	0.222	0.209	0.200	0.195	0.194	0.193	0.192	0.192	0.192
28	0.295	0.281	0.271	0.265	0.263	0.262	0.262	0.262	0.262
30	0.384	0.371	0.359	0.354	0.351	0.350	0.349	0.349	0.349
32	0.490	0.480	0.468	0.463	0.460	0.459	0.458	0.458	0.458
34	0.616	0.609	0.601	0.596	0.594	0.593	0.592	0.592	0.592
36	0.765	0.762	0.759	0.757	0.756	0.755	0.755	0.755	0.755
38	0.939	0.941	0.946	0.948	0.950	0.951	0.951	0.951	0.951
40	1.14	1.15	1.16	1.17	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18
42	1.38	1.38	1.41	1.44	1.45	1.46	1.46	1.46	1.46
44	1.65	1.65	1.70	1.74	1.77	1.78	1.78	1.78	1.79
46	1.97	1.96	2.03	2.09	2.13	2.15	2.16	2.16	2.16
48	2.34	2.31	2.40	2.49	2.55	2.58	2.59	2.60	2.60
50	2.76	2.71	2.81	2.94	3.02	3.07	3.09	3.10	3.11
52	3.24	3.15	3.27	3.44	3.56	3.62	3.66	3.68	3.68
54	3.79	3.66	3.79	4.00	4.16	4.26	4.30	4.33	4.34
56	4.41	4.23	4.37	4.63	4.84	4.97	5.03	5.07	5.09
58	5.12	4.87	5.00	5.32	5.59	5.76	5.85	5.90	5.93
60	5.91	5.59	5.71	6.08	6.42	6.64	6.77	6.84	6.87
62	6.80	6.39	6.50	6.91	7.33	7.62	7.79	7.88	7.93
64	7.79	7.29	7.37	7.82	8.33	8.70	8.92	9.04	9.11
66	8.90	8.28	8.33	8.83	9.42	9.88	10.17	10.33	10.42
68	10.1	9.4	9.4	9.9	10.6	11.2	11.5	11.7	11.9
70	11.5	10.6	10.6	11.1	11.9	12.6	13.0	13.3	13.5
72	13.0	12.0	11.8	12.4	13.3	14.1	14.7	15.0	15.2
74	14.6	13.5	13.2	13.8	14.8	15.8	16.5	16.9	17.1
76	16.5	15.1	14.8	15.4	16.5	17.6	18.4	18.9	19.2
78	18.5	16.9	16.5	17.1	18.2	19.5	20.5	21.1	21.5
80	20.6	18.8	18.3	18.9	20.2	21.6	22.7	23.5	24.0
82	23.0	21.0	20.3	20.9	22.2	23.8	25.2	26.1	26.7
84	25.6	23.3	22.5	23.1	24.5	26.2	27.8	28.9	29.6
86	28.4	25.8	24.9	25.4	26.9	28.8	30.5	31.9	32.8
88	31.5	28.6	27.5	27.9	29.4	31.5	33.5	35.1	36.1
90	34.8	31.5	30.7	30.7	32.2	34.4	36.7	38.5	39.8

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1993

Tabla 38

FEC para pavimentos rígidos, ejes simples, $P_t = 3,0$

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.014	0.012	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
8	0.045	0.038	0.034	0.033	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032
10	0.111	0.095	0.087	0.083	0.081	0.081	0.080	0.080	0.080
12	0.228	0.202	0.188	0.179	0.178	0.174	0.174	0.174	0.173
14	0.408	0.378	0.355	0.344	0.340	0.337	0.337	0.337	0.337
16	0.660	0.640	0.619	0.608	0.603	0.600	0.599	0.599	0.599
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.46	1.47	1.52	1.55	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59
22	2.07	2.06	2.18	2.29	2.35	2.38	2.40	2.41	2.41
24	2.90	2.81	3.00	3.23	3.38	3.47	3.51	3.53	3.54
26	4.00	3.77	4.01	4.40	4.70	4.87	4.96	5.01	5.04
28	5.43	4.99	5.23	5.80	6.31	6.65	6.83	6.93	6.98
30	7.27	6.53	6.72	7.46	8.25	8.83	9.17	9.36	9.46
32	9.59	8.47	8.53	9.42	10.54	11.44	12.03	12.37	12.56
34	12.5	10.9	10.7	11.7	13.2	14.5	15.5	16.0	16.4
36	16.0	13.8	13.4	14.4	16.2	18.1	19.5	20.4	21.0
38	20.4	17.4	16.7	17.7	19.8	22.2	24.2	25.6	26.4
40	25.6	21.8	20.6	21.5	23.8	26.8	29.5	31.5	32.9
42	31.8	26.9	25.3	26.0	28.5	32.0	35.5	38.4	40.3
44	39.2	33.1	30.8	31.3	33.9	37.9	42.3	46.1	48.8
46	47.8	40.3	37.2	37.5	40.1	44.5	49.8	54.7	58.5
48	57.9	48.6	44.8	44.7	47.3	52.1	58.2	64.3	69.4
50	69.6	58.4	53.6	53.1	55.6	60.6	67.6	75.0	81.4

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1993

Tabla 39

FEC para pavimentos rígidos, ejes tándem, $P_t = 3,0$

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0007	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
6	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
8	0.008	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
10	0.018	0.015	0.013	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012	0.012
12	0.036	0.030	0.027	0.026	0.026	0.025	0.025	0.025	0.025
14	0.066	0.056	0.050	0.048	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047
16	0.111	0.095	0.087	0.083	0.081	0.081	0.081	0.081	0.080
18	0.174	0.153	0.140	0.135	0.132	0.131	0.131	0.131	0.131
20	0.260	0.234	0.217	0.209	0.205	0.204	0.203	0.203	0.203
22	0.368	0.341	0.321	0.311	0.307	0.305	0.304	0.303	0.303
24	0.502	0.479	0.458	0.447	0.443	0.440	0.440	0.439	0.439
26	0.664	0.651	0.634	0.625	0.621	0.619	0.618	0.618	0.618
28	0.859	0.857	0.853	0.851	0.850	0.850	0.850	0.849	0.849
30	1.09	1.10	1.12	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
32	1.38	1.38	1.44	1.47	1.49	1.50	1.51	1.51	1.51
34	1.72	1.71	1.80	1.88	1.93	1.95	1.96	1.97	1.97
36	2.13	2.10	2.23	2.36	2.45	2.49	2.51	2.52	2.52
38	2.62	2.54	2.71	2.92	3.06	3.13	3.17	3.19	3.20
40	3.21	3.05	3.26	3.55	3.76	3.89	3.95	3.98	4.00
42	3.90	3.65	3.87	4.26	4.58	4.77	4.87	4.92	4.95
44	4.72	4.35	4.57	5.06	5.50	5.78	5.94	6.02	6.06
46	5.68	5.16	5.36	5.95	6.54	6.94	7.17	7.29	7.36
48	6.80	6.10	6.25	6.93	7.69	8.24	8.57	8.76	8.86
50	8.09	7.17	7.26	8.03	8.96	9.70	10.17	10.43	10.58
52	9.57	8.41	8.40	9.24	10.36	11.32	11.96	12.33	12.54
54	11.3	9.8	9.7	10.6	11.9	13.1	14.0	14.5	14.8
56	13.2	11.4	11.2	12.1	13.6	15.1	16.2	16.9	17.3
58	15.4	13.2	12.8	13.7	15.4	17.2	18.6	19.5	20.1
60	17.9	15.3	14.7	15.6	17.4	19.5	21.3	22.5	23.2
62	20.6	17.6	16.8	17.6	19.6	22.0	24.1	25.7	26.6
64	23.7	20.2	19.1	19.9	22.0	24.7	27.3	29.2	30.4
66	27.2	23.1	21.7	22.4	24.6	27.6	30.6	33.0	34.6
68	31.1	26.3	24.6	25.2	27.4	30.8	34.3	37.1	39.2
70	35.4	29.8	27.8	28.2	30.6	34.2	38.2	41.6	44.1
72	40.1	33.8	31.3	31.6	34.0	37.9	42.3	46.4	49.4
74	45.3	38.1	35.2	35.4	37.7	41.8	46.8	51.5	55.2
76	51.1	42.9	39.5	39.5	41.8	46.1	51.5	56.9	61.3
78	57.4	48.2	44.3	44.0	46.3	50.7	56.5	62.7	67.9
80	64.3	53.9	49.4	48.9	51.1	55.8	62.1	68.9	74.9
82	71.8	60.2	55.1	54.3	56.5	61.2	67.9	75.5	82.4
84	80.0	67.0	61.2	60.2	62.2	67.0	74.2	82.4	90.3
86	89.0	74.5	67.9	66.5	68.5	73.4	80.8	89.8	98.7
88	98.7	82.5	75.2	73.5	75.3	80.2	88.0	97.7	107.5
90	109.	91.	83.	81.	83.	88.	96.	106.	117.

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1993

Tabla 40

FEC para pavimentos rígidos, ejes tridem, $P_t = 3,0$

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
10	0.007	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
12	0.013	0.011	0.010	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
14	0.023	0.02	0.018	0.017	0.017	0.016	0.016	0.016	0.016
16	0.039	0.033	0.030	0.028	0.028	0.027	0.027	0.027	0.027
18	0.061	0.052	0.047	0.045	0.044	0.044	0.043	0.043	0.043
20	0.091	0.078	0.071	0.068	0.067	0.066	0.066	0.066	0.066
22	0.132	0.114	0.104	0.100	0.098	0.097	0.097	0.097	0.097
24	0.183	0.161	0.148	0.143	0.140	0.139	0.139	0.138	0.138
26	0.246	0.221	0.205	0.198	0.195	0.193	0.193	0.192	0.192
28	0.322	0.296	0.277	0.268	0.265	0.263	0.262	0.262	0.262
30	0.411	0.387	0.367	0.357	0.353	0.351	0.350	0.349	0.349
32	0.515	0.495	0.476	0.466	0.462	0.460	0.459	0.458	0.458
34	0.634	0.622	0.607	0.599	0.595	0.594	0.593	0.592	0.592
36	0.772	0.768	0.762	0.759	0.756	0.756	0.755	0.755	0.755
38	0.930	0.934	0.942	0.947	0.949	0.950	0.951	0.951	0.951
40	1.11	1.12	1.15	1.17	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18
42	1.32	1.33	1.38	1.42	1.44	1.45	1.46	1.46	1.46
44	1.56	1.56	1.64	1.71	1.75	1.77	1.78	1.78	1.78
46	1.84	1.83	1.94	2.04	2.10	2.14	2.15	2.16	2.16
48	2.16	2.12	2.26	2.41	2.51	2.56	2.58	2.59	2.60
50	2.53	2.45	2.61	2.82	2.96	3.03	3.07	3.09	3.10
52	2.95	2.82	3.01	3.27	3.47	3.58	3.63	3.66	3.68
54	3.43	3.23	3.43	3.77	4.03	4.18	4.27	4.31	4.33
56	3.98	3.70	3.90	4.31	4.65	4.86	4.98	5.04	5.07
58	4.59	4.22	4.42	4.90	5.34	5.62	5.78	5.86	5.90
60	5.28	4.80	4.99	5.54	6.08	6.45	6.66	6.78	6.84
62	6.06	5.45	5.61	6.23	6.89	7.36	7.64	7.80	7.88
64	6.92	6.18	6.29	6.98	7.76	8.36	8.72	8.93	9.04
66	7.89	6.98	7.05	7.78	8.70	9.44	9.91	10.18	10.33
68	8.96	7.88	7.87	8.66	9.71	10.61	11.20	11.55	11.75
70	10.2	8.9	8.8	9.6	10.8	11.9	12.6	13.1	13.3
72	11.5	10.0	9.8	10.6	12.0	13.2	14.1	14.7	15.0
74	12.9	11.2	10.9	11.7	13.2	14.7	15.8	16.5	16.9
76	14.5	12.5	12.1	12.9	14.5	16.2	17.5	18.4	18.9
78	16.2	13.9	13.4	14.2	15.9	17.8	19.4	20.5	21.1
80	18.2	15.5	14.8	15.6	17.4	19.6	21.4	22.7	23.5
82	20.2	17.2	16.4	17.2	19.1	21.4	23.5	25.1	26.1
84	22.5	19.1	18.1	18.8	20.8	23.4	25.8	27.6	28.8
86	25.0	21.2	19.9	20.6	22.6	25.5	28.2	30.4	31.8
88	27.6	23.4	21.9	22.5	24.6	27.7	30.7	33.2	35.0
90	30.5	25.8	24.1	24.6	26.8	30.0	33.4	36.3	38.3

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1993

Periodo de Diseño

El periodo de diseño se fija en función de las expectativas y requerimientos de la institución o agencia, sin embargo, en el caso de los pavimentos rígidos se debe tomar en cuenta que el periodo de diseño debe ser lo mayor posible a fin de que la alternativa sea viable económicamente. El Manual MTC (2014) establece que este debe ser como mínimo 20 años. (Menendez Acurio, 2016).

Confiabilidad y Variabilidad

La Guía AASHTO incorpora en el diseño un factor de confiabilidad $R\%$ para tener en cuenta la incertidumbre en la predicción del tráfico y el desempeño del pavimento. $R\%$ indica la probabilidad de que el pavimento diseñado tendrá un nivel de desempeño más alto que el nivel de servicialidad final al concluir el periodo de diseño.

Los rangos de $R\%$ sugeridos por la AASHTO son 85 a 99.9%, del 80 al 99%, 80 a 95% y de 50 a 80%, respectivamente, por las carreteras interestatales urbanas, arterias principales, colectores y carreteras locales.

La variabilidad es expresada en función de la desviación estandar global, S_o ; para pavimento rígido es de 0.35 a 0.40 y se suele emplear el valor de 0.35. de acuerdo al método AASHTO, corresponden 0.25 al error en la ecuación de diseño y 0.10 al error en el trafico haciendo un total de 0.35. (Menendez Acurio, 2016)

Servicialidad

Este parámetro representa el grado de confort que la vía tiene y la escala varia de 0 a 5. En la ecuación de diseño se representa a través de dos valores: índice de servicio inicial (p_0) e índice de servicio final o terminal (p_t). En la ecuación se ingresa la diferencia entre los valores de servicialidad inicial y final, determinándose una variación una variación o diferencial entre ambos índices (ΔPSI).

El valor ΔPSI depende de la calidad de la construcción. En el AASHO Road Test se alcanzó el valor de $P_i = 4.5$ para el caso de pavimentos de concreto. Los valores recomendados en por el Manual de Carreteras (2014) son los siguientes: (Menendez Acurio, 2016)

1.8.14.4.22. Propiedades del concreto Resistencia a flexo tracción del concreto (MR)

Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es que se introduce este parámetro en la ecuación AASHTO 93. El módulo de rotura (MR) esta normalizado por ASTM C – 78.

Para pavimentos los valores varían según los valores de la Tabla 34. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

Tabla 41

Valores Recomendados de Resistencia del Concreto segun rango de Trafico

RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RESISTENCIA MÍNIMA A LA FLEXOTRACCIÓN DEL CONCRETO (MR)	RESISTENCIA MÍNIMA EQUIVALENTE A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO (F'C)
≤ 5'000,000 EE	40 kg/cm ²	280 kg/cm ²
> 5'000,000 EE ≤ 15'000,000 EE	42 kg/cm ²	300 kg/cm ²
> 15'000,000 EE	45 kg/cm ²	350 kg/cm ²

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

Tabla 42

Valores de Modulo de Rotura recomendados

Tipo de Pavimento	Mr recomendado	
	Kg/cm ²	psi
Autopistas	48	682.7
Carreteras	48	682.7
Zonas Industriales	45	640.1
Urbanas Principales	45	640.1
Urbanas Secundarias	42	597.4

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.

Módulo elástico del concreto

El módulo de elasticidad del concreto es un parámetro particularmente importante para el dimensionamiento de estructuras de concreto armado. La predicción del mismo se puede efectuar a partir de la resistencia a compresión o flexo tracción, a través de correlaciones establecidas.

