



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES

DISEÑO DE PAVIMENTOS Y ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA
CALLE PASEO TRES DE NOVIEMBRE Y DE LA CALLE
COLOMBIA, DE LA CIUDAD DE CUENCA

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Ingeniero
Civil con énfasis en Gerencia de Construcciones

Autor:
Pablo Andrés Cárdenas Carpio

Director:
Christian Marcelo Moyano Tobar

Cuenca, Ecuador
2014

DEDICATORIA

El presente proyecto de estudio se lo quiero dedicar de manera especial a Dios por darme la vida, la sabiduría e iluminarme en todo el desarrollo del trabajo de grado, también quiero dedicarle a mis padres por haberme brindado su apoyo incondicional todo este tiempo y sus valiosos consejos que me ayudaron a perseverar hasta cumplir con mi meta.

De igual manera quiero dedicarles a mis familiares por haber estado siempre pendientes durante todo el desarrollo del trabajo de graduación.

AGRADECIMIENTO

Al término de este trabajo quiero agradecer al Ing. Christian Moyano, mi director, por haberme brindado su apoyo y conocimientos a lo largo del desarrollo del trabajo de grado y durante mi vida universitaria.

También quiero agradecer a todos los profesores de la escuela de Ingeniería Civil y Gerencia de Construcciones de la Universidad del Azuay, que de una u otra manera me ayudaron y me transmitieron parte de sus conocimientos, los mismos que me sirvieron de base para cumplir con mi gran meta de culminar exitosamente mi vida universitaria.

A mis padres y familiares cercanos por haber luchado junto a mí a lo largo de esta importante etapa de mi vida, siendo el pilar fundamental para cumplir con mi objetivo.

A todos mis compañeros de aula con los cuales compartimos grandes desafíos, los mismos que nos sirvieron para aprender a perseverar en este complicado camino.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas.....	vii
Índice de figuras	viii
Resumen.	ix
Abstract.....	x
Introducción.....	1
CAPÍTULO 1: ESTADO DEL CONOCIMIENTO	
1.1.1 Pavimento.....	2
1.1.1.1 Consideraciones generales	2
1.1.1.2 Materiales utilizados	3
1.2 Tipología del suelo de la subrasante.....	3
1.2.1 Propiedades de los suelos para subrasante.....	4
1.2.2 Clasificación de los suelos.....	6
1.2.3 Ensayo CBR.....	10
1.2.4 Ensayo de abrasión	12
1.2.5 Compactación	13
1.3 Análisis de tráfico.....	14
1.3.1 Volumen de tránsito.....	15
1.3.2 TPDA.....	16
1.3.3 Proyección del tráfico	17
1.3.4 Cálculo de ejes equivalentes.....	19
1.4 Elementos de la estructura de pavimento.....	22

1.4.1 Base.....	23
1.4.2 Sub – base	25
1.4.3 Mejoramiento	26
1.4.4 Tipos de pavimento.....	26
1.4.5 Descripción y elementos que integran el pavimento flexible.....	26
1.4.5.1 Tipos de superficies de rodadura en pavimentos flexibles.....	28
1.4.5.1.1 Carpeta asfáltica estructural	28
1.4.6 Descripción y elementos que integran el pavimento rígido	29
1.4.6.1 Tipos de pavimentos rígidos	31
1.4.6.2 Tipos de juntas en el pavimento rígido.....	32
1.4.6.3 Tipos y características de hormigones usados en pavimentos rígidos	34
1.4.7 Descripción y elementos que integran el pavimento articulado.....	35
1.4.7.1 Características del adoquín.....	37

CAPÍTULO 2: MODELACIÓN NUMÉRICA DEL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

2.1 Información requerida para el diseño de la estructura de pavimento de las calles	39
2.2 Diseño de la estructura del pavimento flexible	43
2.2.1 Método AASHTO.....	44
2.2.2 Método del Instituto de Asfalto Americano.....	57
2.3 Diseño de la estructura del pavimento rígido.....	68
2.3.1 Método AASHTO.....	69
2.3.2 Método de la PCA	84
2.4 Diseño de la estructura del pavimento articulado	98
2.4.1 Método AASHTO.....	99
2.4.2 Método del TRRL propuesto por el Transport and Road Research Laboratory	106
2.5 Análisis de precios unitarios y presupuesto	112
2.6 Especificaciones técnicas.....	124

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Análisis general de resultados.....	149
3.2 Comparación de vida útil de los diferentes tipos de pavimento	151
3.3 Comparación económica de los diferentes diseños de la estructura de pavimento para cada una de las calles	151
3.4 Comparación técnica de los diferentes espesores de las estructuras de pavimento para cada una de las calles	152
Conclusiones.....	154
Recomendaciones.....	157
Bibliografía.....	158
Anexo	159

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Presiones para penetraciones en prueba de CBR	11
Tabla 2: Determinación de ejes equivalentes para pavimentos flexibles y articulados	20
Tabla 3: Determinación de ejes equivalentes para pavimentos rígidos	20
Tabla 4: Granulometría de una base clase 1	23
Tabla 5: Granulometría de una base clase 2	24
Tabla 6: Granulometría de una base clase 3	24
Tabla 7: Granulometría de una base clase 4	24
Tabla 8: Granulometría de una sub base	25
Tabla 9: Especificaciones para el cemento portland	34
Tabla 10: Factor de distribución por carril	45
Tabla 11: Cargas por eje	46
Tabla 12: Factores de crecimiento de tránsito	46
Tabla 13: Factores de equivalencia de carga	47
Tabla 14: Niveles sugeridos de confiabilidad (R) y Zr	49
Tabla 15: Coeficientes de drenaje para cada capa	51
Tabla 16: Espesores mínimos recomendados	53
Tabla 17: Factor de distribución por carril	58
Tabla 18: Factor de crecimiento	59
Tabla 19: Factor de equivalencia de carga	60
Tabla 20: Grados de asfalto de acuerdo al tipo de clima	63
Tabla 21: Espesores mínimos de capas asfálticas sobre bases de tipo granular	64
Tabla 22: Calidad del drenaje	73
Tabla 23: Valores de coeficiente de drenaje	73
Tabla 24: Valores de coeficiente de transmisión de carga	74
Tabla 25: Módulo de elasticidad del concreto	74
Tabla 26: Recomendaciones para la selección de los pasadores de carga	77
Tabla 27: Efecto de la sub-base granular sobre los valores de k	87
Tabla 28: Tasas anuales de crecimiento de tránsito y sus factores de proyección	88
Tabla 29: Esfuerzo equivalente	90
Tabla 30: Factor de erosión	92
Tabla 31: Factor de conversión de materiales	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Límites de Atterberg.....	5
Figura 2: Símbolos clasificación de Suelos SUCS	7
Figura 3: Clasificación de Suelos SUCS.....	8
Figura 4: Clasificación de suelos Sistema AASHTO	10
Figura 5: Máquina de los ángeles	13
Figura 6: Curva de compactación	13
Figura 7: Configuración de ejes	20
Figura 8: Sección de estructura de pavimento flexible y distribución de cargas en el mismo...	27
Figura 9: Sección de estructura de pavimento rígido y distribución de cargas en el mismo.....	30
Figura 10: Estructura del pavimento articulado	36
Figura 11: Espesor de los adoquines y su uso	38
Figura 12: Coeficiente estructural del concreto asfáltico (a1).....	52
Figura 13: Coeficiente de capa de base granular (a2).....	52
Figura 14: Coeficiente de capa de sub-base granular (a3).....	53
Figura 15: Tensiones consideradas en el diseño	58
Figura 16: Factor de ajuste por presión de la llanta.....	61
Figura 17: Gráfica agregado de base de 15 cm de espesor.....	64
Figura 18: Gráfica agregado de base de 30 cm de espesor.....	64
Figura 19: Gráfica agregado de base de 45 cm de espesor.....	65
Figura 20: Nomograma AASHTO para diseño de pavimentos rígidos	71
Figura 21: Nomograma para determinar el módulo de reacción compuesto de la subrasante	75
Figura 22: Relaciones aproximadas entre los valores de resistencia y clasificación del suelo	86
Figura 23: Análisis de fatiga, repetición de carga admisible.....	91
Figura 24: Análisis de erosión, repetición de carga admisible.....	93
Figura 25: Coeficiente de capa de base estabilizada con cemento (a2)	101
Figura 26: Procedimiento de diseño para pavimentos articulados	108
Figura 27: Comparación de vida útil de los diferentes tipos de pavimento	151
Figura 28: Comparación económica de las diferentes estructuras de pavimento para la calle Paseo Tres de Noviembre	151
Figura 29: Comparación económica de las diferentes estructuras de pavimento para la calle Colombia	152
Figura 30: Comparación técnica de los espesores de las diferentes estructuras de pavimento para la calle Paseo Tres de Noviembre	152
Figura 31: Comparación técnica de los espesores de las diferentes estructuras de pavimento para la calle Colombia.....	153

Cárdenas C.
11-03-14

RESUMEN

DISEÑO DE PAVIMENTOS Y ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA CALLE PASEO TRES DE NOVIEMBRE Y DE LA CALLE COLOMBIA, DE LA CIUDAD DE CUENCA

La estructura de un pavimento es el componente principal dentro de un proyecto vial, el cual representa la mayor parte del presupuesto, existen tres diferentes tipos de estructura: flexible, rígido y articulado, los cuales son diseñados en función de dos parámetros, las características del suelo de la subrasante natural y las cargas de tráfico vehicular; en el presente estudio se realizará el diseño para dos calles de la ciudad de Cuenca utilizando dos métodos específicos para cada tipo de pavimento, con el objetivo de efectuar un análisis económico y técnico, el cual sirva para realizar una comparación entre las posibles soluciones existentes.