En el caso de concretos de alto desempeño, resistencia a compresión superior a 40 Mpa, la estimación utilizando las fórmulas propuestas por distintos códigos puede ser incierta puesto que existen variables que no han sido contempladas, lo que las hace objeto de continuo estudio y ajuste. AASHTO'93 indica que el módulo elástico puede ser estimado usando una correlación, precisando la correlación recomendada por el ACI: (Ministerio de Transportes

y Comunicaciones, 2014)

$$E = 57000x(fc)^{0.5}; (fc \text{ en PSI})$$

Tabla 43

Correlación entre la resistencia a la compresión y el Módulo de Elasticidad Ec

Tipo de agregado y origen	Módulo de Elasticidad Ec, Mpa	Módulo de Elasticidad Ec, Kg/cm ²
Grueso – Ígneo	$E_c = 5,500 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 17,000 \times (f_c)^{1/2}$
Grueso - Metamórfico	$E_c = 4,700 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 15,000 \times (f_c)^{1/2}$
Grueso – Sedimentario	$E_c = 3,600 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 11,500 \times (f_c)^{1/2}$
Sin Información	$E_c = 3,900 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 12,500 \times (f_c)^{1/2}$

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.

Coefficiente de drenaje

El coeficiente de drenaje Cd varía entre 0.70 y 1.25, según las condiciones antes mencionadas. Un Cd alto implica un buen drenaje y esto favorece a la estructura, reduciendo el espesor de concreto a calcular. Para la definición de las secciones de estructuras de pavimento, el coeficiente de drenaje para las capas granulares asumido, fue de 1.00. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

Módulo de Reacción Efectivo de la Subrasante (K)

El parámetro que caracteriza al tipo de subrasante es el módulo de reacción de la subrasante (K). Adicionalmente se contempla una mejora en el nivel de soporte de la subrasante con la colocación de capas intermedias granulares o tratadas, efecto que mejora las condiciones de apoyo y puede llegar a reducir el espesor calculado de concreto. Esta mejora se introduce con el módulo de reacción combinado (Kc). Las unidades de K son Mpa /m o Psi; para el efecto se presenta las siguientes fórmulas:

Si CBR ≤ 10%, entonces: $K = 2.55 + 52.5 \text{ LOG}$

(CBR) Si CBR > 10, entonces: $K = 46 + 9.08 (\text{LOG}$

(CBR))^{4.34}

Módulo de reacción compuesto de la subrasante:

$$K_c = \left[1 + \left(\frac{h}{38} \right)^2 \times \left(\frac{K_1}{K_0} \right)^{2.3} \right]^{0.5} \times K_0$$

Donde:

K_c = Módulo de reacción combinado o equivalente

(Kg/cm³). h = Espesor de la capa granular en cm.

K_1 = Módulo de reacción del relleno estructural - capa granular

(Kg/cm³). K_0 = Módulo de reacción del terreno natural (Kg/cm³).

f_m = Factor de mejoramiento. (Rebaza Castrejon, 2018)

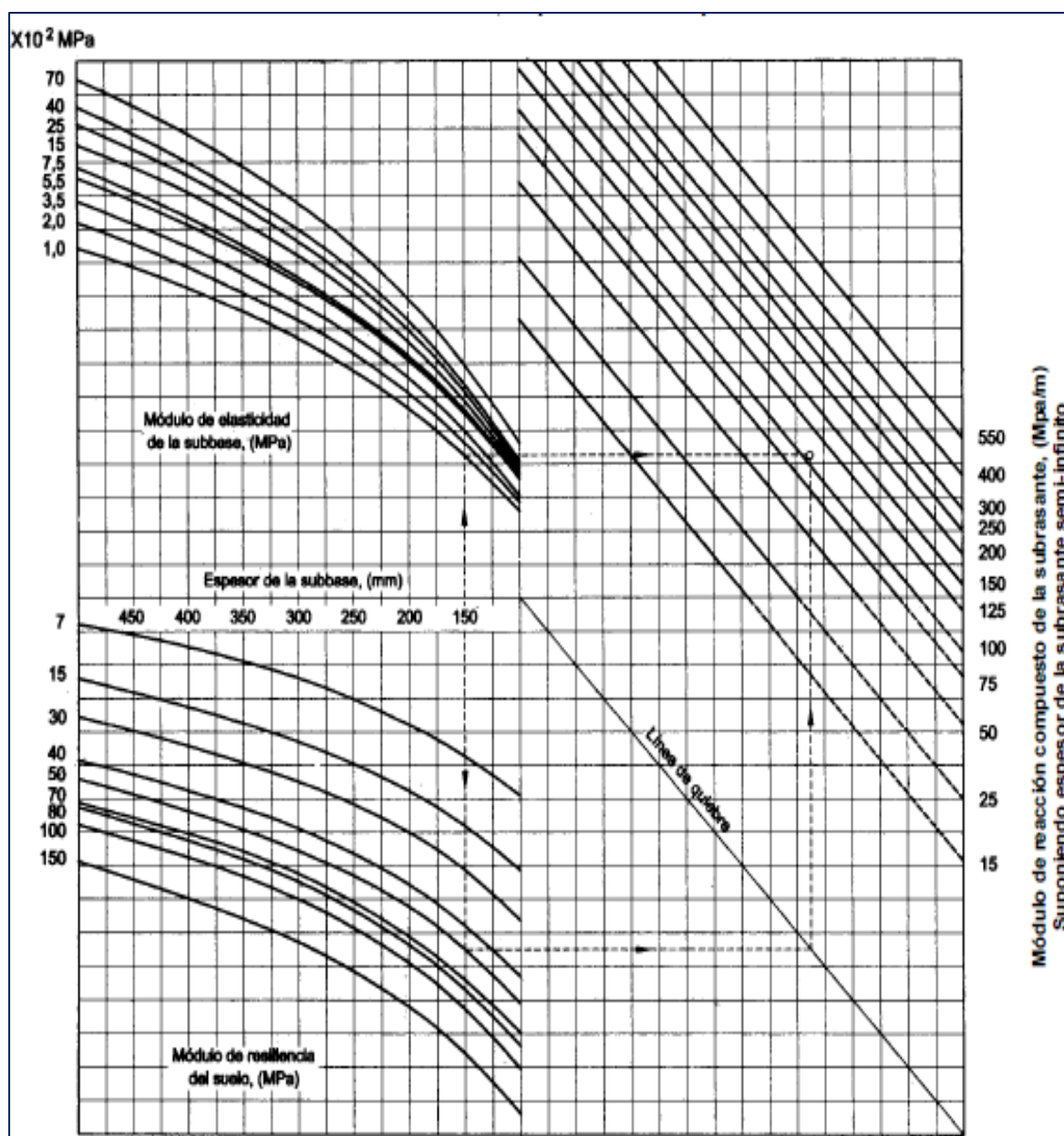


Figura 10: Nomograma para determinar el módulo de reacción compuesto de la subrasante, suponiendo una profundidad infinita. (Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993).

Transferencia de cargas (J)

Es un parámetro empleado para el diseño de pavimentos de concreto que expresa la capacidad de la estructura como transmisora de cargas entre juntas y fisuras. Sus valores dependen del tipo de pavimento de concreto a construir, la existencia o no de berma lateral y su tipo, la existencia o no de dispositivos de transmisión de cargas.

El valor de J es directamente proporcional al valor final del espesor de losa de concreto. Es decir, a menor valor de J, menor espesor de concreto.

Tabla 44

Valores de Coeficiente de Transmisión de Carga J

TIPO DE BERMA	J			
	GRANULAR O ASFÁLTICA		CONCRETO HIDRÁULICO	
VALORES J	SI (con pasadores)	NO (con pasadores)	SI (con pasadores)	NO (con pasadores)
	3.2	3.8 – 4.4	2.8	3.8

Fuente: Manual de Carreteras (2014)

Espesor de losa requerido

El espesor de losa que se requiere se obtiene utilizando el nomograma siguiente o la ecuación correspondiente.

$$\log_{10} (E18) = Z_r \times S_o + 7.35 \times \log_{10} (D+1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta \text{PSI}}{4.5-1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 \times \text{pt}) \times \log_{10} \left[\frac{S'_c \times C_d \times (D^{-0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \left[D^{3.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}} \right]} \right]$$

Diagrama de nomograma con etiquetas:

- Desviación Estándar Normal** (punta a Z_r)
- Error Estándar Combinado** (punta a S_o)
- Espesor** (punta a D)
- Diferencia de Serviciabilidad** (punta a ΔPSI)
- Serviciabilidad Final** (punta a pt)
- Módulo de Ruptura** (punta a S'_c)
- Coeficiente de Drenaje** (punta a C_d)
- Coeficiente de Transferencia de Carga** (punta a J)
- Módulo de Elasticidad** (punta a E_c)
- Módulo de Reacción** (punta a k)
- Tráfico** (punta a $E18$)

Donde:

W18 = Número previsto de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas a lo largo del período de diseño.

Z_r = Desviación normal estándar.

S_o = Error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento.

D = Espesor de pavimento de concreto, en milímetros.

PSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y

final. P_t = Índice de serviciabilidad o servicio final.

M_r = Resistencia media del concreto (en Mpa) a flexo tracción a los 28 días (método de carga en los tercios de la luz).

C_d = Coeficiente de drenaje.

J = Coeficiente de transmisión de cargas en las juntas. E_c = Módulo de elasticidad del concreto, en Mpa.

K = Módulo de reacción, dado en Mpa/m de la superficie (base, subbase o subrasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

A continuación, se presenta el nomograma que también puede ser empleado para la determinación del espesor de la losa:

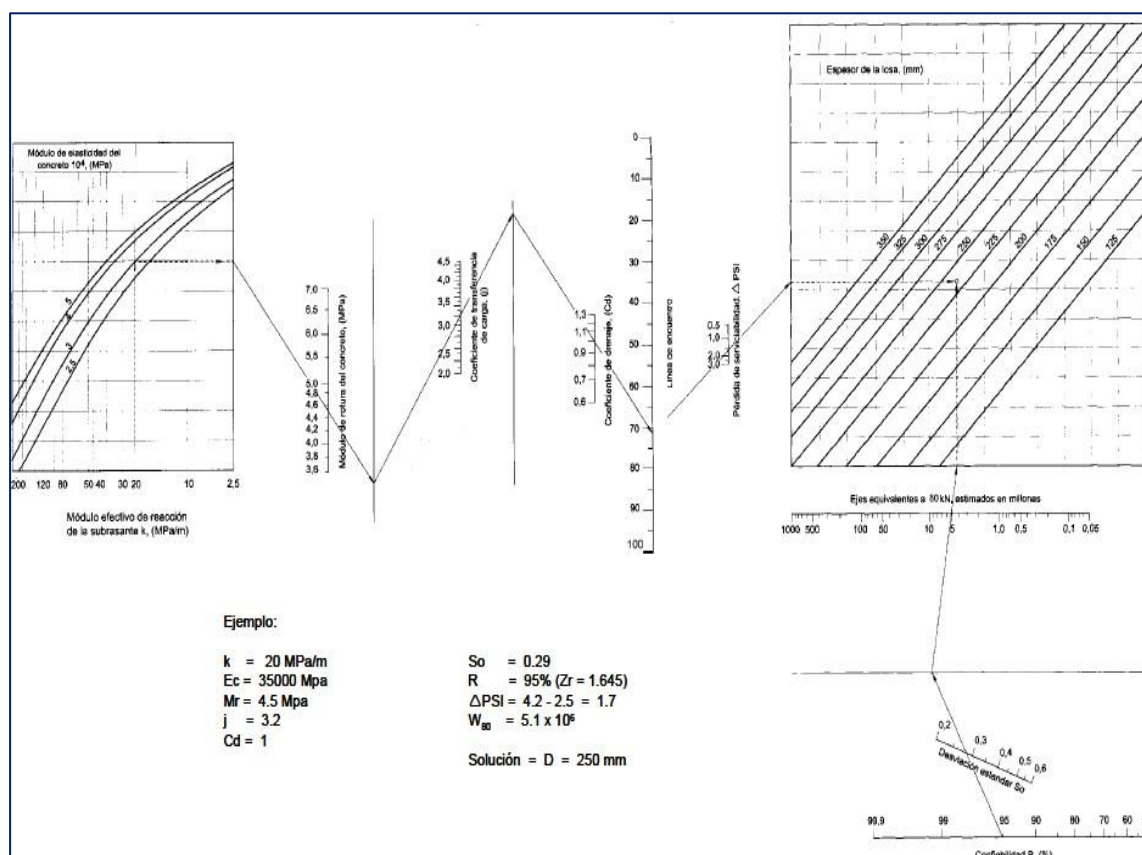


Figura 11: Nomograma AASHTO. Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993

Juntas Longitudinales y Transversales

Las juntas tienen las siguientes funciones:

- Controlar el agrietamiento transversal y longitudinal
- Dividir el pavimento en secciones adecuadas para el proceso constructivo y acordes con las direcciones de tránsito
- Permitir el movimiento y alabeo de las losas
- Proveer la caja para el material de sello
- Permitir la transferencia de carga entre las losas

Los diferentes tipos de juntas pueden agruparse en:

- Juntas longitudinales
- Juntas transversales

Las juntas longitudinales son las que delimitan los carriles que serán por donde transitarán los vehículos.

Las juntas transversales están dispuestas en sentido perpendicular a las longitudinales. El tamaño de las losas determina en cierta forma la disposición de las juntas transversales y las juntas longitudinales. La longitud de la losa no debe ser mayor a 1.25 veces el ancho y que no sea mayor a 4.50 m. En zonas de altura mayores a 3000 msnm se recomienda que las losas sean cuadradas o en todo caso, losas cortas conservando el espesor definido según AASHTO y el Manual. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

Tabla 45

Dimensiones de Losa

ANCHO DE CARRIL (M) = ANCHO DE LOSA (M)	LONGITUD DE LOSA (M)
2.70	3.30
3.00	3.70
3.30	4.10
3.60	4.50

Fuente: Manual de Carreteras, 2014.

Tabla 46

Espaciamiento de Juntas Recomendado para Pavimentos de Concreto Simple

Espesor de Pavimento mm (in.)	Espaciamiento de Juntas* m
125 (5)	3,00 – 3,80
150 (6)	3,70 – 4,60
175 (7)	4,30 – 4,60
200 (8) o más	4,60

Fuente: Norma Técnica CE. 010 Pavimentos Urbanos

1.9. Definición de Términos

Básicos Investigación geotécnica

El propósito del programa de investigación geotécnica del subsuelo para el diseño del pavimento y la construcción es conocer las condiciones de la subrasante a lo largo de la alineación de la vía y obtener los parámetros de diseño de la subrasante. La investigación puede llevarse a cabo a través de una variedad de técnicas, que pueden variar de acuerdo con la geología, el método de diseño que será empleado, las exigencias de diseño, tipo de proyecto y la experiencia local. La investigación del subsuelo para cualquier proyecto de pavimento debe ser lo suficientemente detallada para definir la profundidad, el espesor y la extensión de los suelos y rocas que afectaran a la construcción y funcionamiento a largo plazo de la estructura del pavimento. (Menendez Acurio, 2016)

Información relativa al terreno

Previamente a la ejecución del EMS y al subsiguiente DP, se requiere conocer la ubicación y la topografía del terreno para lo que el Propietario debe proporcionar al PR un plano topográfico mostrando los linderos, obras existentes, ubicación de las vías a pavimentar, límites de obras de pavimentación vecinas, tipo y estado de los pavimentos existentes, disposición de acequias, postes, buzones, drenajes y toda obra que interfiera con las pistas, veredas y estacionamientos del Proyecto. Asimismo, se requiere contar con los planos de planta y perfil donde se indique el perfil del terreno y el perfil longitudinal a nivel de rasante. También deberá proporcionar la historia del lugar, respecto de zonas bajas rellenas con desmontes, presencia de estructuras enterradas, antiguas acumulaciones o cursos de agua, tierras de cultivo, etc. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2010)

Estudios de mecánica de suelos

EL Estudio de Mecánica de Suelos consiste en la realización de prospecciones correspondientes a calicatas y sondajes de exploración, que en términos coloquiales, para el caso de las calicatas, consiste en realizar una excavación de 1m de ancho por 1m de largo de profundidad variable dependiendo del tipo de estructura a Proyectar y en el caso del sondaje, consiste en una excavación mediante rotación mecánica de una corona de diamante de 5cm de diámetro, refrigerada mediante agua y adaptada a unas barras de perforación. Dichas prospecciones atraviesan los suelos y rocas, obteniendo muestras representativas de los diferentes suelos y rocas que aparecen desde la superficie del terreno hasta la profundidad deseada. En general, las calicatas se realizan hasta profundidades variables de 1,5m a 4,5m y para profundidades mayores los sondajes, evitando así que los excavadores queden atrapados en el fondo de la excavación. (Morales, 2016)

Pavimento:

El pavimento es un sistema que está caracterizado por las propiedades, espesores y acomodo de distintos materiales que forman un conjunto de capas colocadas una sobre otra. Este conjunto de capas, se apoyan en una de nombre “Subrasante”, que está constituida en ocasiones por el terreno natural (cuando este es de buena calidad), o bien, por un material seleccionado. Esta capa subrasante, debe soportar las cargas producidas por el tránsito, dentro de un periodo de tiempo determinado (periodo de proyecto), sin sufrir deterioros o deformaciones que afecten la integridad del Pavimento. (Jimenez Garcia, 2009)

Pavimentos flexibles (pavimentos asfálticos)

Clasificación por comportamiento de los pavimentos con superficie asfáltica en cualquiera de sus formas o modalidades (concreto asfáltico mezcla en caliente, concreto asfáltico mezcla en frío, mortero asfáltico, tratamiento asfáltico, micro pavimento, etc.), compuesto por una o más capas de mezclas asfálticas que pueden o no apoyarse sobre una base y una sub base granulares. El pavimento asfáltico de espesor total (full-depre), es el nombre patentado por el Instituto del Asfalto, para referirse a los pavimentos de concreto asfáltico contruidos directamente sobre la sub-rasante. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2010)

Pavimentos rígidos (de concreto hidráulico)

Clasificación por comportamiento de los pavimentos de concreto de cemento hidráulico en cualquiera de sus formas o modalidades (losas de concreto simple con juntas, losas de concreto reforzado con juntas, suelo-cemento, concreto compactado con rodillo, etc.). (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2010).

Método de diseño

Se podrá utilizar cualquier método de diseño estructural sustentado en teorías y experiencias a largo plazo, tales como las metodologías del Instituto del Asfalto, de la AASHTO-93 y de la PCA, comúnmente empleadas en el Perú, siempre que se utilice la última versión vigente en su país de origen y que, al criterio del PR, sea aplicable a la realidad nacional. El uso de cualquier otra metodología de diseño obliga a incluirla como anexo a la Memoria Descriptiva. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2010)

ESAL de diseño

Es el número de aplicaciones de cargas por Eje Estándar, previsto durante el Periodo de Diseño. El procedimiento usado para convertir un flujo de tráfico con diferentes cargas y configuraciones por eje en un número de tráfico para el diseño, consiste en convertir cada carga por eje esperada sobre la vía durante el periodo de diseño, en un número de cargas por eje estándar, sumándolas luego. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2010)

Efectos medioambientales

El medio ambiente puede afectar el comportamiento del pavimento de diferentes maneras. Las variaciones térmicas y humedad, afectan la resistencia, durabilidad y capacidad de transporte de carga. Otro impacto medioambiental importante es el efecto directo del congelamiento, deshielo y desintegración en la subrasante. (Minaya Gonzales & Ordoñez Huaman , 2006)

1.10. Marco Histórico

Los pavimentos son estructuras que conforman el diseño de la red de vías urbanas en el Perú, entre los más convencionales se encuentran los pavimentos flexibles (hechos de material bituminoso) y los rígidos (hechos de concreto). Ambos tipos de pavimentos tienen por

finalidad permitir el tránsito de vehículos (livianos y pesados); además están conformados por una o varias capas superpuestas, que van absorber y disipar las cargas vehiculares a través de ellas, tal que minimicen los efectos de falla o deformación sobre el terreno preparado para soportarlas

Como es de nuestro conocimiento, las vías de comunicación terrestre son requisitos indispensables para la realización de las principales actividades humanas y para el desarrollo de los pueblos. En ese sentido, el desarrollo de una nación depende en gran medida de la extensión y el estado de su red vial. En efecto, los caminos y carreteras condicionan a la capacidad y velocidad de movilización de personas y carga, que repercuten directamente en el progreso social, político y social.

La presente Tesis permitirá mejorar el sistema vial de este sector del Distrito de San Rafael. Se plantea una vía que garantice una transitabilidad en condiciones óptimas para los vehículos y de seguridad para los peatones. Así también en una visión a nivel local tendrá un efecto de mejoramiento de las estructuras de vías en el Distrito de San Rafael. Desde mi punto de vista, considero que a fin de extender nuestro accionar social desde la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de nuestra Universidad Nacional de San Martín hoy estamos tomando acciones en la línea de lograr un proyecto que permita elaborar el expediente técnico correspondiente y por ende buscar el financiamiento para atender esta necesidad de dicha localidad.

1.11. Hipótesis

Incidencia del estudio de mecánica de suelos en la determinación del tipo y diseño de pavimento en el perímetro de la plaza de armas y calles adyacentes del distrito Alto Biavo - provincia de bellavista - región san Martin.

CAPÍTULO II

MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Materiales

2.1.1. Recursos Humanos

- Tesistas.
- Asesor del curso
- Técnico laboratorista
- Ayudantes

2.1.2. Recursos materiales Principales

- Agregado grueso (Cantera Rio Huallaga).
- Cemento.
- Agua.
- Palana.
- Cuarteador.
- Balanza digital.
- Tamices.
- Tamizador mecánico.
- Maquina universal (ensayos compresión, tensión, etc).
- Permeámetro.
- Datos de la escorrentía fluvial (centro de Tarapoto).
- Molde para probeta.
- Barra de acero para compactación.
- Martillo de goma.
- Guantes.

- Casco.

Secundarios

- Papel bond.
- Impresora.
- Laptop personal.
- Lapiceros.
- Folder manilla.

2.2. Metodología de Investigación

2.2.1. Universo y/o Muestra

Población: Considerando una perspectiva estadística de la población para el estudio a realizarse se puede entender que está dentro del rango de finita, ya que se identifica que las unidades de análisis serían todas las calles y/o jirones de la Localidad de Cuzco.

Muestra: Perímetro de la Plaza de Armas y calles adyacentes del Distrito de Alto Biavo – Provincia de Bellavista – Región San Martín.

2.2.2. Sistema de Variables

Independiente:

Características Mecánicas de los Suelos.

Variable Dependiente:

Tipo de Pavimento a diseñar

2.2.3. Tipos y nivel de investigación

2.2.3.1. Tipo

Por el tipo de la investigación, el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación aplicada, en razón, que se utilizaron conocimientos experimentales comprobados, a fin de aplicarlas en la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del suelo; para la determinación el diseño de pavimento a usar en el perímetro de la Plaza de Armas y calles adyacentes del Distrito de Alto Biavo.

2.2.3.2. Nivel

De acuerdo a la naturaleza del estudio de la investigación, reúne por su nivel las características de un estudio aplicativo y correlacionado.

2.2.4. Diseño del Método de la Investigación

Por el tipo de investigación, el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación experimental, ya que consiste en la manipulación de una o más variables, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular.

2.2.5. Diseño de instrumentos

El estudio de Mecánica de Suelos del perímetro de la plaza de armas de la localidad de Cuzco y sus calles adyacentes será utilizado para la definición y el diseño del tipo de Pavimento del sector en estudio.

Las muestras recopiladas del estudio de suelos en campo, serán sometidos a diferentes ensayos, los que serán llevados a cabo en las instalaciones del Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil – UNSM, En Tarapoto.

3.2.5.1 Fuentes Técnicas e Instrumentos de Selección de Datos

Primeramente, se procedió a recopilar la información bibliográfica existente en los textos especializados en relación al estudio de Mecánica de Suelos y el Diseño de Pavimentos.

En segundo lugar, se procedió a revisar los principales conceptos sobre los Ensayos de Laboratorio a realizarse; Se utilizará Bibliografía Variada y adecuada para la Investigación, las cuáles se detallan en el marco teórico y en las referencias bibliográficas.

2.2.6. Procesamiento de la Información

Los Procesamientos y presentación de Datos se realizará de acuerdo al Reglamento Nacional de Construcciones, La Norma CE.010 Pavimentos Urbanos, Manual de Carreteras, Suelos, Geotecnia y Pavimentos; y utilizando cálculos estadísticos adecuados con la finalidad de obtener resultados satisfactorios.

2.2.6.1. Exploración de Suelos

2.2.6.1.1. Reconocimiento de campo

La NORMA CE.010 PAVIMENTOS URBANOS (2010), indica cuales son los trabajos de investigación en campo, a realizarse para la caracterización de los suelos, a continuación:

Tabla 47

Normas técnicas de los trabajos de investigación en campo.

NORMA	DENOMINACIÓN
MTC E101-2000	Pozos, calicatas, trincheras y zanjas.
NTP 339.143:1999	SUELOS. Método de ensayo estándar para la densidad y el peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena.
NTP 339.144:1999	SUELOS. Método de ensayo estándar para la densidad in-situ de suelo y suelo-agregado por medio de métodos nucleares (Profundidad superficial).
NTP 339.250:2002	SUELOS. Método de ensayo para la determinación en campo del contenido de humedad, por el método de presión del gas carburo de calcio. 1a. Ed.
NTP 339.150:2001	SUELOS. Descripción e identificación de suelos. Procedimiento visual manual
NTP 339.161:2001	SUELOS. Práctica para la investigación y muestreo de suelos por perforaciones con barrena.
NTP 339.169:2002	SUELOS. Muestreo geotécnico de suelos con tubos de pared delgada.
NTP 339.172:2002	SUELOS. Método de prueba normalizada para el contenido de humedad de suelo y roca in situ por métodos nucleares (poca profundidad).
NTP 339.175:2002	SUELOS. Método de ensayo normalizado in-situ para CBR (California Bearing Ratio-Relación del Valor Soporte) de suelos.
ASTM D 6951	Método estándar de ensayo para el uso del penetrómetro dinámico de Cono en aplicaciones superficiales de pavimentos.

Fuente: Norma Técnica CE. 010 Pavimentos Urbanos

Los trabajos fueron realizados por el tesista, identificando los lugares y zonas, en los cuales se realizaron las excavaciones con la finalidad de determinar el perfil estratigráfico del área de estudio, realizando 10 calicatas o pozos a cielo abierto distribuido convenientemente.

2.2.6.1.2. Excavaciones a cielo Abierto

Con la finalidad de determinar las Propiedades físicas y mecánicas del suelo en la zona en estudio, se han realizado 10 calicatas o pozos a cielo abierto.

La ubicación de calicatas se realizó de acuerdo a lo señalado en el punto 3.2.3. de la NT CE 010 Pavimentos Urbanos del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Se realizaron 10 calicatas, las mismas que se detallan a continuación.

Tabla 48*Ubicación/Descripción de Calicatas*

CALICATA	UBICACIÓN	COORDENADAS	PROFUNDIDAD (m)	Nº DE ESTRATOS
C-01	Esquina Jr. San Martin – Jr. Cahuide	N: 9223350 E: 308017	1.50	1
C-02	Esquina Jr. Cahuide Jr. Comercio	N: 9223408 E: 337985	1.50	1
C-03	Esquina Jr. Comercio – Jr. Jose Olaya.	N: 9223480 E: 337923	1.50	1
C-04	Esquina Jr. José Olaya – Jr. San Martin	N: 9223546 E: 337980	1.50	1
C-05	Esquina Jr. A. Ugarte – Jr. Lima	N: 9223468 E: 338040	1.50	2
C-06	Esquina Jr. Lima – Jr. Grau	N: 9223414 E: 338124	1.50	2
C-07	Esquina Jr. Huallaga – Carret. Fernando Belaunde Terry	N: 9223286 E: 338052	1.50	1
C-08	Esquina Jr. Lima – Carret. Fernando Belaunde Terry	N: 9223066 E: 338162	1.50	1
C-09	Esquina Jr. Grau – Jr. Ramón Castilla	N: 9223490 E: 338166	1.50	1
C-10	Esquina Jr. A. Ugarte – Jr. Ramón Castilla	N: 9223546 E: 338144	1.50	2

Fuente. Elaboración Propia

2.2.6.1.3. Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Suelos

Con las muestras que fueron extraídas en los puntos de investigación, se determinaron sus propiedades físicas y mecánicas mediante la ejecución de los ensayos estándar y especiales que se indican a continuación:

Tabla 49

Ensayos a Realizarse

ENSAYOS ESTANDAR			NORMA USADA		
Contenido de Humedad Natural			MTC E108-200		
Análisis Tamizado	Granulométrico	por	MTC E107-2000 ASTM D422-69		
Limite Liquido y Limite Plástico			MTC E 110 Y	MTC 111,	ASTMD4318
Clasificación Unificada de Suelos			ASTM D2487		
Ensayo de relación esfuerzo densidad Proctor modificado (ensayo de compactación)			ASTM D 1557-91		
Ensayo Razón Soporte CBR	California		ASTM D 1883 Y AASHTO T193		

Fuente: Elaboración Propia Se tomó como centro de acopio la cantera.

a) Para Base y Sub base

La Cantera de Puerto rico que se encuentra a 25 km de la ubicación del proyecto.

2.2.6.1.4. Estudio de transito

Para desarrollar el proyecto en el que está basado la presente tesis se han realizado tareas de conteo y clasificación de tráfico vehicular el mismo que ha comprendido conteos durante las veinticuatro horas por un período de siete días consecutivos.

Para las labores de conteo las estaciones se han situado en la esquina de la plaza de armas de la localidad de San Rafael, donde se intersectan el Jr. Grau con el Jr. Lima denominada como Estación 1.

Los vehículos que transitan en el área de influencia son los siguientes: motocar, motos lineales, autos, camionetas, combis y camiones. Para nuestro conteo diario no se tomará en cuenta los siguientes vehículos: motocar y motos lineales, ya que no se consideran para el diseño.

Tabla 50

Índice Medio Diario

	TIPOS DE VEHICULOS							TOTAL
	AUTOS Y CAMIONETAS		COMBIS, MICROS, CUSTERS (B2)	BUSES (B3)	CAMION N C2	CAMION N C3	SEMITRAY LE R T2S1	
								
IMDa	5	7	1	1	3	1	1	17
Distribucion (%)	27.87	38.52	8.20	3.28	14.75	4.10	3.28	100

Fuente: Elaboración Propia

2.2.6.1.5. Diseño de Pavimento Flexible

El método a usar en la presente tesis para el diseño de pavimento es el método AASHTO 1993, que se encuentra dentro de los permitidos para pavimentos urbanos en la Norma CE. 010 PAVIMENTOS URBANOS.

Datos de entrada:

Índice de Servicialidad

- Índice de serviciabilidad inicial (Po): 4.0 (pavimento flexible)
- Índice de serviciabilidad final (Pt): 2.0 (camino secundario)

Numero de Ejes Equivalentes

Este valor fue determinado mediante ayuda de los factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, el IMD y la tasa de crecimiento anual. Por medio de tanteos, iniciando con un $SN = 3$ hasta llegar a un $SN = 2.49$

- Para autos y camionetas:

Utilizando la **tabla 12** interpolamos la carga.

AUTOS				
				
	Carga p/eje (Kips)	2	3	2.49
Esal Superior	2	0.0002	0.0002	
Esal a Calcular	2.2	0.0005	0.0004	0.0004
Esal Inferior	4	0.003	0.002	
Esal Superior	2	0.0002	0.0002	
Esal a Calcular	2.2	0.0005	0.0004	0.0004
Esal Inferior	4	0.003	0.002	

CAMIONETAS				
				
	Carga p/eje (Kips)	2	3	2.49
Esal Superior	4	0.003	0.002	
Esal a Calcular	4.4	0.0048	0.0038	0.0043
Esal Inferior	6	0.012	0.011	
Esal Superior	4	0.003	0.002	
Esal a Calcular	4.4	0.0048	0.0038	0.0043
Esal Inferior	6	0.012	0.011	

- Para automóviles del tipo B2 y

C2: Utilizando la tabla 12

interpolamos la carga

COMBIS, MICROS, CUSTERS (B2), CAMION C2				
 				
	Carga p/eje (Kips)	2	3	2.49
Esal Superior	14	0.338	0.354	
Esal a Calcular	15.4	0.520	0.535	0.527
Esal Inferior	16	0.598	0.613	
Esal Superior	24	3.62	3.43	
Esal a Calcular	24.2	3.779	3.575	3.679
Esal Inferior	26	5.21	4.88	

- Para automóviles del tipo B3-1:

Utilizando la tabla 12 y 13 e interpolamos la carga.