Palabras clave:

Pavimento, CBR, TPDA, ejes equivalentes, carpeta asfáltica, adoquín, AASHTO, número estructural, PCA, TRRL

Ing. Paúl Cornelio Cordero Díaz
DIRECTOR DE ESCUELA

Ing. Christian Marcelo Moyano Tobar
DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

Pablo Andrés Cárdenas Carpio

AUTOR

Cárdenas Carpio
14-03-14

ABSTRACT

PAVEMENT DESIGN AND ECONOMIC ANALYSIS OF PASEO TRES DE NOVIEMBRE STREET AND GRAN COLOMBIA STREET IN THE CITY OF CUENCA

The pavement structure is the main component of a road project, and which represents most of the budget. There are three different types of structure: flexible, rigid and articulated, all of which are designed based on two parameters: soil characteristics of the natural subgrade, and traffic loads. In the present study, a design for two streets of the city of Cuenca is performed using two specific methods for each type of paving. This is done in order to perform an economic and technical analysis that will serve to make a comparison between the possible existing solutions.

Keywords: pavement, CBR, TPDA equivalent axes, asphalt, Cobble, AASHTO, structural number, PCA, TRRL



Ing. Paul Cornelio Cordero Díaz
SCHOOL DIRECTOR



Ing. Christian Marcelo Moyano Tobar
THESIS DIRECTOR

Pablo Cárdenas C.
Pablo Andrés Cárdenas Carpio
AUTHOR



Lourdes Crespo
Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Cárdenas Carpio Pablo Andrés

Trabajo de graduación

Ing. Christian Marcelo Moyano Tobar

Marzo 2014

**DISEÑO DE PAVIMENTOS Y ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA CALLE PASEO
TRES DE NOVIEMBRE Y DE LA CALLE COLOMBIA, DE LA CIUDAD DE
CUENCA**

INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de la existencia, el ser humano ha buscado la manera de comunicarse con los demás, debido a lo cual ha desarrollado diversos métodos para la construcción de caminos, desde los elaborados a base de piedra y aglomerante hasta las grandes autopistas de pavimento flexible, rígido y articulado en la actualidad; siendo el sistema de transporte la base primordial para desarrollar la integración económica, social, cultural y para fomentar la convivencia entre los habitantes es de suma importancia el estudio del diseño de la estructura de pavimento de un eje vial dentro de la ingeniería de carreteras.

Para determinar la estructura de un camino, su calidad, naturaleza, espesor y composición, se debe tomar en cuenta varios factores como el volumen, el tipo de tráfico, la economía, la disponibilidad de materiales, las condiciones climáticas y tipos de suelo, así como también el método constructivo con el que se va a realizar el pavimento, los mismos que se desarrollaran a lo largo del presente estudio.

CAPÍTULO 1

ESTADO DEL CONOCIMIENTO

1.1.1 Pavimento

Un pavimento es una estructura vial constituida por un conjunto de capas superpuestas relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados; que tiene como función el permitir el tránsito de vehículos con seguridad, comodidad y con el costo óptimo de operación, durante el periodo para el cual fue diseñada. Este conjunto de capas que lo conforman se apoyan sobre la subrasante que está constituida en ocasiones por el terreno natural, cuando es de buena calidad o por un material seleccionado. (Montejo, 2002)

1.1.1.1 Consideraciones generales

El pavimento tiene una serie de funciones entre las cuales se describen las siguientes:

- Proporcionar una superficie de rodamiento segura, cómoda y de características permanentes.
- Resistir el tránsito previsto para el periodo de diseño y distribuir las presiones verticales producidas por las cargas del tránsito.
- Constituir una estructura que sea capaz de resistir los factores climatológicos del lugar en el que es construido.

También debe tener características funcionales que deben tomarse en cuenta:

- Resistencia al derrapamiento.- poseer una textura que se adapte a las velocidades de circulación previstas en el diseño.

- Regularidad transversal y longitudinal en la superficie de rodamiento para evitar incomodidad en el usuario.
- Propiedades de reflexión luminosa para la conducción nocturna.
- Drenaje superficial rápido.
- Ser económico.

1.1.1.2 Materiales utilizados

En la estructura de pavimento los materiales a ser usados en cada una de las capas están determinados en función del módulo de elasticidad, que en mezclas asfálticas se denomina modulo dinámico y en el caso de los materiales granulares y de los suelos de la subrasante es módulo de resiliencia. El módulo dinámico en mezclas de asfalto está en dependencia de la temperatura sobre el pavimento; para simular los efectos de temperatura y sus cambios a través del año, se utilizan tres distribuciones típicas del promedio mensual de temperatura que a su vez representan tres regiones típicas. Este módulo está en función directa del tiempo de fraguado y para la elaboración de las tablas de diseño se tomará 6 meses. (Montejo, 2002)

En el caso de no contar con suelos adecuados para la estructura de pavimento que cumplan con las exigencias o especificaciones técnicas se utilizarán estabilizadores como cal o cemento que ayuden a mejorar las propiedades y características de cada una de la capas; siempre que sea económicamente factible.

1.2 Tipología del suelo de la subrasante

La subrasante es la capa de suelo en la que se apoya la estructura del pavimento, ésta debe soportar las cargas producidas por el tránsito dentro de un periodo de tiempo determinado (periodo de diseño) sin sufrir deterioros o deformaciones que afecten la integridad de la estructura del pavimento. Es muy importante el estudio de sus propiedades y características, ya que el espesor de un pavimento depende en gran parte de la calidad de material que contiene, que tiene que cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad y sobre todo inmunidad a la expansión y contracción por efectos de humedad. (Rico, 1998)

Para determinar las propiedades básicas de la subrasante se deben realizar diversos ensayos utilizando cargas estáticas como son el CBR (California Bearing Ratio) o el ensayo de compresión simple; con los cuales se podrá conocer en mejor forma el comportamiento de estos suelos. Las propiedades físico mecánicas son las características utilizadas para la selección de los materiales, las especificaciones de construcción y el control de calidad.

1.2.1 Propiedades de los suelos para subrasante

Los suelos tienen unas propiedades que los permite describir, identificar y clasificar, las mismas que se determinan por medio de muestras tomadas del lugar (calicatas) donde se realizará el proyecto para posteriormente en laboratorios especializados analizar de estas las siguientes propiedades:

- Granulometría.
- Límites de Atterberg.
- Densidad (proctor).
- Humedad.

Granulometría.- se refiere a la distribución de las partículas de suelo según el tamaño de las mismas y su porcentaje con respecto al peso total de la muestra, las propiedades de los suelos son función directa de su granulometría, para su determinación existen dos procedimientos: por tamizado con la ayuda de una serie de mallas o tamices normalizados con los que obtendremos la distribución granulométrica del tipo de suelo ensayado; y por sedimentación mediante un hidrómetro el cual no es muy utilizado. Con los resultados obtenidos se obtendrá una curva granulométrica para cada tipo de muestra de suelo lo cual nos servirá para poder clasificar el suelo en conjunto con otras propiedades que se estudiarán a continuación. (Das, 2002)

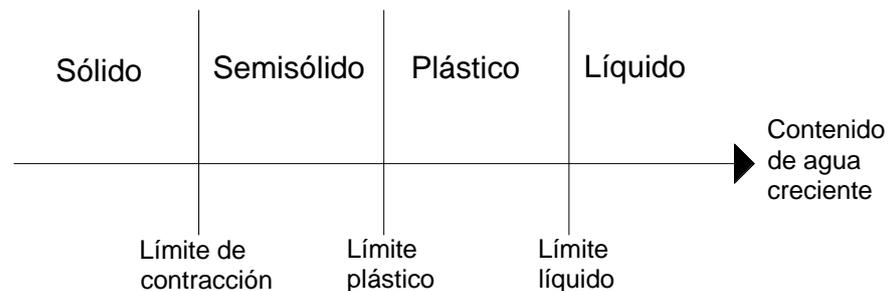
Límites de Atterberg.- establecen cuan sensible es el comportamiento de un suelo en relación con su contenido de humedad, este método se desarrolló para describir la consistencia de los suelos de grano fino que no podían ser analizados mediante granulometría. Dependiendo del contenido de agua que posea el suelo puede existir cuatro estados básicos: sólido, semisólido, plástico y líquido en base a los

cuales se obtienen los denominados límites de "Atterberg" que son: límite líquido, límite plástico, y el límite de contracción. (Das, 2002)

- **Límite líquido (LL):** estado de un suelo cuando pasa de plástico a semilíquido, puede moldearse.
- **Límite plástico (LP):** cuando el suelo pasa de un estado plástico a un semisólido, se rompe.
- **Límite de contracción (LC):** cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y deja de contraerse al perder humedad.
- **Índice de plasticidad (IP):** rango del contenido de humedad dentro del cual un suelo posee plasticidad.

$$IP = LL - LP \quad (\text{Ec. \# 1})$$

Figura 1: Límites de Atterberg



Fuente: Braja M. Das. (2001). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. México, p. 27

Humedad natural:

La humedad natural es la cantidad de agua existente por volumen de tierra, esta es una característica importante en suelos para subrasante ya que la resistencia que puede tener está en función de este parámetro, especialmente en suelos finos, la determinación de la humedad natural servirá para comparar con la humedad óptima obtenida del ensayo proctor que más adelante se procederá a su explicación más detallada que finalizará con la obtención del CBR del suelo, uno de los parámetros necesarios para el diseño de pavimentos. (Das, 2002)

1.2.2 Clasificación de los suelos

El objetivo de la clasificación de los suelos es conocer las propiedades que estos poseen, además de proporcionar un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales y a su vez agrupar la infinita cantidad de suelos existentes en la naturaleza en grupos determinados; existen 2 grandes sistemas que han desarrollado durante muchos años de estudio diagramas y tablas para explicar de manera concisa lo antes indicado que son: AASHTO (American Association Of State Highway and Transportation Officials) y el SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de suelos). (Blázquez & García, 2000)

Dentro del diseño de pavimentos es importante tener un conocimiento basto sobre este tema ya que servirá para tener una idea acerca del comportamiento que va tener un determinado suelo y predecir su comportamiento mecánico que será un factor determinante al momento del diseño de la estructura de pavimento. En base a las propiedades y características analizadas anteriormente se determina que para la clasificación de suelos gruesos se utilizará granulometría y para los suelos finos los límites de Atterberg, cuyo análisis se detallará a continuación para cada sistema.

Clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de suelos):

Sistema desarrollado por Arturo Casagrande, esta clasificación fue empleada en la Segunda Guerra Mundial, para la construcción de pistas de aterrizaje, años más tarde fue ligeramente modificado dando lugar a este Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, el mismo que fue adoptado por la ASTM como parte de sus métodos normalizados. La clasificación SUCS hace uso de símbolos para diferenciar los distintos grupos o tipos de suelo, que consisten de un prefijo que designa la composición del suelo y un sufijo que define sus propiedades. En función de estos símbolos, pueden establecerse diferentes combinaciones que definen uno y otro tipo de suelo. (Blázquez & García, 2000)

Figura 2: Símbolos clasificación de Suelos SUCS

Símbolos (SUCS)			
Tipo de suelo	Prefijo	Subgrupo	Sufijo
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobremente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite líquido alto	L
Turba	Pt	Límite líquido bajo	H

Fuente: Luís Bañón Blázquez & José García. (2000). Manual de Carreteras, España, p. 21

Este sistema divide en 3 grandes grupos a los diferentes tipos de suelos existentes en función de las propiedades como la granulometría y los límites de Atterberg para clasificarlos:

- 1) Suelos de grano grueso (G y S): Gravas y arenas con menos del 50% de contenidos en finos que pasan el tamiz # 200.
- 2) Suelos de grano fino (M y C): Suelos que contienen al menos un 50% de limos y arcillas.
- 3) Suelos orgánicos: (O y Pt): Constituidos principalmente de materia orgánica, inservibles como terreno de cimentación.

Además de estos casos también es posible algunos otros intermedios, para lo cual se emplea una doble nomenclatura. Ejm: Grava bien graduada que contiene entre un 5 a 12% de finos GW-GM. A continuación en la figura se muestra de manera resumida la clasificación que establece este sistema. (Blázquez & García, 2000)

Figura 3: Clasificación de Suelos SUCS

Tipología de suelos (SUCS)			
Símbolo	Características generales		
GW	Gravas (> 50% en tamiz # 4 ASTM)	Limpias (finos <5%)	Bien graduadas
GP			Pobremente graduadas
GM		Con finos (finos >12%)	Componente limoso
GC			Componente arcilloso
SW	Arenas (< 50% en tamiz # 4 ASTM)	Limpias (finos <5%)	Bien graduadas
SP			Pobremente graduadas
SM		Con finos (finos >12%)	Componente limoso
SC			Componente arcilloso
ML	Limos	Baja plasticidad (LL<50)	
MH		Alta plasticidad (LL>50)	
CL	Arcillas	Baja plasticidad (LL<50)	
CH		Alta plasticidad (LL>50)	
OL	Suelos orgánicos	Baja plasticidad (LL<50)	
OH		Alta plasticidad (LL>50)	
Pt	Turba	Suelos altamente orgánicos	

Fuente: Luís Bañón Blázquez & José García. (2000). Manual de Carreteras, España, p. 21

Clasificación AASHTO (American Association Of State Highway and Transportation Officials):

Este sistema de clasificación fue desarrollado en 1929 en EE UU por los geotécnicos Terzaghi y Holgentoger basándose en lo realizado por Casagrande, es la clasificación más usada en la ingeniería de carreteras debido a lo cual se tendrá más énfasis en el estudio ya que el desarrollo del presente trabajo se encuentra dentro de este ámbito.

La clasificación AASHTO considera siete grupos mayores de suelos numerados desde el A1 hasta el A7 con algunas subdivisiones dentro de cada uno. Este sistema divide en 2 partes principales a los diferentes grupos: el primero acoge a los grupos A1, A2 y A3 conformados por materiales granulares, donde el 35% o menos de las partículas pasan por el tamiz # 200; el segundo contiene a los grupos A4, A5, A6, y A7 los cuales están compuestos por más del 35% de partículas que pasan por el tamiz # 200 formados mayoritariamente por Limo y arcilla. (Blázquez & García, 2000)

Para la obtención de la clasificación más específica de cada grupo se deberá considerar ciertos parámetros y características que se analizarán a continuación:

- **Tamaño del grano**

En cuanto al tamaño del grano tenemos:

Grava: Fracción que pasa el tamiz de 75 mm y es retenida en el tamiz # 10.

Arena: Fracción que pasa el tamiz # 10 y es retenida en el tamiz # 200.

Limo y Arcilla: Fracción que pasa el tamiz # 200.

- **Plasticidad**

Para el caso de limos y arcillas: si las fracciones de finos tienen un índice de plasticidad de 10 o menor se consideran suelos limosos y si las fracciones de finos tienen un índice de plasticidad de 11 o mayor se consideran suelos arcillosos. Si queremos determinar la posición relativa dentro del grupo es necesario obtener el índice de grupo (IG), que es un número entero comprendido entre 0 y 20 el cual está en función del porcentaje de suelo que pasa por el tamiz # 200. (Das, 2001)

$$IG = (0,2 \times a) + (0,005 \times a \times c) + (0,01 \times b \times d) \quad (\text{Ec. \# 2})$$

En donde:

a: El % de exceso sobre 35% de suelo que pasa el tamiz # 200 sin pasar del 75%.

b: El % de exceso sobre 15% de suelo que atraviesa el tamiz # 200 sin pasar del 55%.

c: Exceso de Límite líquido superior a 40 e inferior a 60.

d: Exceso del índice de plasticidad superior a 10 y siempre inferior a 30.

A continuación se muestra en la figura la tabla resumen de la clasificación de los diferentes tipos de suelos considerando los parámetros estudiados anteriormente.

Figura 4: Clasificación de suelos Sistema AASHTO

División general	Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz # 200)							Materiales limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz # 200)				
Grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Subgrupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Análisis granulométrico (% que pasa por cada tamiz)												
# 10	≤ 50											
# 40	≤ 30	≤ 50	≥ 51									
# 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
Estado de consistencia (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz # 40)												
Límite líquido			NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≥ 41
Índice de Plasticidad	≤ 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
Índice de grupo	0	0	0	≤ 4		≤ B	≤ 12	≤ 20	≤ 20			
Tipología	Fragmentos de piedra, grava y arena	Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos			
Calidad	Excelente a buena						Aceptable a mala					

Fuente: Luís Bañon Blázquez & José García. (2000). Manual de Carreteras, España, p. 25

1.2.3 Ensayo CBR

Dentro del diseño de pavimentos una de las características más importantes para el análisis es conocer la capacidad portante del suelo que es la carga que éste es capaz de soportar sin que se produzcan asientos excesivos; para obtener esta resistencia en la ingeniería de carreteras se utiliza un índice denominado CBR (California Bearing Ratio) mediante el cual podemos obtener la capacidad portante del suelo en el que se va a trabajar. Esta prueba fue desarrollada por el departamento de carreteras del estado de California, de ahí su nombre, en la actualidad su uso está muy difundido y el método de diseño en ella fundado sirve para proporcionar más de la mitad de los pavimentos que se construyen en el mundo, esto por la sencillez del método al diseñar los pavimentos. (Das, 2001)

Este ensayo consiste en medir la carga necesaria para que un vástago de 19,4 cm² penetre un espécimen de suelo, a una velocidad de 0,127 cm/min, realizando

lecturas de carga cada vez que se consiga penetraciones de 0,25 cm. (Londoño, 2004)

Al C.B.R. se lo define como la relación expresada como porcentaje entre la presión que se necesita para penetrar los primeros 0,25 cm y la presión que se requiere para lograr la misma penetración en un material arbitrario, el cual adoptamos como patrón de referencia, una piedra triturada en la que se producen las presiones en el vástago que se indican en la siguiente tabla.

Tabla 1: Presiones para penetraciones en prueba de CBR

Presiones para distintas penetraciones del vástago en el material patrón. Prueba C.B.R.			
Penetración		Presión en el vástago	
cm	mm	kg/cm²	MPa
0,25	2,5	70	6,9
0,5	5	105	10,3
0,75	7,5	133	13
1	10	161	15,8
1,25	12,5	182	17,9

Fuente: Cipriano Londoño. (2004). Diseño Construcción y Mantenimiento de Pavimentos de Concreto, Colombia, p. 14

$$CBR = \frac{\text{presión en muestra de suelo}}{\text{presión en muestra patrón}} * 100 \quad (\text{Ec. \# 3})$$

Fuente: Luís Bañon Blázquez & José García. (2000). Manual de Carreteras, España, p. 18

Este índice de una manera general está entre un 2 a 4% para arcillas plásticas y hasta un 70% para materiales granulares; en resumen este ensayo nos indica que a menor valor de CBR de la subrasante es necesario colocar mayores espesores en la estructura de pavimento.

Características generales para el desarrollo del ensayo:

El espécimen de suelo sobre el cual se realiza el ensayo debe estar confinado en un molde con un diámetro de 15,2 cm y altura 20,3 cm; la muestra se prepara en tres capas, cada una varillada, luego se da una presión de 140 kg uniformemente

aplicados en la superficie del material. Para el correcto desarrollo de la prueba se preparan diferentes especímenes con humedades diferentes, hasta encontrar una muestra en la cual los 140 kg provoquen la exudación del agua por la base inferior del molde; con el objeto de representar las condiciones más desfavorables de humedad que van a prevalecer en el futuro pavimento.

1.2.4 Ensayo de abrasión

Los agregados a utilizarse en un pavimento deben tener la capacidad de resistir el desgaste irreversible y la degradación durante los procesos de producción, colocación y compactación del pavimento.

Por las condiciones que existen de esfuerzo-deformación la carga de la rueda se transmite hacia la superficie del pavimento a través de esta en forma de una presión vertical uniforme y alta; el pavimento mediante su estructura realiza una distribución de los esfuerzos de la carga, variando desde una máxima intensidad en la superficie hasta llegar a una mínima en la subrasante, esta es la razón por la cual los agregados que se encuentren en o cerca de la superficie de contacto con los vehículos como son los materiales de base y carpeta asfáltica, deben ser más resistentes que los agregados usados en las capas inferiores, sub base, de la estructura del pavimento, ya que tienen un mayor desgaste por las cargas de tránsito. (Blázquez & García, 2000)

Este ensayo consiste en colocar la muestra del agregado en una máquina denominada de los "Ángeles" junto con unas esferas de acero (diámetro de 47 mm y peso 445 g) a un número de revoluciones y un tiempo determinado en la norma, con el objeto de determinar el porcentaje de desgaste que tenga el agregado, cuyo valor servirá como uno de los parámetros necesarios para el análisis de bases, sub-bases y carpetas asfálticas utilizadas en la estructura de pavimento, que más adelante se estudiarán; además de verificar que los diferentes tipos de agregados existentes, cumplan con las exigencias necesarias para conformar las diferentes capas de la estructura de pavimento.

Figura 5: Máquina de los ángeles

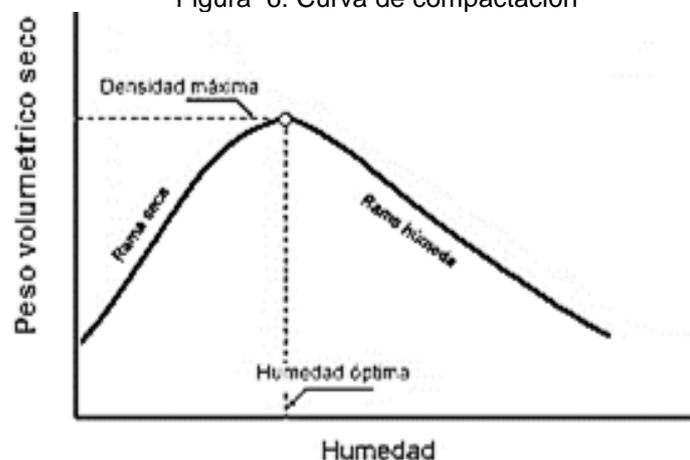


Fuente: Luís Bañon Blázquez & José García. (2000). Manual de Carreteras, España.

1.2.5 Compactación

La compactación es un proceso de densificación del suelo por remoción de aire, el cual incrementa las características de resistencia de los suelos, aumenta su capacidad de carga original y disminuye la cantidad de asentamientos indeseables en la estructura. El grado de compactación se mide en función del peso específico seco del suelo, cuando se agrega agua durante la compactación esta actúa como un ablandador de las partículas, el peso específico seco se incrementa conforme aumenta el contenido de agua hasta el punto en que más allá de un cierto contenido de agua tiende a reducir el peso específico del suelo; en resumen el contenido de agua bajo el cual alcanza el máximo peso específico se llama contenido de agua óptimo que se detalla en la figura. (Das, 2001)

Figura 6: Curva de compactación



Fuente: Braja M. Das. (2001). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.

La prueba de laboratorio usada para determinar el peso específico seco máximo de compactación y el contenido de agua óptimo es la denominada "Proctor" que se detalla a continuación.

Existen 2 tipos de proctor el estándar y el modificado pero para el caso de estudio que se está desarrollando solamente se utilizará el modificado que es el empleado en carreteras. Esta es una prueba con la cual se pretende obtener el máximo peso específico del suelo con un contenido de agua óptima aplicando una energía de compactación determinada. La expresión utilizada para la obtención del peso específico seco es:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w\%}{100}} \quad (\text{Ec. \# 4})$$

Fuente: Braja M. Das. (2001). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, México, p. 53

Donde:

γ = peso volumétrico humedo

γ_d = peso volumétrico seco

w = humedad

Finalmente al concluir el ensayo se obtendrá la respectiva curva de compactación del tipo de suelo con el que se está trabajando.

1.3 Análisis de tráfico

Otra de las variables más importantes dentro del diseño de la estructura de pavimento de una vía es el estudio del tránsito, que consiste en determinar el número de vehículos que circulan o circularán por ella, mediante el uso de diferentes métodos como el conteo manual y automático de vías de similares características para a su vez con los datos obtenidos proyectarlos en el tiempo según el periodo de diseño establecido para cada tipo de pavimento, con la ayuda de métodos matemáticos estadísticos; este factor es la guía para saber el servicio que prestará la vía y así poder realizar el diseño. (Coronado, 2002)

Los pavimentos se diseñan en función: del efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga establecida y la resistencia que debe tener a un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil, para esto es necesario determinar el tráfico promedio diario anual (TPDA) existente de vehículos livianos, buses y camiones, las cargas axiales equivalentes que estos producen y otros factores importantes que se desarrollaran en el presente estudio más adelante.

1.3.1 Volumen de tránsito

Dentro del análisis del tráfico es necesario definir lo que es el volumen de tránsito que es el número de vehículos que circulan en ambas direcciones por una sección de vía durante un periodo de tiempo específico, que puede ser horario, diario, semanal, mensual o anual. Para la obtención de este volumen se realizan diversos estudios los cuales varían dependiendo de la importancia y amplitud del proyecto; dentro de los métodos más utilizados para la obtención de estos aforos tenemos los conteos manuales y automáticos, los mismos que se realizan en la vía a construirse en el caso de poder hacerlo o se toman de vías de similares características con la que se está trabajando. (Salazar, 1997)

Conteo manual.- se realiza de manera manual utilizando personal de campo el cual se encarga de obtener los volúmenes de tráfico en una sección vial mediante registros en formularios diseñados específicamente para esto, una desventaja de este método es el costo y la dependencia ante las condiciones climáticas adversas ya que se trabaja con personal humano; con este método también se puede obtener datos como: clasificación de vehículos por tamaño, tipo, el número de ocupantes y movimientos como giros, etc.

Conteo automático.- se lo realiza mediante dispositivos mecánicos y electrónicos que sirven para registrar, clasificar y cuantificar automáticamente los volúmenes de tráfico que atraviesan una sección vial; estos dispositivos pueden ser cámaras de video detección, espiras o mangueras con los que se pueden obtener los datos antes mencionados.

1.3.2 TPDA

El TPDA es el Tráfico Promedio Diario Anual, el cual se define de manera general como el volumen de tráfico durante un periodo de tiempo, dividido para el número de días del periodo que en este caso al ser anual es 365 días, es una medida usada a nivel mundial en la ingeniería de carreteras.

$$TPDA = \text{Tráfico total en un año} / 365 \quad (\text{Ec. \# 5})$$

Para estimar de manera empírica el TPDA se necesita de parámetros o coeficientes que se obtienen a partir de las variaciones del tráfico vehicular mes a mes, día a día, hora a hora, con la ayuda de los métodos de conteo manual y automático explicados anteriormente; a continuación se explicará cada una de las variaciones y los coeficientes necesarios para el cálculo del TPDA.

-Variación mensual.- es el cambio del volumen de tráfico mes a mes en un conteo anual.

-Variación semanal.- es el cambio del volumen de tráfico semana a semana en un conteo mensual.

-Variación diaria.- es el cambio del volumen de tráfico día a día en un conteo semanal.

-Variación horaria.- es el cambio del volumen de tráfico hora a hora en un conteo diario.

La expresión general del TPDA es:

$$TPDA = TO * fe \quad (\text{Ec. \# 6})$$

Donde:

TO = tráfico observado

fe = factor de expansión

1.3.3 Proyección del tráfico

Una vez obtenido el volumen de tráfico actual (TPDA) se debe proceder a determinar el tránsito probable que va existir para el periodo de diseño con que el que se esté trabajando, para poder realizar esta proyección es necesario conocer las tasas anuales de crecimiento del tráfico y algunos factores de proyección que influyen en estos; la combinación de los diferentes factores y los estudios realizados durante muchos años originan tasas de crecimiento entre el 2% y 6% aproximadamente que son con las que se trabajaran para la proyección, las cuales también dependerán del tiempo del periodo de diseño previsto.

Proyección para vehículos livianos:

En cuanto se refiere a los vehículos livianos para realizar la proyección se utilizará el método logístico, el cual se basa en encontrar el índice de crecimiento de la tasa de motorización, que de una manera más general se define como la cantidad de vehículos por cada mil habitantes. Para el desarrollo de este método se debe considerar la suposición de que el parque automotor y la población crecen hasta el punto que en un tiempo determinado tiende a ser constante y se denomina Tasa de Saturación T_s .

$$T_m = \frac{T_s}{1 + e^{(a+bt)}} \quad (\text{Ec. \# 7})$$

Donde:

T_m =tasa de motorización en el año.

T_s = tasa de saturación.

e = base de logaritmo neperiano.

a, b = constante de relación.

t = tiempo.

Se linealiza la ecuación y se encuentra el valor de Ts más eficiente.

$$a + bt = In \frac{Ts}{Tm - 1} \quad (\text{Ec. \# 8})$$

$$i = \sqrt[n]{\frac{T_{VL} f}{T_{VL} a}} - 1 \quad (\text{Ec. \# 9})$$

Donde:

$T_{VL} f$ = Tráfico de vehículos livianos futuro.

$T_{VL} a$ = Tráfico de vehículos livianos actual.

i = Tasa de crecimiento de la motorización entre el período considerado.

n = Número de años transcurridos entre el período considerado.

Proyección para buses:

Para la obtención de esta proyección se necesita la tasa de crecimiento poblacional, que para el desarrollo del presente trabajo se tomará el índice de crecimiento de la ciudad de Cuenca.

$$T_B f = T_B a (1 + r)^n \quad (\text{Ec. \# 10})$$

Donde:

$T_B f$ = tráfico de buses futuro.

$T_B a$ = tráfico de buses actual.

r = tasa de crecimiento poblacional

n = número de años transcurridos entre el periodo considerado.

Proyección para camiones:

Para el caso de la proyección de camiones se utilizará la siguiente ecuación:

$$T_C f = T_C a (1 + r)^n \quad (\text{Ec. \# 11})$$

Donde:

T_{cf} = tráfico de camiones futuro.

T_{ca} = tráfico de camiones actual.

r = tasa de crecimiento de PIB.

n = número de años transcurridos entre el periodo considerado.

1.3.4 Cálculo de ejes equivalentes

Dentro del análisis de tráfico a más de la determinación del volumen de vehículos existente en una vía también se debe considerar las diferentes cargas que estos transmiten sobre la estructura de pavimento produciendo tensiones y deformaciones en el mismo, las cuales estarán en función del tipo de pavimento y de los espesores de las capas que lo conforman, ya que cada estructura de pavimento se comportará de manera diferente y las fallas serán distintas.