BUSES (B3)				
				
	Carga p/eje (Kips)	2	3	2.49
Esal Superior	14	0.338	0.354	
Esal a Calcular	15.4	0.520	0.535	0.527
Esal Inferior	16	0.598	0.613	
Esal Superior	34	1.07	1.08	
Esal a Calcular	35.2	1.256	1.260	1.258
Esal Inferior	36	1.38	1.38	

- Para automóviles del tipo C3:

Utilizando la tabla 12 e interpolamos la carga.

CAMION C3				
				
	Carga p/eje	2	3	2.49
Esal Superior	38	1.75	1.73	
Esal a Calcular	39.6	2.102	2.066	2.084
Esal Inferior	40	2.19	2.15	
Esal Superior	14	0.338	0.354	
Esal a Calcular	15.4	0.520	0.535	0.527
Esal Inferior	16	0.598	0.613	

- Para automóviles del tipo T2S1,:

Utilizando la tabla 12 e interpolamos

la carga

SEMITRAYLER T2S1				
				
	Carga p/eje	2	3	2.49
Esal Superior	14	0.338	0.354	
Esal a Calcular	15.4	0.520	0.535	0.527
Esal Inferior	16	0.598	0.613	
Esal Superior	24	3.62	3.43	
Esal a Calcular	24.2	3.779	3.575	3.679
Esal Inferior	26	5.21	4.88	
Esal Superior	24	3.62	3.43	
Esal a Calcular	24.2	3.779	3.575	3.679
Esal Inferior	26	5.21	4.88	

Obteniendo así el siguiente resumen:

Tipo de Vehiculo	Modelo	Peso				ΣPESO/ESAL	IMDa	%
		Eje Delantero	Conjunto de ejes posteriores					
			1	2	3			
Automovil		1 Tn	1 Tn			2 Tn	5	27.87
		9.8067 Kn	9.8067 Kn					
		2204.62 lb	2204.62 lb					
		2.2046 Kips	2.2046 Kips					
	ESAL	0.0004	0.0004	0.0009				
Camioneta		2 Tn	2 Tn			4 Tn	7	38.52
		19.6134 Kn	19.6134 Kn					
		4409.25 lb	4409.25 lb					
		4.4092 Kips	4.4092 Kips					
	ESAL	0.0043	0.0043	0.0086				
Omnibus B2		7 Tn	11 Tn			18 Tn	1	8.20
		68.6469 Kn	107.8737 Kn					
		15432.4 lb	24250.8 lb					
		15.4324 kips	24.2508 kips					
	ESAL	0.527	3.679	4.2064				
Bus B3		7 Tn	16 Tn			23 Tn	1	3.28
		68.6469 Kn	156.9072 Kn					
		15432.4 lb	35274 lb					
		15.4324 kips	35.274 kips					
	ESAL	0.527	1.258	1.7853				
Camion C2		7 Tn	11 Tn			18 Tn	3	14.75
		68.6469 Kn	107.8737 Kn					
		15432.4 lb	24250.8 lb					
		15.4324 kips	24.2508 kips					
	ESAL	0.527	3.679	4.2064				
Camion C3		7 Tn	18 Tn			25 Tn	1	4.10
		68.6469 Kn	176.5206 Kn					
		15432.4 lb	39683.2 lb					
		15.4324 kips	39.6832 kips					
	ESAL	0.527	2.084	2.6117				
Semitrayle r T2S1		7 Tn	11 Tn	11 Tn		29 Tn	1	3.28
		68.6469 Kn	107.8737 Kn	107.8737 Kn				
		15432.4 lb	24250.8 lb	24250.8 lb				
		15.4324 kips	24.2508 kips	24.2508 kips				
	ESAL	0.527	3.679	3.679	7.885			
TOTAL						20.705	17	100.00

Período de diseño

Se determinó en la sección de diseño del pavimento flexible un periodo de diseño de **20 años** con una tasa de crecimiento de tránsito liviano de 2.83% (INEI, 2017) y tránsito pesado de 4.83% (INEI, 2018) según el INEI, con estos valores interpolamos con la tabla 11.

r (vehículos livianos)		r (vehículos pesados)	
2	24.30	29.78	4
2.83	26.574	32.502	4.83
4	29.78	33.06	5

Al obtener estos valores, se procedió a realizar el cálculo del ESAL de diseño, multiplicándolo por el factor de distribución por dirección (**tabla 10**) y factor de distribución por carril (**tabla 21**) teniendo resultado un valor de **1.43 E + 05**.

CALCULO DEL ESAL DE DISEÑO								
TIPO DE VEHICULO	Carga por eje (Kips)		Tipo de Eje	Volumen de Trafico Diario "A"	Factor de crecimiento "B"	Transito de Diseño "C=AxBx365"	Factor de Camion "D"	Nª de ESALs "E=CxD"
2.83%								
Autos	1	2.20	Simple	5	26.57	47112.26029	0.00088	41.5341687
	1	2.20	Simple					
Camionetas	2	4.41	Simple	7	26.57	65125.77157	0.00862	561.384151
	2	4.41	Simple					
4.83%								
Combis, Micros, Custers	7	15.43	Simple	1	32.50	16947.27795	4.20639	71286.8605
	11	24.25	Simple					
Buses (B3)	7	15.43	Simple	1	32.50	6778.911181	1.78531	12102.4579
	16	35.27	Tandem					
Camion C2	7	15.43	Simple	3	32.50	30505.10032	4.20639	128316.349
	11	24.25	Simple					
Camion C3	7	15.43	Simple	1	32.50	8473.638976	2.61171	22130.6877
	18	39.68	Tandem					
Semitrayler T2S1	7	15.43	Simple	1	32.50	6778.911181	7.88543	53454.6296
	11	24.25	Simple					
	11	24.25	Simple					
TOTALES								287893.903
Factor de direccion	F _d =		0.5					
Factor de carril	F _C		1					
=								
ESAL`S de Diseño =287293.903*0.5*1								143947
=								

Confiabilidad

Se utilizó un valor de 95%, ya que es son colectores de una vía urbana. Ver **tabla 22**.

Desviación estandar

Para un nivel de confiabilidad de 95%, la desviación estándar es -1.645 según la **tabla 24**.

Desviación estándar combinada o total

La Guía AASHTO recomienda adoptar para los pavimentos flexibles, valores de S_o comprendidos entre 0.40 y 0.50, tomando entonces como valor **0.45**. (Ver página 55)

Módulo de Resiliencia

Con las muestras extraídas de la subrasante se realizaron los ensayos de CBR para correlacionarlos con ecuaciones de M_r , la subbase y base (canteras) teniendo estos dos últimos, un valor mínimo requerido por la Norma del MTC, 40% y 80% respectivamente. Para calcular el M_r se utiliza la fórmula recomendada por el Mechanistic Empirical Pavement Design Guide (MEPDG) que figura en la guía AASHTO visto en la sección 2.5.2.14.20 de la página 56.

$$M_r (\text{psi}) = 2,555 \times \text{CBR}^{0.64}$$

El valor de CBR de la **base** es **82%** con lo que resulta un módulo de resiliencia de **42 878.00 psi** o **42.878 ksi**. El valor de CBR de la **subbase** es **63%** con lo que resulta un módulo de resiliencia de **36 222.00 psi** o **36.222 ksi**. El valor de CBR de la **subrasante** es **7%** con lo que resulta un módulo de resiliencia de **8877 psi** o **8.877 ksi**.

Entonces el resumen de los parámetros son los siguientes:

DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	
METODO AASHTO 1993	
Tesis: Estudio de Mecánica de Suelos y Diseño de Pavimentos de la Plaza Armas y Calles Adyacentes del Distrito de Alto Biavo- Provincia de Bellavista - Región San Martín	
1. REQUISITOS DEL DISEÑO	
a) Periodo de diseño en años (t):	20
b) Numero de Ejes Equivalentes: Trafico W18	143947
c) Índice de servicialidad inicial (pi):	4
d) Índice de servicialidad Final (pt):	2
e) Índice de confianza (R%):	95
f) Desviación estandar normal(ZR):	-1.645
g) Error de Combinación estandar (So):	0.45
2. PROPIEDADES DE MATERIALES	
a) C.B.R. de la Base Granular (%):	82
b) Módulo de Resiliencia de la Base Granular (Mr):	42877.7285
c) C.B.R. de la Sub Base Granular (%):	63
d) Módulo de Resiliencia de la Sub Base Granular (Mr)	36221.7022
e) C.B.R. de la Sub Base Rasante (%):	7.00
f) Módulo de Resiliencia ($MR = 2555 * (CBR)^{0.64}$):	8876.74308

Con los resultados obtenidos, se procede a desarrollar la ecuación para calcular el SN requerido para la subrasante, base y subbase, respectivamente. De los cuales se obtuvo los siguientes valores:

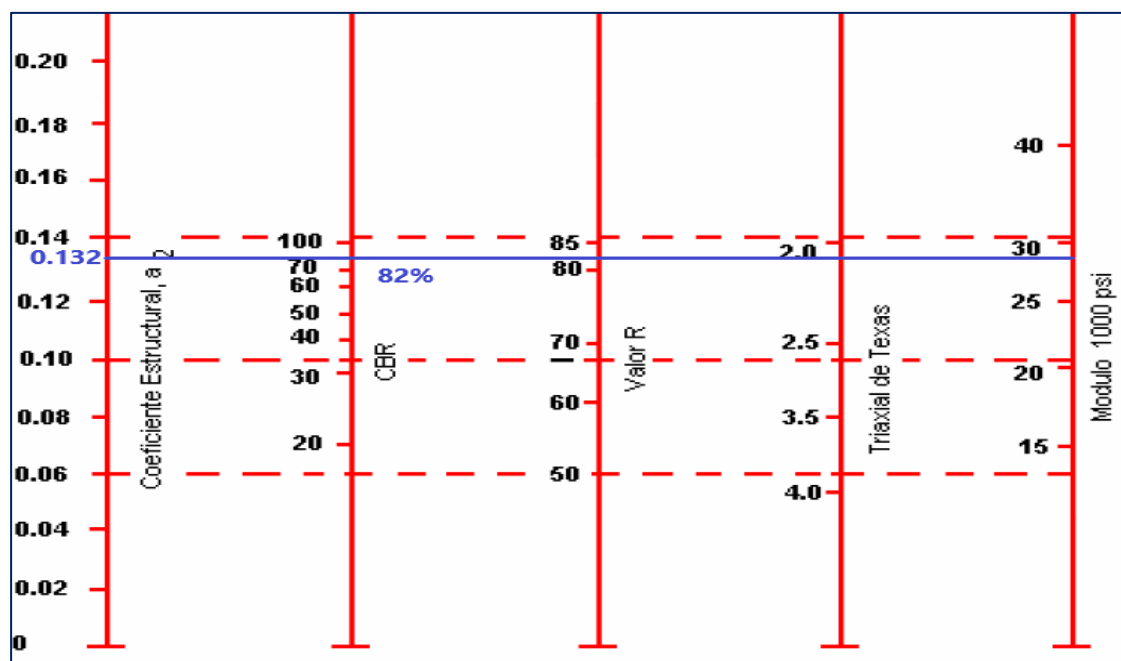
CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL			
Variar SN Requerido hasta que Log(W18) Nominal =Log(W18) Calculado $\log W_{18} = Z_R S_O + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\frac{\log(\Delta PSI)}{4.2 - 1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$			
SUBRASANTE			
SN Requerido	Gt = (ΔPSI)/(4.2-1.5)	Log(W18) NOMINAL	Log(W18) CALCULADO
2.49	-0.1303	5.16	5.16
BASE			
SN Requerido	Gt = (ΔPSI)/(4.2-1.5)	Log(W18) NOMINAL	Log(W18) CALCULADO
1.32	-0.1303	5.16	5.16
SUB BASE			
SN Requerido	Gt = (ΔPSI)/(4.2-1.5)	Log(W18) NOMINAL	Log(W18) CALCULADO
1.43	-0.1303	5.16	5.16

Teniendo los SN requeridos, se calcula los coeficientes estructurales de cada capa utilizando los ábacos (Figura 7 y 8), obteniendo así los valores de a1, a2 y a3.

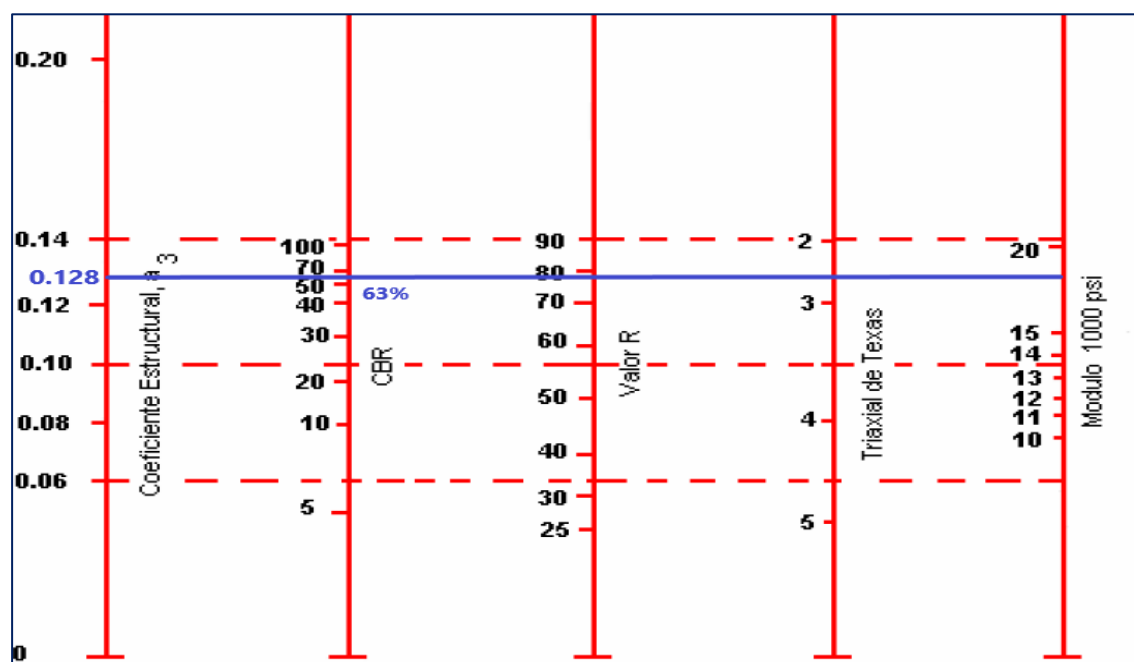
El valor de **a1** es estándar por ser de la carpeta asfáltica siendo **0.420**.

Para calcular **a2** solamente se ubica el **CBR** de la base en la columna de valores para éste y trazar una línea hasta la columna del **a2**, obteniendo así **0.132**

Variación en el coeficiente estructural de la capa de base, a_2



Realizamos el mismo procedimiento para a_3 obteniendo un valor de **0.128**



El siguiente paso es elegir un valor de entre las **tablas 27 y 28** para los coeficientes de drenaje **m2** y **m3**, siendo el criterio lo siguiente: la calidad del drenaje será **bueno** ya que contará con sistema de drenaje pluvial, en la zona el tiempo de precipitaciones pluviales es de 03 meses aproximadamente, siendo este 25.75% de todo el año, entonces intersectamos en el cuadro ambos valores, obteniendo para **m2** y **m3** el valor de **1**.