Debido a la diferencia que existe entre uno y otro automotor que circula por una vía es necesario transformar el volumen de tráfico en un número equivalente de ejes con una determinada carga, con el objeto de producir el mismo daño que toda la composición de tránsito mixto. Esta carga uniformizada ha sido obtenida mediante el Road Test de la AASTHO tras muchos años de pruebas en diferentes tipos de pavimentos con diferentes configuraciones de ejes y cargas para finalmente llegar a obtener el valor de 80 kN; la conversión para cada tipo de vehículo se realizará mediante el Load Equivalent Factor o LEF (Factor Equivalente de Carga) que más adelante se detallará. Para el cálculo de los ejes equivalentes (EE) se utilizarán relaciones simplificadas obtenidas de la Guía AASHTO, que han sido elaboradas en dependencia del tipo de vehículo, de las diferentes configuraciones de ejes que posee y del tipo de pavimento. (Coronado, 2002)

Tabla 2: Determinación de ejes equivalentes para pavimentos flexibles y articulados

Tipo de eje	Eje equivalente (8,2 t)
Eje simple de ruedas simples	$EE_{s_1} = (P/6,6)^4$
Eje simple de ruedas dobles	$EE_{s_2} = (P/8,2)^4$
Eje tandem (1 eje rueda doble + 1 eje rueda simple)	$EE_{t_{a1}} = (P/14,8)^4$
Eje tandem (2 ejes ruedas dobles)	$EE_{t_{a2}} = (P/15,1)^4$
Eje tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple)	$EE_{t_{r1}} = (P/20,7)^{3,9}$
Eje tridem (3 ejes de ruedas dobles)	$EE_{t_{r2}} = (P/21,8)^{3,9}$
P = peso real por eje en toneladas	

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú. (2013). Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Perú, p. 79

Tabla 3: Determinación de ejes equivalentes para pavimentos rígidos

Tipo de eje	Eje equivalente (8,2 t)
Eje simple de ruedas simples	$EE_{s_1} = (P/6,6)^{4,1}$
Eje simple de ruedas dobles	$EE_{s_2} = (P/8,2)^{4,1}$
Eje tandem (1 eje rueda doble + 1 eje rueda simple)	$EE_{t_{a1}} = (P/13)^{4,1}$
Eje tandem (2 ejes ruedas dobles)	$EE_{t_{a2}} = (P/13,3)^{4,1}$
Eje tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple)	$EE_{t_{r1}} = (P/16,6)^4$
Eje tridem (3 ejes de ruedas dobles)	$EE_{t_{r2}} = (P/17,5)^4$
P = peso real por eje en toneladas	

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú, (2013), Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Perú, p. 79

Figura 7: Configuración de ejes

2 D				CAMIÓN DE 2 EJES PEQUEÑO
2DA				CAMIÓN DE 2 EJES MEDIANOS
2DB				CAMIÓN DE 2 EJES GRANDES
3-A				CAMIÓN DE 3 EJES
4-C				CAMIÓN DE 4 EJES
4-0				CAMIÓN CON TANDDEM DIRECCIONAL Y TANDDEM POSTERIOR
V2DB				VOLQUETA DE DOS EJES 8 m ³
V3A				VOLQUETA DE TRES EJES 10-14 m ³
VZS				VOLQUETA S DE 3 EJES 16 m ³

T2				TRACTO CAMIÓN DE 2 EJES
T3				TRACTO CAMIÓN DE 3 EJES
S3				SEMIREMOLQUE DE 3 EJES
S2				SEMIREMOLQUE DE 2 EJES
S1				SEMIREMOLQUE DE 1 EJE
R2				REMOLQUE DE 2 EJES
R3				REMOLQUE DE 3 EJES
B1				REMOLQUE BALANCEADO DE 1 EJE
B2				REMOLQUE BALANCEADO DE 2 EJES
B3				REMOLQUE BALANCEADO DE 3 EJES

2S1				TRACTO CAMIÓN DE 2 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 1 EJE
2S2				TRACTO CAMIÓN DE 2 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 2 EJES
2S3				TRACTO CAMIÓN DE 2 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 3 EJES
3S1				TRACTO CAMIÓN DE 3 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 1 EJE
3S2				TRACTO CAMIÓN DE 3 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 2 EJES
3S3				TRACTO CAMIÓN DE 3 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 3 EJES
2R2				CAMIÓN REMOLCADOR DE 2 EJES Y REMOLQUE DE 2 EJES
2R3				CAMIÓN REMOLCADOR DE 2 EJES Y REMOLQUE DE 3 EJES
3R2				CAMIÓN REMOLCADOR DE 3 EJES Y REMOLQUE DE 2 EJES

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013). Norma Ecuatoriana Vial NEVI - 12 – MTOP. Quito - Ecuador, p. 39 - 40

Dentro del análisis de este tema también se debe considerar una característica importante el índice de serviciabilidad de un pavimento, que es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento normal de un vehículo, este valor está en función del tipo de pavimento y los materiales con los que se esté trabajando, a continuación los valores recomendables para este índice:

Índice de serviciabilidad inicial:

$P_o = 4,5$ para pavimentos rígidos.

$P_o = 4,2$ para pavimentos flexibles.

Índice de serviciabilidad final:

$P_t = 2,5$ para caminos de alto tráfico.

$P_t = 2$ para caminos de tráfico menor.

Fuente: Coronado Iturbide Jorge. (2002). Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, Guatemala, cap. 3; p. 4

Para la obtención del LEF (Factor Equivalente de carga) es necesario conocer el tipo de pavimento con el que se va trabajar ya sea rígido, flexible o articulado, el número estructural (SN), el espesor de las capas que componen la estructura del pavimento y el índice de serviciabilidad asumido para el diseño. Este factor se obtiene a partir de la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por la carga de un tipo de eje de 80 kN y la producida por un eje estándar en el mismo eje, como se muestra a continuación. (Coronado, 2002)

(Ec. # 12)

$$LEF = \frac{\text{número de ejes estándar de 80 kN que producen una pérdida de serviciabilidad}}{\text{número de ejes de 80 kN que producen la misma pérdida de serviciabilidad}}$$

Fuente: Coronado Iturbide Jorge. (2002). Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, Guatemala, cap. 3; p. 5

1.4 Elementos de la estructura de pavimento

Una estructura de pavimentos es un conjunto de capas que se apoyan en una llamada subrasante, que está constituida por el terreno natural, cuando es de buena calidad, o por otro material seleccionado (mejoramiento); la estructura del pavimento está compuesta por una capa superficial que se la denomina capa de rodadura que es la que está en contacto directo con los neumáticos de los vehículos cuyo material de composición dependerá del tipo de pavimento con que se esté trabajando, y unas capas inferiores llamadas base (cuando tiene sólo una) o base y sub-base (cuando se tienen dos). (Coronado, 2002)

1.4.1 Base

Capa inferior principal de la estructura de un pavimento, compuesta por agregados triturados total o parcialmente, estabilizados con agregado fino procedente de la trituración. Esta capa se colocará sobre una sub-base o en casos especiales sobre una subrasante previamente preparada, de acuerdo con los alineamientos, pendientes y sección transversal establecida en los planos o en las disposiciones especiales.

Las bases deberán cumplir con las siguientes características: el límite líquido de la fracción que pase el tamiz N° 40 deberá ser menor de 25 y el índice de plasticidad menor de 6; el porcentaje de desgaste por abrasión de los agregados (acápito 1.2.4, p. 12) será menor del 40% y el valor de soporte de CBR deberá ser igual o mayor al 80%. Existen diferentes clases de bases que se detallarán a continuación, de las cuales su uso dependerá de las condiciones con las que estemos trabajando como tipología de la subrasante natural, tráfico existente y tipo de pavimento. (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador [NEVI - 12 - MTOP], 2013)

Clase 1: Son bases constituidas por agregados gruesos y finos, triturados en un 100% y graduados uniformemente dentro de los límites granulométricos indicados para los Tipos A y B. (NEVI - 12 - MTOP, 2013)

Tabla 4 Granulometría de una base clase 1

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	Tipo A	Tipo B
2 in (50,8 mm)	100	
1 1/2 in (38,1 mm)	70 - 100	100
1 in (25,4 mm)	55 - 85	70 - 100
3/4 in (19 mm)	50 - 80	60 - 90
3/8 in (9,5 mm)	35 - 60	45 - 75
N° 4 (4,76 mm)	25 - 50	30 - 60
N° 10 (2 mm)	20 - 40	20 - 50
N° 40 (0,425 mm)	10 - 25	10 - 25
N° 200 (0,075 mm)	2 - 12	2 - 12

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013). Norma Ecuatoriana Vial NEVI - 12 – MTOP. Quito - Ecuador, p. 373

Clase 2: Son bases constituidas por fragmentos de roca o grava trituradas, cuya fracción de agregado grueso será triturada al menos el 50% en peso. Estas bases

deberán hallarse graduadas uniformemente dentro de los límites granulométricos indicados. (NEVI - 12 - MTOP, 2013)

Tabla 5: Granulometría de una base clase 2

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
1 in (25,4 mm)	100
3/4 in (19 mm)	70 - 100
3/8 in (9,5 mm)	50 - 80
N° 4 (4,76 mm)	35 - 65
N° 10 (2 mm)	25 - 50
N° 40 (0,425 mm)	15 - 30
N° 200 (0,075 mm)	3 - 15

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013). Norma Ecuatoriana Vial NEVI - 12 – MTOP. Quito - Ecuador, p. 374

Clase 3: Son bases constituidas por fragmentos de roca o grava trituradas, cuya fracción de agregado grueso será triturada al menos el 25% en peso. (NEVI - 12 - MTOP, 2013)

Tabla 6: Granulometría de una base clase 3

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
3/4 in (19 mm)	100
N° 4 (4,76 mm)	45 - 80
N° 10 (2 mm)	30 - 60
N° 40 (0,425 mm)	20 - 35
N° 200 (0,075 mm)	3 - 15

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013). Norma Ecuatoriana Vial NEVI - 12 – MTOP. Quito - Ecuador, p. 374

Clase 4: Son bases constituidas por agregados obtenidos por trituración o cribado de piedras fragmentadas naturalmente o de gravas. (NEVI - 12 - MTOP, 2013)

Tabla 7: Granulometría de una base clase 4

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
2 in (50,8 mm)	100
1 in (25,4 mm)	60 - 90
N° 4 (4,76 mm)	20 - 50
N° 200 (0,075 mm)	0 - 15

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013). Norma Ecuatoriana Vial NEVI - 12 – MTOP. Quito - Ecuador, p. 374

1.4.2 Sub – base

Capa inferior secundaria de la estructura de un pavimento, la cual se coloca sobre la subrasante previamente preparada, de conformidad con las alineaciones, pendientes y sección transversal señaladas en los planos. Esta capa debe cumplir con los siguientes parámetros: los agregados de que está compuesta deben tener un coeficiente de desgaste máximo de 50%, de acuerdo con el ensayo de abrasión de los Ángeles (acápite 1.2.4, p. 12) y la porción que pasa el tamiz N° 40 deberá tener un índice de plasticidad menor que 6 y un límite líquido máximo de 25. La capacidad de soporte será igual o mayor a un CBR del 30%.(NEVI-12-MTOP, 2013)

Las sub-bases pueden ser:

Clase 1: está formada por agregados gruesos provenientes de la trituración de grava o roca, mezclados con arena natural o material finamente triturado para alcanzar la granulometría especificada; al menos el 30% del agregado deberá obtenerse por proceso de trituración. (NEVI - 12 - MTOP, 2013)

Clase 2: está formada por agregados gruesos, obtenidos mediante trituración o cribado de gravas, yacimientos cuyas partículas estén fragmentadas naturalmente, mezclados con arena natural o material finamente triturado para alcanzar la granulometría especificada; al menos el 30% del agregado deberá obtenerse por proceso de trituración. (NEVI - 12 - MTOP, 2013)

Clase 3: está formada por agregados gruesos, obtenidos mediante cribado de gravas o rocas, mezclados con arena natural o material finamente triturado para alcanzar la granulometría especificada. (NEVI - 12 - MTOP, 2013)

Tabla 8: Granulometría de una sub base

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		
	Clase 1	Clase 2	Clase 3
3 in (76,2 mm)			100
2 in (50,4 mm)		100	
1 1/2 in (38,1 mm)	100	70 - 100	
N° 4 (4,75 mm)	30 - 70	30 - 70	30 - 70
N° 40 (0,425 mm)	10 - 35	15 - 40	
N° 200 (0,075 mm)	0 - 15	0 - 20	0 - 20

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013). Norma Ecuatoriana Vial NEVI - 12 – MTOP. Quito - Ecuador, p. 341

1.4.3 Mejoramiento

Material utilizado para mejorar las características y propiedades del suelo de la subrasante natural, el cual puede estar compuesto de un suelo granular, material rocoso o combinaciones de ambos, debe estar libre de material orgánico y escombros; su granulometría será tal que todas las partículas pasarán por un tamiz de cuatro pulgadas (100 mm) con abertura cuadrada y no más de 20 por ciento pasará el tamiz N° 200 (0,075 mm). La parte del material que pase el tamiz N° 40 (0,425 mm) deberá tener un índice de plasticidad no mayor de nueve y límite líquido hasta 35%, siempre que el valor del CBR sea mayor al 20%. (NEVI - 12 - MTOP, 2013)

La densidad de la capa compactada deberá ser el 95% en vez del 100% de la densidad máxima.

1.4.4 Tipos de pavimento

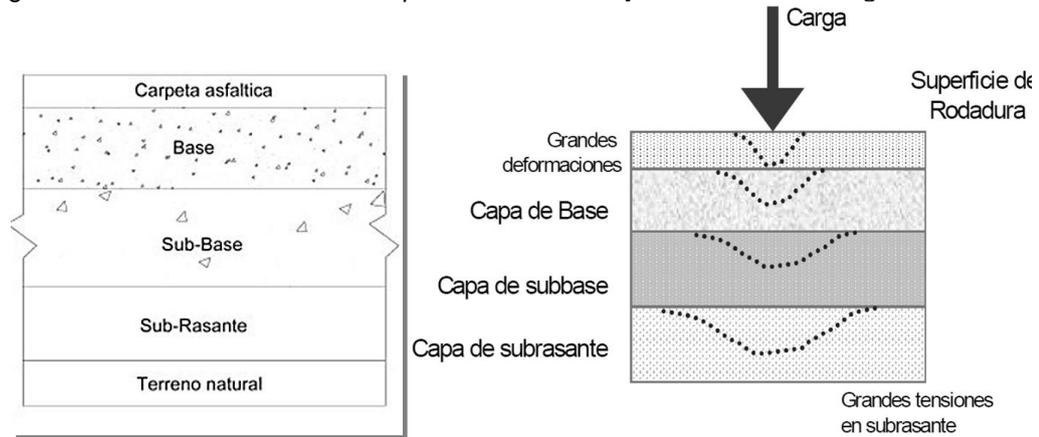
Los tipos de pavimentos que se desarrollarán en el presente trabajo serán:

- Pavimento rígido. (Concreto de Cemento Portland)
- Pavimento flexible. (Concreto Bituminoso)
- Pavimento articulado.

1.4.5 Descripción y elementos que integran el pavimento flexible

También llamado de concreto bituminoso o asfáltico es una estructura que generalmente está constituida de dos o más capas, una capa de subrasante preparada y compactada, una capa de sub-base que puede ser omitida dependiendo de la calidad de la subrasante, una capa de base que se coloca sobre la sub-base o la subrasante y una carpeta asfáltica que consiste de una mezcla de material bituminoso y agregados que se coloca sobre la base; este tipo de pavimento no posee juntas. En la figura a continuación se puede observar los elementos que conforman este pavimento.

Figura 8: Sección de estructura de pavimento flexible y distribución de cargas en el mismo



Fuente: Coronado Iturbide Jorge. (2002). Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, Guatemala, cap. 5; p. 1

Como se observa en la figura 8 en un pavimento flexible, la superficie de rodadura al tener una rigidez baja se deforma más y se producen mayores tensiones en la subrasante, característica que se tiene que tener muy en cuenta al momento del diseño. (Coronado, 2002)

Cada una de las capas que lo conforman cumplen una función específica dentro de toda la estructura, las mismas que se detallarán a continuación:

Base.- se construye bajo la carpeta asfáltica, su función fundamental es resistir los esfuerzos verticales producidos por el tráfico y transmitirlos en forma uniforme a la sub-base; no debe deformarse bajo la repetición constante del tránsito; su composición debe estar acorde a lo indicado en el acápite 1.4.1 p. 23-24.

Sub-base.- la inclusión de esta capa en la estructura dependerá de la capacidad de soporte de la subrasante, su función es proporcionar una cimentación uniforme, disminuir las deformaciones que puedan existir por cambios bruscos de temperatura o expansiones por cambio en el contenido de agua en el suelo y también tiene la función de drenante por lo que no debe poseer materiales finos, además debe impedir la ascensión capilar; su composición debe estar acorde a lo indicado en el acápite 1.4.2 p. 25. (Coronado, 2002)

Carpeta asfáltica.- es la capa superior su función es proporcionar una superficie uniforme y estable, de textura y color conveniente, debe resistir los efectos abrasivos del tráfico y debe impedir en lo posible el paso de agua al interior de la estructura. (Coronado, 2002)

1.4.5.1 Tipos de superficies de rodadura en pavimentos flexibles

Dentro del estudio de un pavimento flexible existe varias superficies de rodadura, las cuales no todas poseen capacidad estructural, a continuación se detalla la clasificación general:

- Mezcla asfáltica en el lugar: (posee capacidad estructural)

 - Elaborado con moto conformadora.

 - Elaborado con mezcladora ambulante.

- Mezcla asfáltica en planta. (posee capacidad estructural)

- Tratamientos superficiales: (no tiene capacidad estructural)

 - Simple o de un riego.

 - Doble o de dos riegos.

 - Triple o de tres riegos.

- Macadam asfáltico.

1.4.5.1.1 Carpeta asfáltica estructural

Dentro de las superficies de rodadura existentes las mezclas asfálticas, ya sea elaborada en el lugar o en planta, son consideradas como estructurales ya que contribuyen en el soporte de cargas y distribución de esfuerzos existentes, debido a lo cual serán las que se considerarán para el diseño de la estructura del pavimento flexible que más adelante se desarrollará. Esta capa al encontrarse en la parte superficial y estar sometida al contacto directo con los neumáticos y a la intemperie debe ser resistente, impermeable, antideslizante y duradera, para cumplir con la función para la cual fue diseñada. (Coronado, 2002)

Esta carpeta se elabora a través de una mezcla de agregados pétreos con aglomerantes bituminosos emulsificados o asfaltos rebajados; los materiales pétreos a usar son suelos inertes que pueden provenir de ríos, arroyos, de

depósitos naturales llamados minas, o rocas, los cuales generalmente necesitan cribado y triturado para poder ser usados.

Entre las características más importantes que deben cumplir los agregados pétreos para la mezcla asfáltica son:

- Granulometría.
- Dureza.
- Forma de partícula.
- Adherencia con el asfalto.

La granulometría deberá satisfacer las normas respectivas ya que estos materiales al ser cubiertos totalmente por el asfalto, si la granulometría cambia, también cambiarán la superficie a cubrir.

- **Contenido óptimo de asfalto**

Es la cantidad de asfalto necesario para formar una membrana alrededor de los materiales o partículas; debe tener un espesor suficiente, ya que si no tiene la cantidad necesaria el asfalto podrá oxidarse fácilmente; y si es muy gruesa no soportará la carga de los vehículos por falta de resistencia o estabilidad. Se recomienda que los materiales tengan la forma más cúbica posible, no se deberá usar materiales en forma de lajas o de aguja, ya que estas se rompen fácilmente y cambia la granulometría.