Entonces el resumen es lo siguiente:

ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO		
a. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA	CBR	Del Abaco
Concreto Asfático Convencional (a1)	Estandar	0.420
Base Granular (a2)	82%	0.132
Sub-Base (a3)	63%	0.128
b. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA		
Base Granular (m2)		1.00
Sub-Base (m3)		1.00

Espesores mínimos en función del SN

Se calcula el espesor de capa asfáltica, suponiendo un Mr igual al de la base; así se calcula el SN1 que debe ser absorbido por el concreto asfáltico conforme la fórmula en función de:

$$D_1^* \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

SN1 = 1.324
a1 = 0.420
D1 ≥ 3.152 Se adopta: 3.50

Entonces el SN1* absorbido por el Concreto Asfáltico conforme la fórmula:

$$SN_1^* = a_1 \times D_1^*$$

a1 = 0.42
D1* = 3.50 **SN1* = 1.47**

Después se calcula el espesor mínimo de la capa de base, conforme la fórmula

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 m_2}$$

SN2 = 1.425
SN1* = 1.47
=
a2 = 0.132
m2 = 1.00

Entonces el SN2* absorbido por la base conforme la fórmula

$$SN_2^* = a_2 m_2 D_2^*$$

a2 = 0.132
m2 = 1.00
D2* = 1.00 **SN2* = 0.132**

Después se calcula el espesor de la subbase, conforme la fórmula

$$D_3 \geq \frac{SN - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 m_3}$$

$$SN = 2.490$$

$$SN_1^* = 1.470$$

$$=$$

$$SN_2^* = 0.132$$

$$=$$

$$a_3 = 0.128$$

$$m_3 = 1.000$$

Siendo el SN3* absorbido por la subbase, conforme la fórmula

$$SN_3^* = a_3 m_3 D_3^*$$

$$a_3 = 0.128$$

$$m_3 = 1.00$$

$$D_3^* = 7.00$$

$$SN_3^* = 31.25$$

$$SN_3^* = 0.896$$

Como verificación:

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* \geq SN$$

$$SN_1^* = 1.47$$

$$SN_2^* = 0.132$$

$$SN_3^* = 0.896$$

$$SN = 2.490$$

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* = 2.498$$

**O
K**

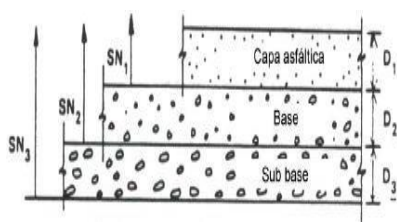
Por lo tanto, los espesores de diseño que cumplan con las especificaciones de los materiales son:

	pulg	cm	Se adopta:
Capa Asfáltica:	3.50	8.89	9.00
Base	1.00	2.54	2.60
Subbase:	7.00	17.78	20.00

Espesores De Capas De La Estructura Del Pavimento Flexible (AASHTO)

Se calcula el Numero estructural con la formula presentada por AASHTO-93

$$SN = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3$$



D1	D1 Aprox	SN1*	cm	
3.152	3.50	1.47	9.00	Carpeta
D2	D2 Aprox.	SN2*	cm	
-0.34	1.00	0.132	2.60	Asfáltic
D3	D3 Aprox.	SN3*	cm	
6.938	7.00	0.896	20.00	a Base
				Subbase

Alternativa	SNreq	SNresul	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)
1	2.49	2.50	9.00	2.60	20.00

Se observa que el espesor de la Carpeta Asfáltica es conforme al espesor mínimo recomendado, pero el espesor de la Base es demasiado pequeño, ya que el espesor mínimo recomendado es de 10cm, de acuerdo a la tabla 29.

Para determinar el espesor de la base granular puede emplearse la siguiente expresión:

$$e_2 = 2.5 [(SNT - 0.16 e_{CAmin}) / a_2]$$

Donde:

e_2 = espesor requerido de base granular (cm)

SNT = Numero Estructural Total

e_{CAmin} = espesor mínimo de CA, seleccionado de la Tabla 29 (convertimos de

in a cm). a_2 = coeficiente estructural del material granular. (Ing. PhD. Jugo B. ,

2010) Reemplazando nuestros valores, obtenemos:

$$e_2 = 2.5 \left[\frac{2.49 - 0.16 \times 5}{0.132} \right] = 35 \text{ cm.}$$

Entonces con un espesor de 5cm de carpeta asfáltica, el espesor de la base seria de 35 cm más el espesor de la subbase de 20 cm, lo que nos da un total 55 cm de material granular, este se puede repartir en 5 cm de carpeta asfáltica, 25 cm de base y 30 cm de subbase.

Tomamos como el espesor de la base 25 cm y el resto sumaremos al espesor de la subbase.

Alternativ a	SNre q	SNresul	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)
2	2.49	3.57	5.00	25.00	30.00

Comparamos el SNreq con el SNresul y hay una diferencia de 1.08, este valor es muy elevado, debido a esto optamos por una nueva alternativa en la que el SNreq no sea igual ni muy elevado comparado con el SNresul, dando un factor de seguridad al diseño de espesores, tomando como referencia la alternativa dos para reducir los espesores de la base. Este sería conformado por 5 cm de carpeta asfáltica, 15 cm de base y 20 cm de subbase.

Alternativ a	SNre q	SNresul	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)
3	2.49	2.52	5.00	15.00	20.00

Teniendo así las siguientes alternativas de diseño:

ALTERNATIVA	ESPESOR DE DISEÑO		
	PROYECTO	1er TANTEO	2do TANTEO
Carpeta de rod.(D1)	9.00	5.00	5.00
Base (D2)	2.60	25.00	15.00
Sub-Base (D3)	20.00	30.00	20.00
SN	2.50	3.57	2.52

Resultando así que la mejor alternativa para el diseño estructural de pavimento sería el siguiente:

ESPESORES DE DISEÑO	
Carpeta de rod.(D1)	5.00
Base (D2)	15.00
Sub-Base (D3)	20.00

2.2.6.1.6. Diseño de Pavimento Rígido

El método a usar en la presente tesis para el diseño de pavimento es el método AASHTO 1993, que se encuentra dentro de los permitidos para pavimentos urbanos en la Norma CE. 010 PAVIMENTOS URBANOS.

Datos de entrada:

Índice de Servicialidad

- Índice de serviciabilidad inicial (Po): 4.0 (pavimento rígido)
- Índice de serviciabilidad final (Pt): 2.0 (camino secundario)

Numero de Ejes Equivalentes

Este valor fue determinado mediante ayuda de los factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, el IMD y la tasa de crecimiento anual. Por medio de tanteos, iniciando con un **D = 6** hasta llegar a un **D = 6.15**

- Para autos y camionetas:

Utilizando la **tabla 32** interpolamos la carga.

AUTOS				
				
	Carga p/eje (Kips)	6	7	6.15
Esal Superior	2	0.0002	0.0002	
Esal a Calcular	2.2	0.0004	0.0004	0.0004
Esal Inferior	4	0.002	0.002	
Esal Superior	2	0.0002	0.0002	
Esal a Calcular	2.2	0.0004	0.0004	0.0004
Esal Inferior	4	0.002	0.002	

CAMIONETAS				
				
	Carga p/eje (Kips)	6	7	6.15
Esal Superior	4	0.002	0.002	
Esal a Calcular	4.4	0.0038	0.0036	0.0038
Esal Inferior	6	0.011	0.01	
Esal Superior	4	0.002	0.002	
Esal a Calcular	4.4	0.0038	0.0036	0.0038
Esal Inferior	6	0.011	0.01	

- Para automóviles del tipo B2 y

C2: Utilizando la tabla 32

interpolamos la carga

COMBIS, MICROS, CUSTERS (B2), CAMION C2				
 				
	Carga p/eje (Kips)	6	7	6.15
Esal Superior	14	0.353	0.346	
Esal a Calcular	15.4	0.536	0.530	0.535
Esal Inferior	16	0.614	0.609	
Esal Superior	24	3.37	3.34	
Esal a Calcular	24.2	3.509	3.475	3.504
Esal Inferior	26	4.76	4.69	

- Para automóviles del tipo B3-1:

Utilizando la tabla 32 y 33 e interpolamos la carga.

BUSES (B3)				
				
	Carga p/eje (Kips)	6	7	6.15
Esal Superior	14	0.353	0.346	
Esal a Calcular	15.4	0.536	0.530	0.535
Esal Inferior	16	0.614	0.609	
Esal Superior	34	1.9	1.9	
Esal a Calcular	35.2	2.212	2.206	2.211
Esal Inferior	36	2.42	2.41	

- Para automóviles del tipo C3:

Utilizando la tabla 32 y 33 e interpolamos la carga.

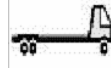
CAMION C3				
				
	Carga p/eje	6	7	6.15
Esal Superior	38	3.04	3.02	
Esal a Calcular	39.6	3.64	3.596	3.633
Esal Inferior	40	3.79	3.74	
Esal Superior	14	0.353	0.346	
Esal a Calcular	15.4	0.536	0.530	0.535
Esal Inferior	16	0.614	0.609	

- Para automóviles del tipo T2S1,:

Utilizando la tabla 32 e interpolamos la carga

SEMITRAYLER T2S1				
				
	Carga p/eje	6	7	6.15
Esal Superior	14	0.353	0.346	
Esal a Calcular	15.4	0.536	0.530	0.535
Esal Inferior	16	0.614	0.609	
Esal Superior	24	3.37	3.34	
Esal a Calcular	24.2	3.509	3.475	3.504
Esal Inferior	26	4.76	4.69	
Esal Superior	24	3.37	3.34	
Esal a Calcular	24.2	3.509	3.475	3.504
Esal Inferior	26	4.76	4.69	

Obteniendo así el siguiente resumen:

Tipo de Vehiculo	Modelo	Peso				ΣPESO/ESAL	IMDa	%
		Eje Delantero	Conjunto de ejes posteriores					
			1	2	3			
Automovil		1 Tn	1 Tn			2 Tn	5	27.87
		9.8067 Kn	9.8067 Kn					
		2204.62 lb	2204.62 lb					
		2.2046 Kips	2.2046 Kips					
	ESAL	0.0004	0.0004	0.0009				
Camioneta		2 Tn	2 Tn			4 Tn	7	38.52
		19.6134 Kn	19.6134 Kn					
		4409.25 lb	4409.25 lb					
		4.4092 Kips	4.4092 Kips					
	ESAL	0.0038	0.0038	0.0075				
Omnibus B2		7 Tn	11 Tn			18 Tn	1	8.20
		68.6469 Kn	107.8737 Kn					
		15432.4 lb	24250.8 lb					
		15.4324 kips	24.2508 kips					
	ESAL	0.535	3.504	4.0390				
Bus B3		7 Tn	16 Tn			23 Tn	1	3.28
		68.6469 Kn	156.9072 Kn					
		15432.4 lb	35274 lb					
		15.4324 kips	35.274 kips					
	ESAL	0.535	2.211	2.7462				
Camion C2		7 Tn	11 Tn			18 Tn	3	14.75
		68.6469 Kn	107.8737 Kn					
		15432.4 lb	24250.8 lb					
		15.4324 kips	24.2508 kips					
	ESAL	0.535	3.504	4.0390				
Camion C3		7 Tn	18 Tn			25 Tn	1	4.10
		68.6469 Kn	176.5206 Kn					
		15432.4 lb	39683.2 lb					
		15.4324 kips	39.6832 kips					
	ESAL	0.535	3.633	4.1685				
Semitrayle r T2S1		7 Tn	11 Tn	11 Tn		29 Tn	1	3.28
		68.6469 Kn	107.8737 Kn	107.8737 Kn				
		15432.4 lb	24250.8 lb	24250.8 lb				
		15.4324 kips	24.2508 kips	24.2508 kips				
	ESAL	0.535	3.504	3.504	7.543			
TOTAL						22.544	17	100.00

Período de diseño

Se determinó en la sección de diseño del pavimento rígido un periodo de diseño de **20 años** con una tasa de crecimiento de tránsito liviano de 2.83 % (INEI, 2017) y tránsito pesado de 4.83% (INEI, 2018) según el INEI, con estos valores interpolamos con la tabla 11.

Al obtener estos valores, se procedió a realizar el cálculo del ESAL de diseño, multiplicándolo por el factor de distribución por dirección (**tabla 10**) y factor de distribución por carril (**tabla 21**) teniendo resultado un valor de **1.49 E + 05**.

CALCULO DEL ESAL DE DISEÑO								
TIPO DE VEHICULO	Carga por eje (Kips)		Tipo de Eje	Volumen de Trafico Diario "A"	Factor de crecimiento "B"	Transito de Diseño "C=AxBx365"	Factor de Camion "D"	N° de ESALs "E=CxD"
2.83%								
Autos	1	2.20	Simple	5	26.57	47112.26029	0.00088	41.5341687
	1	2.20	Simple					
Camionetas	2	4.41	Simple	7	26.57	65125.77157	0.00754	491.048318
	2	4.41	Simple					
4.83%								
Combis, Micros, Custers	7	15.43	Simple	1	32.50	16947.27795	4.03900	68450.0557
	11	24.25	Simple					
Buses (B3)	7	15.43	Simple	1	32.50	6778.911181	2.74620	18616.2459
	16	35.27	Tandem					
Camion C2	7	15.43	Simple	3	32.50	30505.10032	4.03900	123210.1
	11	24.25	Simple					
Camion C3	7	15.43	Simple	1	32.50	8473.638976	4.16850	35322.3641
	18	39.68	Tandem					
Semitrayler T2S1	7	15.43	Simple	1	32.50	6778.911181	7.54290	51132.6491
	11	24.25	Simple					
	11	24.25	Simple					
TOTALES								297263.997
Factor de direccion	F _d =		0.5					
Factor de carril	F _C		1					
=								
ESAL`S de Diseño = 297263.997*0.5*1								148632
=								

Confiabilidad

Se utilizó un valor de 95%, ya que es son colectores de una vía urbana.

Desviación estandar

Para un nivel de confiabilidad de 95%, la desviación estándar es -1.645 según la **tabla 24**.

Desviación estándar combinada o total

Utilizaremos para S_o el valor de **0.35**.

Propiedades del concreto

Se considera la resistencia a la compresión del concreto (f'_c) a los 28 días de **210 kg/cm² o 2,986.89 psi**

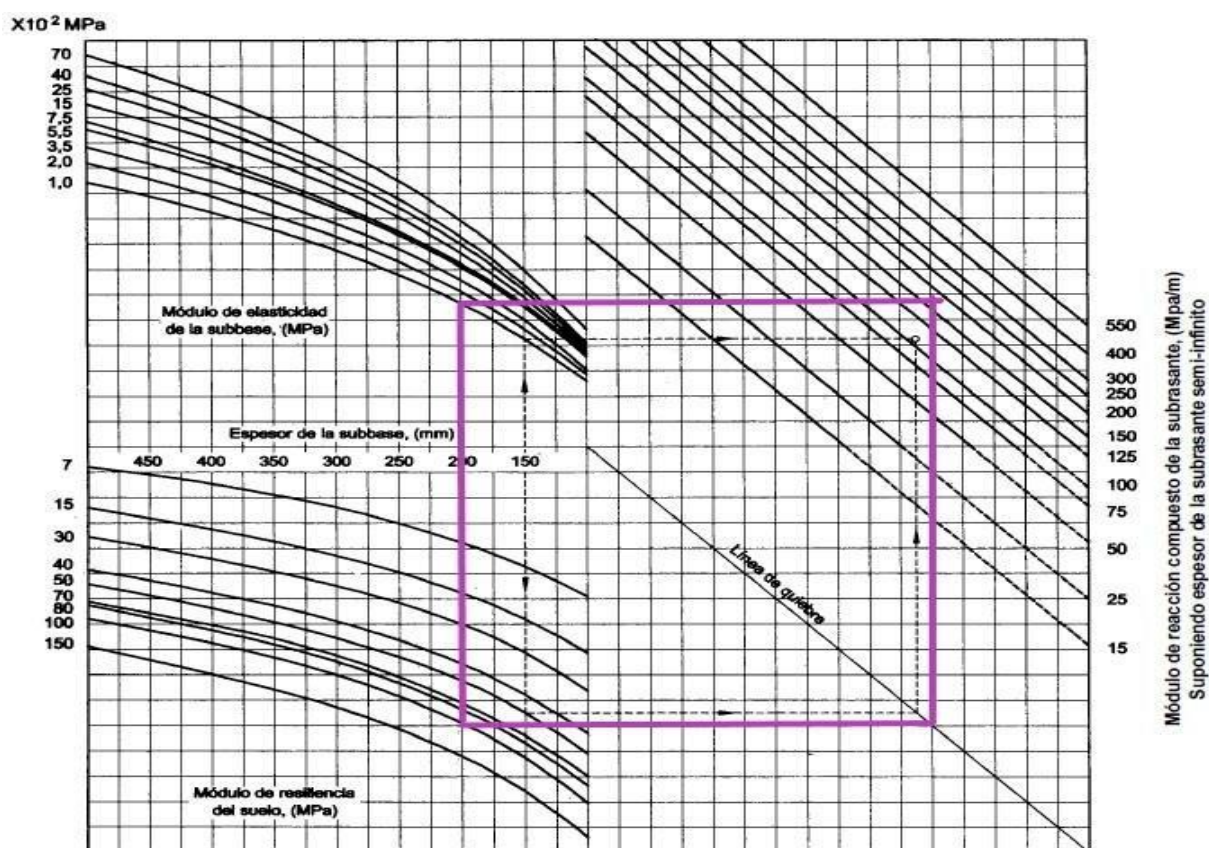
Para determinar el módulo de elasticidad del concreto (E_c) existe una correlación entre dicho módulo y la resistencia a la compresión, se calculó el módulo de elasticidad con un valor de **826,008.47 psi o 5,695.13 Mpa**.