La dureza se puede comprobar a través de la prueba de densidad y desgaste; para verificar si el material tiene o no una buena adherencia se puede conocer por medio de pruebas de desprendimiento por fricción, de pérdida de estabilidad por inmersión en agua y la prueba inglesa. (Coronado, 2002)

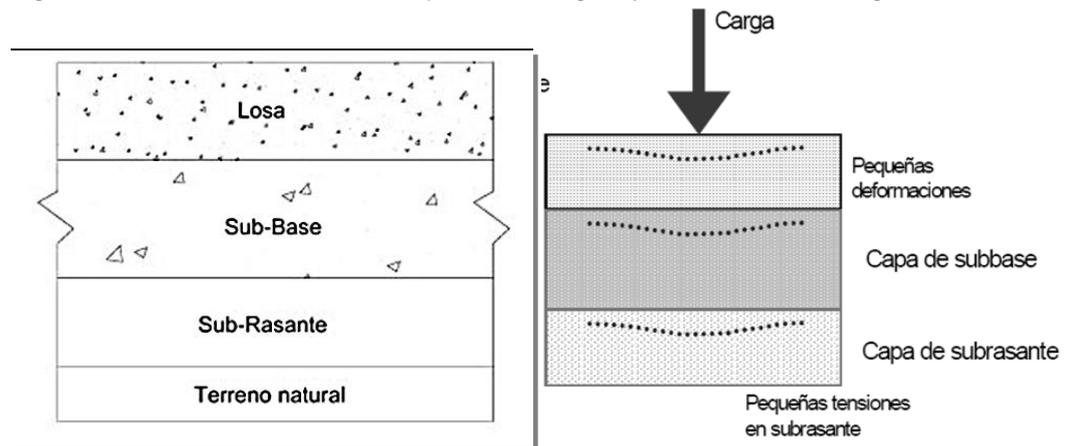
1.4.6 Descripción y elementos que integran el pavimento rígido

También llamado de concreto hidráulico, fundamentalmente está constituido por una losa de hormigón que en algunas ocasiones puede presentar un armado de hierro (según el tipo de pavimento rígido), dicha losa está apoyada sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado, denominada sub-base, esto

en dependencia del tipo de suelo de la subrasante, pues cuando los suelos de ésta son de naturaleza granular, con frecuencia la capa de sub-base se omite.

La capacidad estructural de este pavimento depende de la resistencia de la losa, por lo que las capas subyacentes (sub-base y subrasante) ejercen poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.

Figura 9: Sección de estructura de pavimento rígido y distribución de cargas en el mismo



Fuente: Coronado Iturbide Jorge. (2002). Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, Guatemala, cap. 5; p. 1

Como se observa en la figura anterior en este tipo de estructura de pavimento, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, a la alta rigidez y al elevado coeficiente de elasticidad, se produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante. Este pavimento tiene un costo inicial más elevado que el flexible, pero resulta mucho más económico a largo plazo, debido a que tiene una larga vida útil, entre 20 y 40 años, el mantenimiento que requiere es mínimo y comúnmente sólo se hace en las juntas de las losas, además es fácil de reparar. (Coronado, 2002)

Cada una de las capas que lo conforman cumplen una función específica dentro de toda la estructura, las mismas que se detallarán a continuación:

Losa de hormigón.- capa superior de la estructura de pavimento, elaborada con concreto hidráulico, es el principal elemento estructural del pavimento rígido, y tiene como funciones: proporcionar al tráfico una superficie estable, impermeable, uniforme, de textura apropiada, recibir y resistir las cargas impuestas por los

vehículos, absorber la mayor parte de los esfuerzos y transmitirlos a la sub-base o a la subrasante en magnitudes acordes a su resistencia. (Coronado, 2002)

Para que dichas funciones se puedan cumplir a cabalidad, evitando la generación de grietas en el hormigón, debido a la disminución del contenido de humedad, es importante el curado que se le dé a la losa, por lo que generalmente se coloca una membrana de curado de concreto a base de parafina y agua con un pigmento blanco para reflejar el calor producido por los rayos solares; y en las juntas, tanto transversales como longitudinales, se coloca un material sellante que deberá ser elástico, y resistente a los efectos de combustibles y aceites automotores.

Sub-base.- se construye bajo la losa de hormigón, sus funciones son: impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento debido a la infiltración de agua, suministrar un apoyo uniforme, estable, permanente; ayudar a controlar los cambios volumétricos de la subrasante y disminuir al mínimo la acción de estos sobre el pavimento. Su composición debe estar acorde a lo indicado en el acápite 1.4.2. p. 25.

Dentro de las principales ventajas que ofrece este tipo de pavimento, se puede mencionar:

- Menor costo total, incluyendo construcción y mantenimiento.
- Menores costos de operación de la carretera, alargan la vida útil de los vehículos.
- Indeformabilidad: el hormigón no se deforma en las zonas de frenado y arranque de los vehículos.
- Mejor drenaje superficial, no se deforma ni encharca.
- Seguridad: menor posibilidad de deslizamiento de vehículos en superficies mojadas, existe mayor adherencia entre el neumático y el pavimento.
- La superficie del pavimento es más plana y fácil de limpiar.
- Fácil reparación.

1.4.6.1 Tipos de pavimentos rígidos

Los pavimentos rígidos pueden dividirse en 3 tipos en función de la armadura de hierro que posean:

- **Hormigón simple con juntas:** no contiene armadura de refuerzo en la losa y el espaciamiento entre juntas de contracción transversal es pequeño entre 2,50 a 5 m. Las juntas pueden o no tener dispositivos de transferencia de cargas.
- **Hormigón armado con juntas:** tienen espaciamientos mayores entre juntas de contracción transversales de 5 a 12 m y llevan armadura de refuerzo distribuida en la losa para efectos de controlar y mantener cerradas las fisuras de contracción del hormigón; posee una excelente transferencia de cargas de paño a paño de losa.
- **Hormigón armado con refuerzo continuo:** tienen armadura continua longitudinal y no tienen juntas transversales ni longitudinales, excepto juntas de construcción. La armadura transversal es opcional en este caso. Estos pavimentos tienen más armadura que los de hormigón armado con juntas y el objetivo de esta armadura es mantener un espaciamiento adecuado entre fisuras y que éstas permanezcan cerradas.

1.4.6.2 Tipos de juntas en el pavimento rígido

Dentro del estudio de un pavimento rígido es importante el análisis de las juntas, ya que estas fundamentalmente ayudan a controlar la fisuración y agrietamiento natural que sufre el concreto durante el proceso constructivo y de uso, además tienen las siguientes funciones:

- Dividir el pavimento en secciones adecuadas para el proceso constructivo.
- Permitir el alabeo de las losas por efecto de las cargas de tráfico.
- Permitir la transferencia de cargas entre losas.

Existen varios tipos de juntas pero las más importantes son:

Juntas constructivas.- este tipo de juntas se producen cuando se tiene que parar la obra por diversas causas para proseguir después, el método más común es rematando la obra contra una formaleta de madera que genera una cara lisa y dotar

la misma con pasadores de carga, la formaleta tiene que poseer agujeros que permitan insertar las dovelas y será quitada al momento de reiniciar las obras; se utilizará acero de $\varnothing \frac{3}{4}$ in de una longitud de 45 cm espaciado 40 cm con capuchones para la elaboración de esta junta. (Londoño, 2004)

Juntas transversales de expansión.- estas juntas se colocan cada 40 o 50 m, deben tener un espaciamiento mínimo de 1,5 cm; para la elaboración de esta junta se utilizará acero de $\varnothing \frac{3}{4}$ in de 45 cm de longitud espaciado 40 cm entre ejes, el un extremo de cada varilla debe estar anclado y el otro con un capuchón (debe ser móvil). (Londoño, 2004)

Juntas transversales de contracción.- este tipo de juntas asumen las tracciones del hormigón producidas por cambios de temperatura, se deben colocar: máximo cada 6 m de longitud, cuando el paño tenga máximo 30 m² de área, cuando la relación largo vs ancho no exceda de 1,5. Esta junta se la realiza por medio de corte y debe tener una profundidad mínima de $\frac{1}{3}h$ (h = espesor de la losa). Está compuesta por acero de $\varnothing \frac{3}{4}$ in (liso) de 45 cm de longitud espaciado 40 cm entre ejes, el un extremo estará anclado y el otro libre mediante el uso de un capuchón. (Londoño, 2004)

Junta longitudinal de contracción.- debe tener una profundidad mínima de $\frac{1}{3}h$ (h = espesor de la losa), está compuesta por acero de $\varnothing \frac{1}{2}$ in con una longitud de 96 cm espaciado 90 cm; ambos extremos deberán estar anclados en el hormigón.

Sellado de juntas:

Este procedimiento se realiza con el objeto de minimizar la filtración de agua superficial dentro de las juntas y las capas subyacentes; para esto se debe primero limpiar la junta con aire a presión, luego colocar un cordón de espuma flex a 1 – 1,5 cm de profundidad y por último verter el sellador de poliuretano autonivelante.

1.4.6.3 Tipos y características de hormigones usados en pavimentos rígidos

El hormigón utilizado en este tipo de pavimentos está compuesto por cemento tipo portland, agregados finos, agregados gruesos y agua en dosificaciones por peso, obtenidas en función de la resistencia que va tener este; el mezclado se debe realizar preferentemente de manera mecánica.

-Cemento tipo portland.- este tipo de cementos deben ajustarse a las normas AASHTO M85 y deben cumplir con las especificaciones que se indican en la siguiente tabla:

Tabla 9: Especificaciones para el cemento portland

AASHTO	Referencia
T- 89	Finura del cemento (por turbidímetro)
T - 105	Composición química del cemento
T - 106	Resistencia a la compresión del mortero del cemento
T - 107	Expansión del cemento en autoclave
T - 127	Muestreo del cemento
T - 131	Tiempo de fraguado (agua de Vicat)
T - 137	Contenido de aire del mortero de cemento
T - 153	Finura del cemento (permeámetro)
T - 154	Tiempo de fraguado (aguja de gilmore)
T - 186	Endurecimiento inicial del cemento

Fuente: Coronado Iturbide Jorge. (2002). Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, Guatemala, cap. 5; p. 28

Para el diseño se deberá también indicar la resistencia que tendrá el hormigón, la cual corresponderá a una resistencia mínima a 28 días.

-Agregados finos.- compuesta por arena natural que posea partículas duras, será del tipo clase B según la AASHTO.

-Agregados gruesos.- compuesto por gravas o piedras trituradas parcial o totalmente, deben ser cribados.