Por último, con la **tabla 43** según el tipo de carretera se obtiene el módulo de rotura del concreto de **42 kg/cm² o 597.4 psi o 4.12 Mpa**.

Módulo de reacción (k)

De acuerdo al Método AASHTO y el valor de CBR de la subrasante obtenemos el valor **k = 46.92 Mpa/m. o 171.26 pci**.

Tomando la figura 11 y los parámetros necesarios, se obtuvo:



Aquí se obtuvo un valor de 200 pci o 54.79 Mpa/m

Coefficiente de transferencia de carga (J)

El coeficiente de transmisión o transferencia de carga (J) cuantifica la habilidad de la estructura del pavimento para distribuir las cargas a través de las discontinuidades como las juntas o grietas.

Con la ayuda de la **tabla 45** y asumiendo para el diseño no reforzada o reforzada con juntas de concreto hidráulico tomamos el valor de **J = 2.8**.

Coefficiente de drenaje

Apoyándonos en la **Tabla 27 y 28** asumimos el valor de **Cd=1**

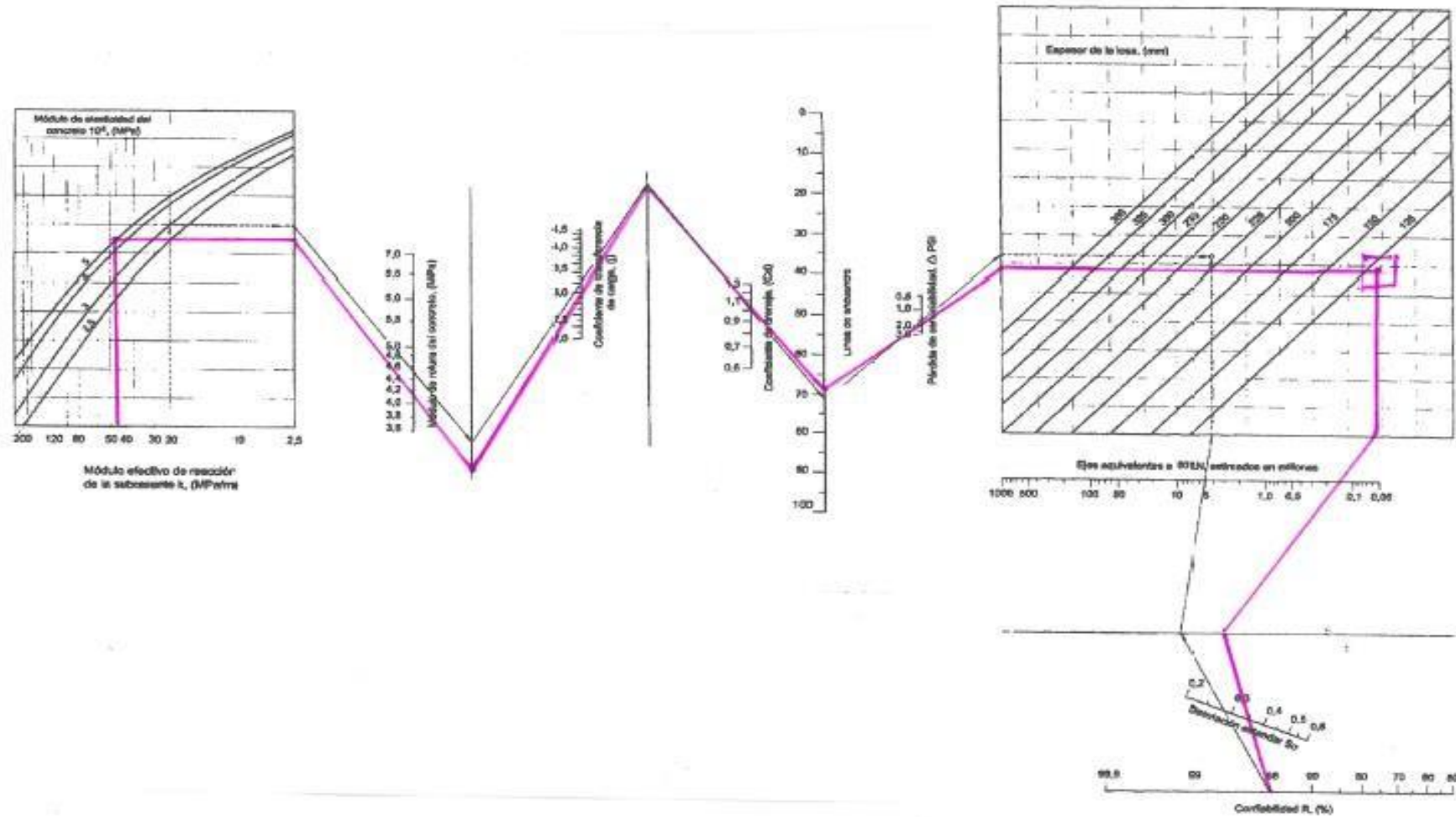
Para un drenaje bueno.

Entonces el resumen de los parámetros son los siguientes:

DISEÑO DEL PAVIMENTO RIGIDO METODO AASHTO 1993	
Tesis: Estudio de Mecánica de Suelos y Diseño de Pavimentos de la Plaza Armas y Calles Adyacentes del Distrito de Alto Biavo- Provincia de Bellavista - Región San Martín	
Tesisistas: Paulo Emilio Pinedo Diaz-Pedro Campana Vasquez	
1. REQUISITOS DEL DISEÑO	
a) Periodo de diseño en años (t):	20
b) Numero de Ejes Equivalentes: Trafico W18	148632
c) Índice de servicialidad inicial (pi):	4
d) Índice de servicialidad Final (pt):	2
e) Índice de confianza (R%):	95
f) Desviación estandar normal(ZR):	-1.645
g) Error de Combinación estandar (So):	0.35
2. PROPIEDADES DE MATERIALES	
a) Resistencia a la Compresion del Concreto f'_c (kg/cm ²)	210.00
Resistencia a la Compresion del Concreto f'_c (psi)	2986.89
b) Modulo de Elasticidad del Concreto E_c (kg/cm ²)	58074.14
Modulo de Elasticidad del Concreto E_c (psi)	826008.47
Modulo de Elasticidad del Concreto E_c (Mpa)	5695.13
c) Modulo de Rotura S^c (psi)	597.40
Modulo de Rotura S^c (Mpa)	4.12
d) Modulo de la Reaccion de la Subrasante (k) (Mpa/m)	54.79
e) Transferencia de Carga (J)	2.80
f) Coeficiente de Drenaje (Cd)	1.00

Cálculo de Espesor de Losa

Con la figura 10, y con los datos de diseño, obtenemos un espesor mínimo de 125mm



CALCULO DEL ESPESOR DE LOSA			
Variar SN Requerido hasta que Log(W18) Nominal = Log(W18) Calculado			
$\log_{10} (E18) = Z_r \times S_o + 7.35 \times \log_{10} (D+1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta \text{PSI}}{4.5-1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 \times \text{pt}) \times \log_{10} \left[\frac{S_e \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J} \times \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}} \right]$ Desviación Estándar Normal → Z_r Error Estándar Combinado → S_o Espesor → D Tráfico → $E18$ Diferencia de Serviciabilidad → ΔPSI Serviciabilidad Final → pt Módulo de Ruptura → S_e Coeficiente de Drenaje → C_d Coeficiente de Transferencia de Carga → J Módulo de Elasticidad → E_c Módulo de Reacción → k			
SUBRASANTE			
D (PUG)	Gt = (ΔPSI)/(4.2-1.5)	Log(W18) NOMINAL	Log(W18) CALCULADO
4.98	-0.0792	5.1721	5.1721

Estructuración del Pavimento

Espesor de la losa obtenido = 12.5 cm

Medida constructiva del espesor de Losa

= 15cm Espesor de la Sub Base = 20 cm

- Las losas, de preferencia serán moduladas de acuerdo a la Tabla 46, como: 3.0 x 3.70 m.
- Las juntas longitudinales y transversales serán de un espesor de 30mm, con un espaciamiento según Tabla 47 de 3.70m.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Ubicación y exploración de las calicatas.

Se ubicaron las calicatas en las intersecciones de las calles de las manzanas correspondientes a estudiarse en este proyecto en la Localidad de Cuzco, en total se realizaron 10 calicatas las cuales presentaban material orgánico en la primera capa del suelo (0.20 – 0.30m), según lo observado en la exploración de las calicatas la zona en estudio presenta por lo general suelos de grano grueso.

3.2. Estudio de Mecánica de Suelos

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos de la Universidad Nacional de San Martín, Permitiéndonos determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de fundación, así como el tipo de suelo y sus principales características.

Tabla 51

Resumen - Propiedades Fisico-Mecanicas Y Clasificacion

CALICATA	Ubicación Jirón	Profundidad de la Muestra m.	PROPIEDADES INDICES			HUMEDAD	PROCTOR		CBR		CLASIF. SUCS	CLASIF. AASHTO
			L.L.	L.P.	IP		O.C.H.	M.D.S.	1"	2"		
			%	%	%	NATURAL %	%	gr/cm ³	95%	100%		
C-01	Jr. San Martín – Jr. CAHUIDE	0.30-1.50	NP	NP	NP	12.20	-	-	-	-	SM	A-2-4(0)
C-02	Jr. Cahuide - Jr. Comercio	0.20-1.50	NP	NP	NP	12.40	4.80	2.07	18.10	45.00	SM	A-2-4(0)
C-03	Jr. Comercio - Jr. Jose Olaya	0.20-1.50	29.66	19.81	9.85	20.17	13.50	1.81	7.00	9.00	CL	A-4(4)
C-04	Jr. Jose Olaya - Jr. San Martín	0.30-1.50	NP	NP	NP	3.59	5.80	2.143	43.50	84.00	GP-GM	A-1-a(1)
C-05	Jr. A. Ugarte - Jr. Lima	0.30-0.70	35.91	18.22	17.69	19.00	-	-	-	-	CL	A-6(8)
		0.70-1.50	NP	NP	NP	6.73	-	-	-	-	GP-GM	A-1-b(0)
C-06	Jr. Lima - Jr. Grau	0.30-0.80	NP	NP	NP	12.82	-	-	-	-	SM	A-2-4(0)
		0.80-1.50	NP	NP	NP	3.45	6.50	2.14	42.00	68.00	GM	A-1-a(1)
C-07	Jr. Huallaga - C.F.B.T	0.20-1.50	29.30	24.00	5.30	23.65	-	-	-	-	ML	A-4(7)
C-08	Jr. Lima - C.F.B.T.	0.20-1.50	32.00	NP	NP	7.46	7.70	1.96	14.30	39.00	SP-SM	A-1-b(0)
C-09	Jr. Grau - Jr. Ramon Castilla	0.20-0.70	29.42	24.02	5.40	23.15	-	-	-	-	ML	A-4(7)
		0.70-1.50	NP	NP	NP	6.42	-	-	-	-	SP-SM	A-1-b(0)
C-10	Jr. Alfonso Ugarte - Jr. R. Castilla	0.30-0.70	30.03	22.92	7.11	38.90	-	-	-	-	ML	A-4(8)
		0.70-1.50	30.37	16.77	13.60	12.32	-	-	-	-	CL	A-6(10)

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a la **Tabla 52**, se obtuvo un **20%** de las calicatas (2) de composición Arenosa limosa (**SM**), un **20%** de las calicatas (2) de composición Arena arcillosa (**CL**), un **20 %** de calicatas (2) de composición Grava limosa (**GP-GM**), un **20% de las calicatas (2) de composición Arena limosa (SP-SM)**, un **10% (1)** de composición Grava limosa (**GM**) y un **10% (1)** de composición Arena limosa (**ML**) obteniéndose un **CBR** critico de **7 %**, siendo una rasante **regular**, este valor se utilizará para el diseño del pavimento Flexible.

Tabla 52

Resumen de Clasificacion de Suelos de Base y Subbase

CALICATA	Cantera	RESULTADOS												
		PROPIEDADES INDICES			Densidad	Equivalente	Partículas	Durabilidad						CLASIF.
		LL	L.P.	IP	natural	de Arena	chatas y Alarg		Abrasión	O.C.H.	MDS	CBR 95%	CBR 100%	CLASIF.
MUESTRA		%	%	%	gr/cm3	%	%	%	%		gr/cm3	MDS	MDS	SUCS
BASE	RIO HUALLAGA SECTOR PUERTO RICO	NP	NP	NP	2.03	72	12.00	3.04	19.20	6.00	2.22	82.00	100.00	GP
SUB BASE	SUB BASE COMBINACIÓN DE AGREGADOS (AGREGADO GRUESO RIO HUALLAGA CHANCADO 60% SECTOR PUERTO RICO + AGREGADO INTEGRAL (HORMIGON RIO CUMBASA) 30% SECTOR JUAN GUERRA + SUELOS FINO 10% (LIGANTE) T.D.F.	28.95	24.80	4.15	5.75	2.03	47	19.00	40.00	6.70	2.166	63.00	76.00	GP-GM

Fuente: Elaboración Propia

En la **Tabla 53** se obtiene el **CBR** al **95%**, la Base cuenta con **82%** y la Subbase con **63%**, cumpliendo con los parámetros establecidos, siendo ambos datos esenciales para el diseño del pavimento flexible.

3.3. Cálculo de espesor de pavimento flexible.

Los resultados de la **Tabla 54** son para un **IMD** de **17 veh/día**, con un **esal** por carril de **143,947.00**, teniendo como periodo de diseño **20 años**, un factor de crecimiento de tránsito liviano de **2.83%** y tránsito pesado de **4.83%** de acuerdo a ello se obtiene los resultados de los espesores del pavimento flexible:

Tabla 53*Diseño de espesores del pavimento flexible*

ALTERNATIVA	ESPESOR DE DISEÑO		
	PROYECTO	1er TANTEO	2do TANTEO
Carpeta de rod.(D1)	9.00	5.00	5.00
Base (D2)	2.60	25.00	15.00
Sub-Base (D3)	20.00	30.00	20.00
SN	2.49	3.57	2.52

Fuente: Elaboración propia

- ✓ **La alternativa 1** tiene un espesor de **9.00 cm de capa de rodadura, 2.60 cm de base, 20 cm de Subbase**; teniendo un número estructural igual al requerido (2.49), siendo estos valores obtenidos inicialmente al término del cálculo de espesores.
- ✓ **La alternativa 2** tiene como resultado un espesor de **5 cm de capa de rodadura, 25 cm de base, 30 cm de Subbase**; teniendo un número estructural mucho mayor al requerido (3.57), estos valores son obtenidos de acuerdo al espesor mínimo del pavimento para este caso, obteniendo así espesores mayores para la base y subbase.
- ✓ **La alternativa 3** consiste en **5 cm de espesor de capa de rodadura, 15 cm de base, 20 cm de Subbase**; teniendo un número estructural ligeramente mayor al requerido (2.52) pero menor al de alternativa 2 (3.57), los valores son obtenidos de acuerdo al espesor mínimo del pavimento, obteniendo así espesores mayores para la base y subbase sin elevar demasiado el numero estructural resultante del requerido.

3.4. Cálculo de espesor de pavimento rígido

Los resultados de la tabla 55 son para un IMD de 17 veh/día, con un esal por carril de 148,632.00, teniendo como periodo de diseño 20 años, un factor de crecimiento de tránsito liviano de **2.83%** y tránsito pesado de **4.83%** de acuerdo a ello se obtiene los resultados de los espesores del pavimento rígido:

Tabla 54*Diseño de espesor del pavimento rígido*

Estructuración del pavimento Rígido	
Espesor de losa obtenido (mm)	125.00
Espesor de losa adoptado (cm)	15.00
Espesor de subbase (cm)	20.00
Dimensiones de losas (m)	3.00 x 3.70
Juntas longitudinales y transversales (mm)	30.00

Fuente: Elaboración propia

La única alternativa tiene un espesor de 15.00 cm de pavimento rígido, 20.00 cm de Subbase, las dimensiones de las losas serán de 3.00 x 3.70 m, con el fin de evitar agrietamiento y rajaduras, las juntas longitudinales y transversales serán de 3cm de espesor.

3.5. Selección de alternativa de pavimento flexible.

De acuerdo a los resultados se eligió como la mejor propuesta la **alternativa 3** que consiste en **5 cm** de espesor de **capa de rodadura**, **15 cm de base**, **20 cm de Subbase**, siendo la más económica inicialmente, teniendo un numero estructural suficiente.

3.6. Contrastación de hipótesis

Con el desarrollo del objetivo principal, desde el estudio de suelos, la determinación de las variables de diseño y el procesamiento de los mismos, se pudo diseñar el pavimento flexible y rígido. Para ello fue indispensable el Manual centroamericano para diseño de pavimentos, el Manual de carreteras – Suelos, geología, geotecnia y pavimentos del MTC, basados en el método ASSHTO 93, y datos del INEI.

Es por ello, que la hipótesis: “Incidencia del estudio de mecánica de suelos en la determinación del tipo y diseño de pavimento en el perímetro de la plaza de armas y calles adyacentes del distrito Alto Biavo - Provincia de Bellavista - Región San Martín.”, se está validando, ya que con este se obtiene el valor del CBR, siendo este de suma importancia para realizar el diseño estructural del pavimento.

CONCLUSIONES

Topografía

El área de influencia consta de cinco calles, doce cuadras. La topografía del lugar se caracteriza por presentar pendientes suaves a casi planas (0-5%), constituyendo una zona no inundable de terrazas bajas, esta ha sido un factor importante para el diseño del pavimento.

Ensayos de mecánica de suelos

Se hizo la exploración para la investigación en el suelo de la localidad de San Rafael para ello se determinó la cantidad y la ubicación de Calicatas, teniendo en consideración la topografía, el plano urbano de la localidad y la Norma CE 0.10 De Pavimentos Urbanos; realizándose la exploración de 10 calicatas a cielo abierto de 1.50 m. de profundidad.

De acuerdo a estos estudios se determinó la clasificación mediante el método SUCS donde se obtuvieron los siguientes tipos de suelos: arcillas de baja plasticidad (CL), gravas limosas (GM), gravas pobremente graduadas (GP).

Respecto a los resultados de los ensayos de CBR de las 10 calicatas se considera que es una rasante regular (CBR = 7%), con respecto a la base y subbase (CBR= 82% y 63%) se considera un material bueno ya que cumplen con los parámetros establecidos en la Norma CE 0.10.

Como se observa de la tabla 53, el material apropiado para la subbase y base proviene de la cantera PUERTO RICO, PICOTA, que cumple con todos los requerimientos necesarios por la Norma Técnica CE 010, siendo predominante la grava pobremente graduada con presencia de arena. En el caso de la granulometría requerida para la subbase y base, estos materiales cumplen con la gradación.

Cálculo de espesor de pavimento flexible.

En el desarrollo de la presente tesis se ha aplicado la Metodología de AASHTO 93 para el diseño de pavimento del perímetro de la plaza de armas y las calles adyacentes de la localidad de Cuzco, Provincia de Bellavista, Región San Martín. El Método AASHTO se basa en el valor de CBR (California Bearing Ratio) de la subrasante, y el número de ejes estándar anticipado, para determinar el número estructural de diseño.

Los parámetros más importantes que se consideran en la metodología AASHTO 93 son: la Confiabilidad, la desviación estándar normal, la desviación estándar total, el módulo resiliente de diseño, la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final, el valor de CBR y el número de ejes estándar.

De los estudios de mecánica de suelos se obtiene el CBR de 7.00 al 95%, este valor se usó para el diseño del pavimento flexible en ambas calles así también como el valor del módulo de resiliencia (M_r) que se obtiene a base del CBR el cual tiene el valor de $M_r = 8,876.74$ psi.

Del estudio de tráfico se concluye que el Índice Medio Diario Anual calculado es de 17 vehículos por día, siendo este un tránsito pesado, realizado durante una semana. Por otro lado, el número de ejes equivalentes de diseño es de **139,784.00**

La fórmula de número estructural permite obtener diversas opciones para la conformación de la estructura del pavimento. Cualquiera de las tres alternativas para el pavimento según la tabla 54, cumple con los requerimientos estructurales, la elección final se tomó en consideración del aspecto económico.

La estructura final del pavimento está conformada por: 5 cm de carpeta asfáltica, 15 cm de base y 20 cm de subbase es la mejor propuesta.

Cálculo de espesor de pavimento rígido.

En este caso para el pavimento rígido se considera un concreto $f'_c = 210$ kg/cm², para un número de ejes equivalentes de diseño de **139,784.00**.

Para el pavimento rígido diseñado con la metodología de la AASHTO, se obtienen una sola alternativa para los espesores de las capas. La más viable es la que tiene 15 cm de concreto hidráulico y 20 cm de subbase la cual sería económicamente recomendable.

RECOMENDACIONES

Los ensayos de mecánica suelos, tienen que realizarse de manera correcta y muy cuidadosa, si es necesario repetir los ensayos para acreditar los valores obtenidos; puesto que una correcta ejecución e interpretación de los resultados del estudio de mecánica de suelos evitara que a futuro se presenten problemas geotécnicos.

Los resultados de esta tesis se basan solamente en la etapa de diseño, recomendamos que para un análisis absoluto se deberá tomar en cuenta la etapa de construcción, operación y mantenimiento.

Considerando los impactos al medio ambiente recomiendo utilizar el pavimento rígido, por cuanto se reduce el movimiento de tierras, además la absorción del calor es menor que el pavimento flexible; y en su construcción no se queman combustibles.

Al elegir el tipo de pavimento a construir se deberá tener en cuenta los aspectos técnicos ante el costo del mismo, pues de nada servirá un pavimento con bajo costo de construcción si su mantenimiento va a ser continuo y su tiempo de vida útil corto.

El diseño de la estructura del pavimento se basó en la metodología de la AASHTO93; sin embargo, sería recomendable en futuras investigaciones de nuestra alma mater, realizar diseños mediante los diversos métodos que existe y así poder comparar resultados, por ejemplo, las metodologías empíricas mecánicas que se aplican la teoría elástica para diseñar las capas del pavimento.

Se recomienda a la Municipalidad Distrital de Alto Biavo a utilizar el presente trabajo como una referencia y así poder brindar a la población de la Localidad de San Rafael una mayor comodidad y brindar servicialidad de circulación a personas y/o vehículos.

Se recomienda utilizar la norma CE 010 pavimentos urbanos, donde nos proporciona los parámetros mínimos, los que se deben considerar en el diseño de acuerdo a la realidad de la zona, para así obtener buenos resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Eddyhrbs. (25 De Noviembre De 2010). *Apuntes Ingeniería Civil*. Obtenido De Apuntes Ingeniería.Civil: <https://Apuntesingenierocivil.Blogspot.Com/2010/11/Procedimiento-De-Clasificacion.Html>
- Ambiental, S. N. (2016). *Sinia*. Obtenido De Sinia: <https://Sinia.Minam.Gob.Pe/Indicador/966>
- Caporal, E. (10 De Junio De 2006). *Academia*. Obtenido De Academia: https://Www.Academia.Edu/34103801/Diseno_De_Pavimento_Metodo_Aashto_9_3_Espanol_1_
- Chavez Pisco, J. P., & Pinedo Hidalgo, A. (2017). *Propuesta De Diseño De Pavimentos Y Obras De Drenaje Pluvial En La Reconstrucción De Los Jirones: Miraflores, Huallaga Y Otros, Distrito De Tarapoto, Provincia Y Región De San Martín*. San Martin: Universidad Nacional De San Martin.
- Civilgeeks.Com. (27 De Febrero De 2017). *Civilgeeks.Com*. Obtenido De Civilgeeks.Com: <https://Civilgeeks.Com/2017/02/27/Ventajas-Aplicaciones-Pavimentos- Articulados-Adoquines-Concreto/>
- Diez Alvarado, M., & Navarro Vargas, J. (2008). Estudio Geotécnico Con Fines De Cimentación Y Pavimentacion En Zonas De Expansion Urbana En Lurin. En M. Diez Alvarado, & J. Navarro Vargas, *Estudio Geotécnico Con Fines De Cimentación Y Pavimentacion En Zonas De Expansion Urbana En Lurin* (Págs. 217-218). Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Eddyhrbs. (13 De Setiembre De 2011). *Ingenieria Civil*. Obtenido De Ingenieria Civil: <https://Www.Ingenierocivilinfo.Com/2011/09/Analisis-De-Trafico-Pavimentos-De.Html>
- Eddyhrbs. (7 De Abril De 2010). *Proyectos Y Apuntes Teórico-Prácticos De Ingeniera Civil Para Compartir Con Ustedes*. Obtenido De Proyectos Y Apuntes Teórico-Prácticos De Ingeniera Civil Para Compartir Con Ustedes.: <https://Www.Ingenierocivilinfo.Com/2010/04/Sistema-De-Clasificacion- Aashto.Html>

- El Turrito Maty. (03 De Junio De 2018). *Definicion Del Suelo Desde El Punto De la ingenieria Civil*. Obtenido De Scribd: <https://Es.Scribd.Com/Document/368301088/Definicion-Del-Suelo-Desde-El-Punto-De-La-Ingenieria-Civil>
- Flores Zavaleta, S., Morillo Ortega, A., Pérez Oré, J. L., Rodríguez Coronado, P., & Villanueva Jara, T. (2015). *Método Aashto-93*. Nuevo Chimbote: Ucv.
- Garcia Morales, A. R. (2015). *Diseño De Pavimento Asfáltico Por El Metodo Aashto-93 Empleando El Software Disaashto-93*. Bogota, Colombia.
- Geotecnia, Ingenieria & Construcccion. (2019). *“Mejoramiento Del Sistema De Drenaje Pluvial En La Localidad De San Rafael, Distrito De San Rafael – Provincia De Bellavista – Region San Martin”*. San Martin - Peru: Geotecnia, Ingenieria & Construcccion.
- Hernandez Salazar, M. A. (2016). *“Evaluación Comparativa Del Impacto Ambiental, De Pavimentos Flexibles Frente A Los Pavimentos Rígidos, Mediante El Análisis De La Variación De Temperatura”*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Inei. (2017). *Magnitud Y Crecimiento Poblacional*. Obtenido De <https://Www.Inei.Gob.Pe/Estadisticas/Indice-Tematico/Growth-And-Size-Of-Population/>
- Inei. (2018). *Producto Bruto Interno Por Departamentos*. Obtenido De <https://Www.Inei.Gob.Pe/Estadisticas/Indice-Tematico/Producto-Bruto-Interno-Por-Departamentos-9089/>
- Ing. M.Sc. Martínez Quiroz, E. N. (2012). *Guia De Mecanica De Suelos*. Tarapoto-San Martin: Universidad Nacional De San Martin.
- Ing. Phd. Jugo B. , A. (2010). *Diseño De Pavimentos Para Vias De Bajo Volumen*.
- Jimenez Garcia, C. A. (4 De Octubre De 2009). *Slideshare*. Obtenido De Slideshare: <https://Es.Slideshare.Net/Dnyrock/Diseo-Pavimentos>
- Manual Centroamericano Para Diseño De Pavimentos. (2002). *Manual Centroamericano Para Diseño De Pavimentos*. Guatemala.

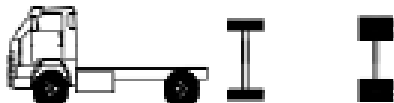
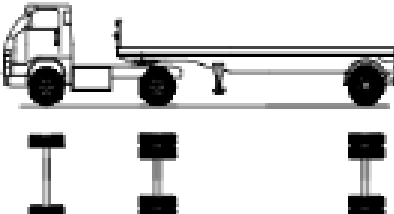
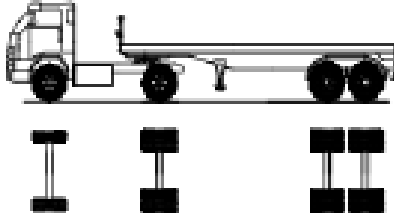
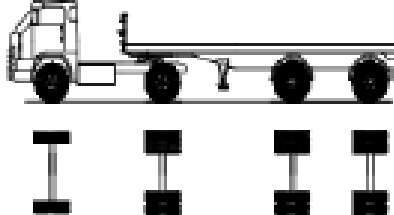
- Menendez Acurio, J. R. (2016). *Ingeniería De Pavimentos*. Lima: Instituto De La Construcción Y Gerencia.
- Minaya Gonzales , S., & Ordoñez Huaman , M. (2006). *Diseño Moderno De Pavimentos Asfálticos*. Lima: Icg.
- Ministerio De Transportes Y Comunicaciones. (2014). *Manual De Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia Y Pavimentos*. Lima.
- Ministerio De Transportes Y Comunicaciones. (2016). *Manual De Ensayo De Materiales*. Lima: Mtc.
- Ministerio De Vivienda, C. Y. (2010). *Norma Técnica Ce. 0.10 Pavimentos Urbanos*. Lima: Mvcs.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería De Pavimentos*. Bogotá: Agora Editores.
- Morales, B. (01 De Octubre De 2016). *Scribd*. Obtenido De Scribd: <https://es.scribd.com/document/326026048/La-Mecanica-De-Suelos>
- Rebaza Castrejon, F. K. (2018). *Análisis Técnico – Económico Del Diseño Con Método Aashto Y El Diseño Con Uso De Geomalla Multiaxial En El Pavimento Rígido De La Vía De Evitamiento Norte, Entre El Jr. Carlos Malpica Y La Av. Hoyos Rubio – Sector 10 San Antonio, Provincia Cajamarca-Cajam*. Cajamarca: Universidad Nacional De Cajamarca.
- Reglamento Nacional De Edificaciones. (2010). *Nte Ce.010 Pavimentos Urbanos*. Lima: Industrial Gráfica Apolo S.A.C.
- Salazar, L. A. (22 De Junio De 2014). *Scribd*. Obtenido De Scribd: <https://es.scribd.com/document/201467078/Pavimentos-Scrib>
- Vega Conza, R. (11 De Setiembre De 2014). *Scribd*. Obtenido De Scribd: <https://es.scribd.com/document/239442850/Traduccion-Yang-Huang>
- Zuloeta, K. (15 De Abril De 2019). *Scribd*. Obtenido De Scribd: <https://es.scribd.com/document/406375286/Datos-Importante-De-Pavimentos>

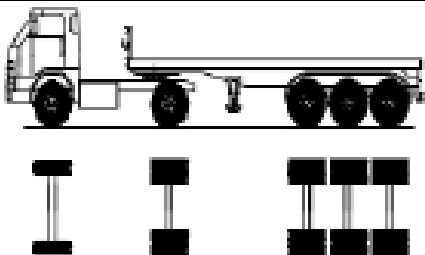
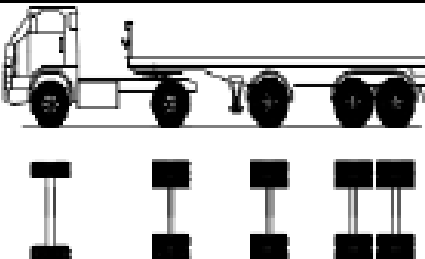
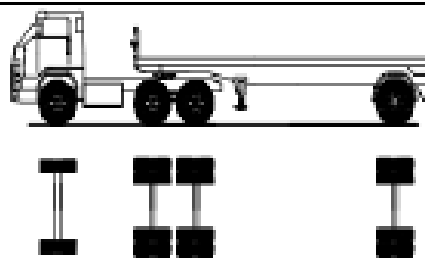
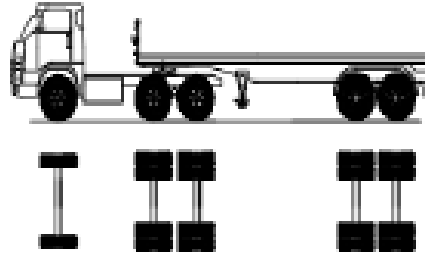
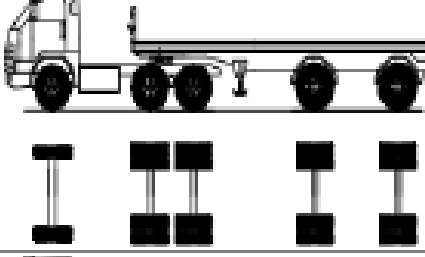
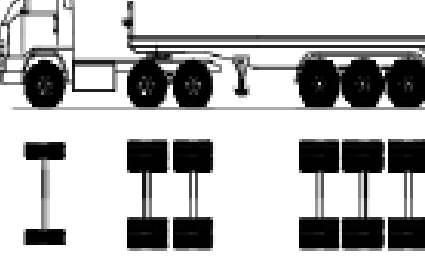
ANEXOS

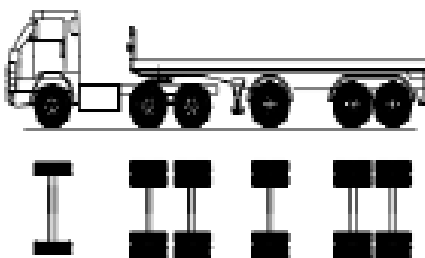
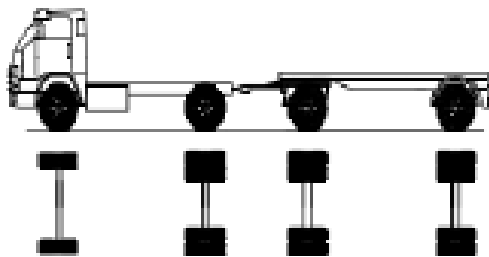
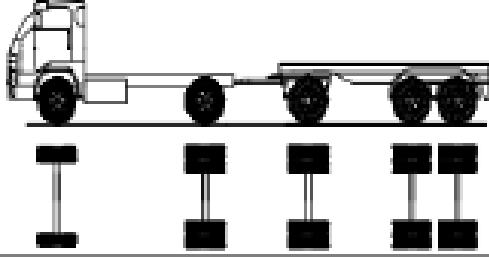
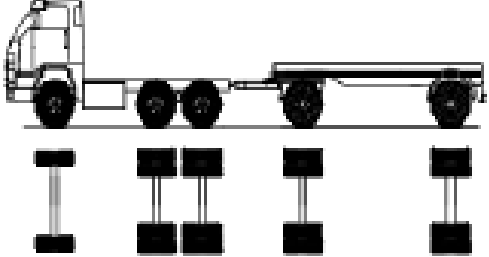
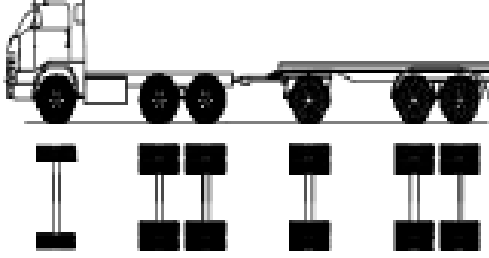
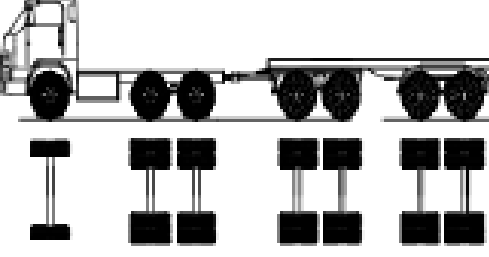
Anexo I

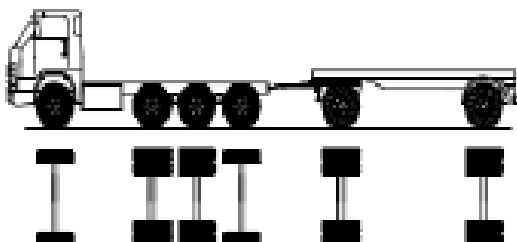
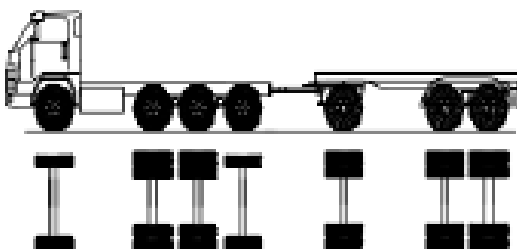
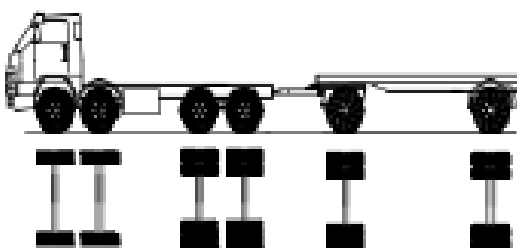
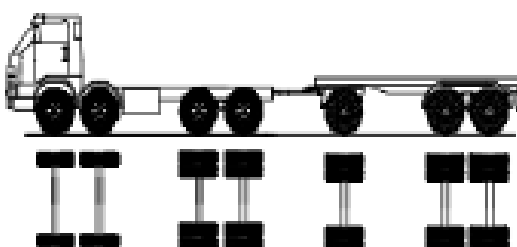
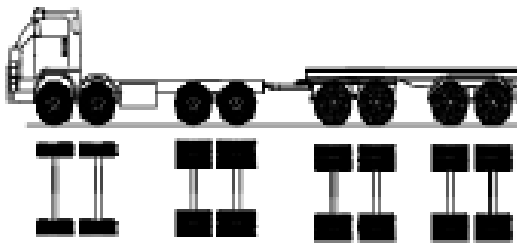
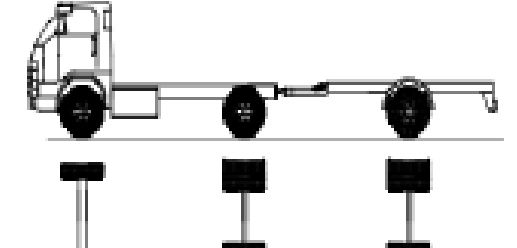
Tabla 55

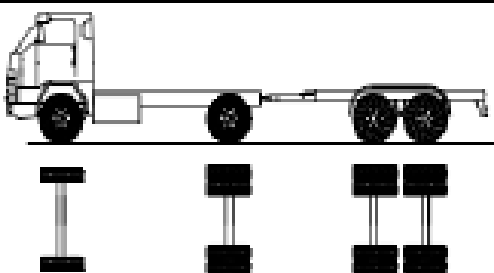
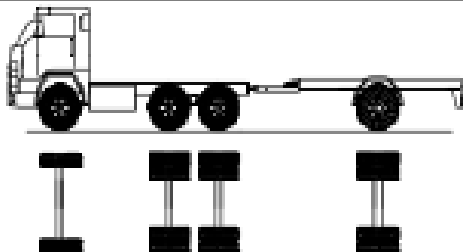
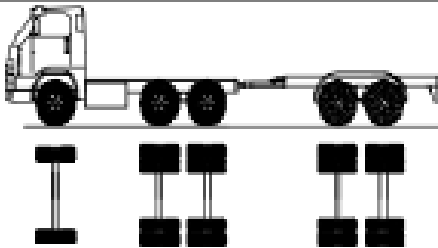
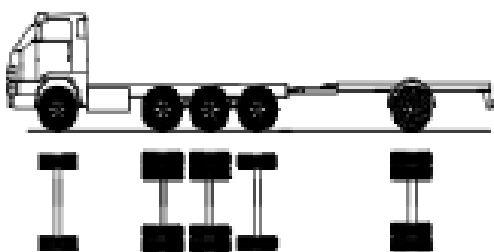
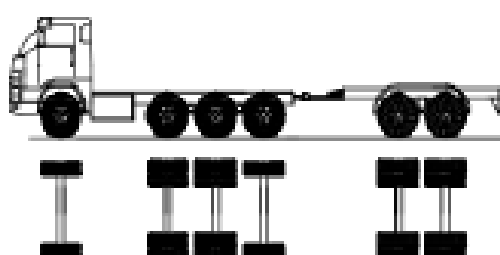
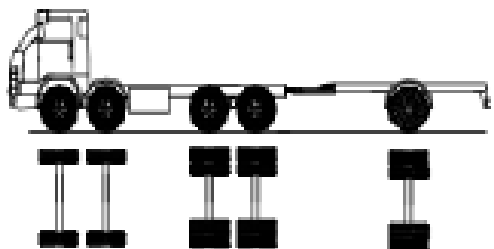
Pesos y medidas máximas permitidas

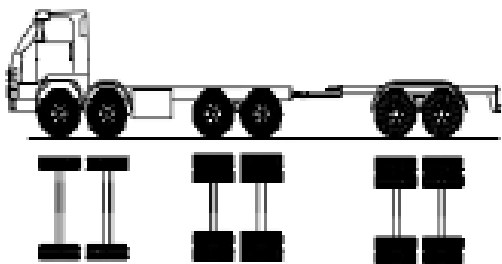
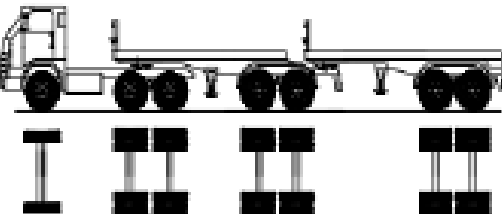
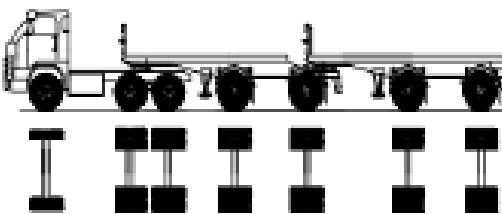
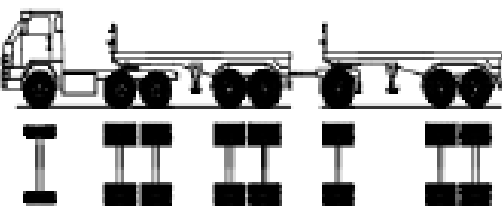
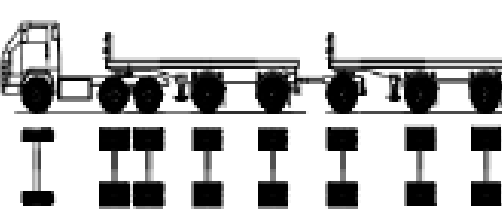
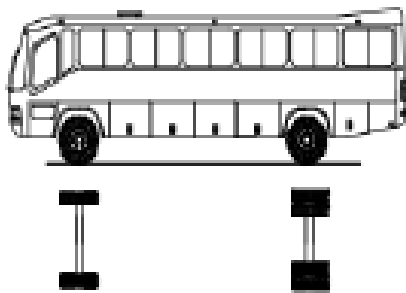
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)						Peso bruto máx. (t)
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores					
				1º	2º	3º	4º		
C2		12,30	7	11	---	---	---	18	
C3		13,20	7	18	---	---	---	25	
C4		13,20	7	23 ⁽¹⁾	---	---	---	30	
8x4		13,20	7+7 ⁽⁵⁾	18	---	---	---	32	
T2S1		20,50	7	11	11	---	---	29	
T2S2		20,50	7	11	18	---	---	36	
T2Se2		20,50	7	11	11	11	---	40	

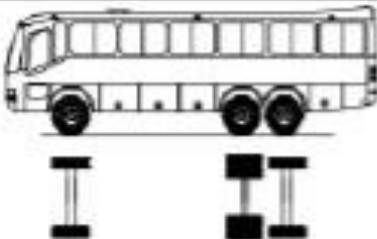
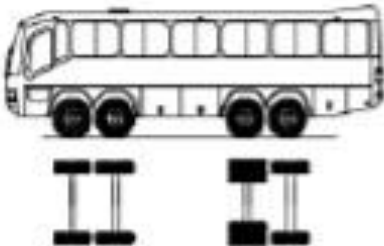
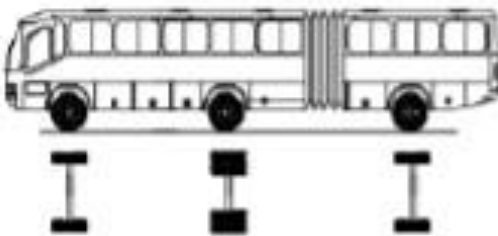
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)					Peso bruto máx. (t)
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º	4º	
T2S3		20,50	7	11	25	---	---	43
T2Se3		20,50	7	11	11 ⁽⁴⁾	18	---	47
T3S1		20,50	7	18	11	---	---	36
T3S2		20,50	7	18	18	---	---	43
T3Se2		20,50	7	18	11	11	---	47
T3S3		20,50	7	18	25	---	---	48 ⁽²⁾

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)					Peso bruto máx. (t)
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º	4º	
T3Se3		20,50	7	18	11 ⁽⁴⁾	18	---	48 ⁽²⁾
C2R2		23,00	7	11	11	11	---	40
C2R3		23,00	7	11	11	18	---	47
C3R2		23,00	7	18	11	11	---	47
C3R3		23,00	7	18	11	18	---	48 ⁽²⁾
C3R4		23,00	7	18	18	18	---	48 ⁽²⁾

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º		4º
C4R2		23,00	7	23 ⁽¹⁾	11	11	---	48 ⁽²⁾
C4R3		23,00	7	23 ⁽¹⁾	11	18	---	48 ⁽²⁾
8x4R2		23,00	7+7 ⁽²⁾	18	11	11	---	48 ⁽²⁾
8x4R3		23,00	7+7 ⁽²⁾	18	11	18	---	48 ⁽²⁾
8x4R4		23,00	7+7 ⁽²⁾	18	18	18	---	48 ⁽²⁾
C2RB1		20,50	7	11	11	---	---	29

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1ª	2ª	3ª		4ª
C2RB2		20,50	7	11	18	---	---	36
C3RB1		20,50	7	18	11	---	---	36
C3RB2		20,50	7	18	18	---	---	43
C4RB1		20,50	7	23 ⁽¹⁾	11	---	---	41
C4RB2		20,50	7	23 ⁽¹⁾	18	---	---	48
Bx4 RB1		20,50	7+7 ⁽²⁾	18	11	---	---	43

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1ª	2ª	3ª	4ª	
8x4 RB2		20,50	7+7 ⁽⁵⁾	18	18	---	---	48 ⁽²⁾
T3S2 S2		23,00	7	18	18	18	---	48 ⁽²⁾
T3Se2 Se2		23,00	7	18	11 + 11 ⁽³⁾	11 + 11 ⁽³⁾	---	48 ⁽²⁾
T3S2 S1S2		23,00	7	18	18	11	18	48 ⁽²⁾
T3Se2 S1Se2		23,00	7	18	11 + 11 ⁽³⁾	11	11 + 11 ⁽³⁾	48 ⁽²⁾
B2		13,20	7	11	---	---	---	18

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º	4º	
B3-1		14,00	7	16	—	—	—	23
B4-1		15,00	7+7 ^(b)	16	—	—	—	30
BA-1		18,30	7	11	7	—	—	25

- Conjunto de ejes con un eje direccional
- Vehículos con facilidad de distribución de peso por ejes.
- Conjunto de ejes separados compuesto por dos ejes simple donde la distancia entre centro de ruedas es superior a 2.40m.
- Eje direccional.

Carga máxima para conjunto de ejes direccionales compuestos por dos ejes simples donde la distancia entre centro de ruedas es superior a 1.70 m.