-Agua.- debe ser preferentemente potable, estar limpia y libre de sustancias como: aceites, ácidos, álcalis, azúcar, sales, material orgánico o cualquier sustancia que pueda ser nocivo para el concreto o el acero.

1.4.7 Descripción y elementos que integran el pavimento articulado

Los pavimentos articulados o comúnmente llamados de adoquín son la estructura de pavimento más antigua, la cual a medida que avanzó la tecnología y los años ha sufrido grandes cambios que le han ayudado a mejorar significativamente sus características y resistencia; tiene un campo de aplicación muy amplio y es usado en carreteras cuyo mantenimiento es ineficiente; está compuesto por una capa de rodadura que es elaborada con bloques de concreto prefabricados, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí, estos se colocan 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 circularán por dicho pavimento. (Montejo, 2002)

Los elementos característicos de este tipo de pavimento y las funciones que desempeñan cada uno son:

Base.- se construye entre la subrasante y la capa de rodadura, esta le proporciona a la estructura mayor espesor y capacidad estructural al pavimento, su función principal es distribuir las cargas. Su composición debe estar acorde a lo indicado en el acápite 1.4.1 p. 23-24.

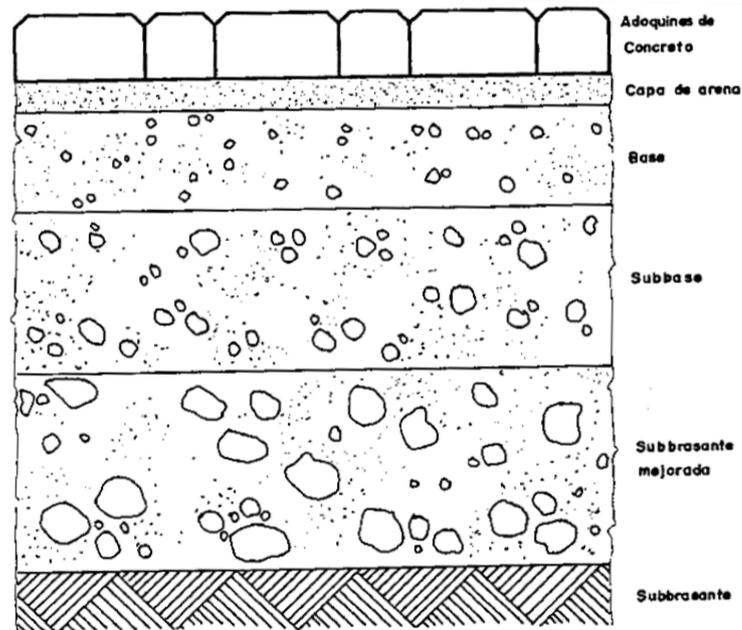
Sub-base.- la inclusión de esta capa en la estructura dependerá de la capacidad de soporte de la subrasante, se coloca bajo la base, y su composición debe estar acorde a lo indicado en el acápite 1.4.2 p. 25.

Capa de arena.- es de poco espesor de 3 a 5 cm, de arena gruesa y limpia, libre de materia orgánica, que sirve de asiento a los adoquines, absorbe las irregularidades que pudiera tener la base y también actúa como filtro para el agua que ocasionalmente pueda ingresar por las juntas entre dichos adoquines. (Montejo, 2002)

Los adoquines.- deben ser uniformes en sus dimensiones, forma, textura, color, deben tener una resistencia adecuada y homogénea para soportar las cargas del tránsito, la absorción del agua, y en especial, el desgaste producido por los neumáticos de los vehículos.

Sello de arena.- está constituido por arena fina que se coloca para llenar las juntas entre los adoquines, además sirve como sello de estas y contribuye a que los elementos de la capa de rodadura (adoquines) funcionen como una sola unidad.

Figura 10: Estructura del pavimento articulado



Fuente: Montejo Fonseca Alfonso. (2002). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Bogotá – Colombia, p. 369

Entre las ventajas que presenta este pavimento se pueden mencionar:

- Evita que el pavimento se deteriore o se fisure por acción de temperaturas extremas y acción de cargas.
- Es de fácil y rápida instalación.
- Fácil reparación sin rotura de elementos.
- Se comporta superficialmente mejor que el pavimento rígido en cuanto a su resistencia a la compresión y al desgaste, y por otra parte, mantiene las propiedades flexibles de los asfálticos, sin la dificultad de su deformación.

También es necesario detallar ciertas deficiencias que tiene este tipo de pavimento que son:

- Debido a la rugosidad superficial que presentan los adoquines, no es recomendable la utilización del pavimento articulado en calles con velocidades de circulación superiores a 60 o 65 km/h.

- Las fallas del pavimento articulado, pueden producirse por degradación de la base, si ésta no es la adecuada, y en ese caso, los elementos se desnivelan o se hunden perdiendo la regularidad en la superficie, impidiendo la correcta circulación por la misma.

1.4.7.1 Características del adoquín

Los adoquines son elementos macizos construidos con material pétreo y cemento, de espesor uniforme, iguales, con forma de prisma rectangular, poseen paredes verticales que les permiten ajustarse bien unos contra otros, para formar una superficie completa, dejando solo una junta entre ellos; estos sirven como capa de rodadura para los pavimentos que llevan su nombre. Geométricamente la relación entre la longitud y el ancho no debe ser mayor de 4, al igual que la relación de la longitud con el espesor tampoco debe ser mayor de 4. (Montejo, 2002)

En un adoquín se distinguen los siguientes elementos:

Cara superior.- llamada también superficie de desgaste, es la parte del adoquín sobre la cual circula el tránsito y que define la forma del mismo.

Cara inferior.- igual a la superior, sobre esta se apoya el adoquín en la capa de arena.

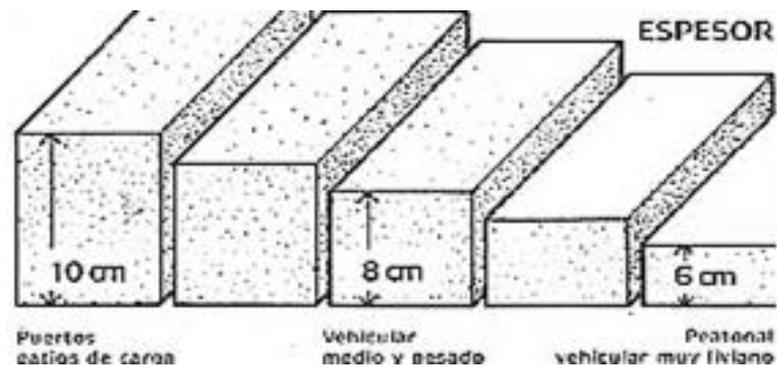
Caras laterales o paredes.- pueden ser curvas o rectas, pero siempre verticales y sin llaves; conforman el volumen y determinan el espesor del adoquín.

Aristas o bordes.- parte donde empalman dos caras o los quiebres de la cara lateral.

Bisel.- chaflán o plano inclinado ubicado en las aristas o bordes de la cara superior que se puede o no hacer en el momento de la fabricación. No debe tener más de 1 cm de ancho; no es indispensable, pero mejora la apariencia de los adoquines, facilita su manejo y contribuye al llenado de la junta.

Espesor.- Los adoquines se fabrican en espesores de 6 cm para tránsito peatonal y vehicular liviano; de 8 cm para vías de tránsito medio y pesado y de 10 cm para tránsito muy pesado (patios de carga y puertos).

Figura 11: Espesor de los adoquines y su uso



Fuente: Interlocking Concrete Pavement Institute.

Se debe recalcar que si un adoquín tiene menos de 6 cm de espesor no se considera como tal y se coloca como baldosa sobre mortero; también se aconseja usar adoquines de 8 cm para tener un mejor comportamiento de pavimento, a pesar de que exista un tráfico vehicular liviano bajo.

Para finalizar una vez construido el adoquín es necesario realizarle determinadas pruebas para verificar que cumpla con los requisitos de resistencia y propiedades requeridas, entre las cuales tenemos:

- Examen visual.- se verificará las medidas del adoquín, tomando una aproximación de +/- 1 mm.
- Absorción.- se comparará el porcentaje de absorción de la muestra con un porcentaje patrón, ya que si la absorción aumenta, disminuye la resistencia a la compresión del adoquín.
- Resistencia al desgaste.- luego de realizada la prueba establecida según la norma, se verificará que la disminución del espesor no sea mayor de 3cm.

CAPÍTULO 2

MODELACIÓN NUMÉRICA DEL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

2.1 Información requerida para el diseño de la estructura de pavimento de las calles

En el presente estudio se procederá a realizar el diseño de la estructura de pavimento (rígido, flexible y articulado) para las calles: Paseo Tres de Noviembre entre Los Cedros y Av. Ordoñez Lazo (sector San Sebastián) de una longitud de 228 metros y de la calle Colombia entre Av. México y Paseo S/N (sector El Batán) de una longitud de 361 metros, en la ciudad de Cuenca; para el desarrollo del mismo es preciso contar con la información mínima necesaria para poder empezar a trabajar, la cual consta del estudio de suelos y el análisis de tráfico de cada una de las calles. Cabe recalcar que toda esta información se la obtuvo a través de la Unidad Ejecutora de Proyectos del Municipio de la Ciudad de Cuenca, ya que el objetivo del presente trabajo es el diseño de la estructura de pavimento de cada una de las calles anteriormente descritas.

Estudio de suelos:

Para este estudio, la información brindada fue obtenida de la realización de calicatas a cielo abierto cada 100 m con una profundidad de 1,5 m, las mismas que sirvieron para realizar en primer lugar una clasificación visual – manual de los estratos que componen el suelo de fundación, así como la determinación del nivel freático en caso de existir; posteriormente las muestras fueron sometidas a una serie de pruebas estandarizadas de laboratorio, para determinar los parámetros físicos mecánicos para el diseño, las cuales son:

- Contenido de agua.
- Granulometría.
- Clasificación SUCS Y AASHTO .
- Límite líquido.
- Límite plástico.
- Compactación.
- CBR.

En base a lo descrito anteriormente se obtuvo los siguientes resultados para cada una de las calles:

- **Calle Paseo Tres de Noviembre:**

Análisis granulométrico:		Según lo indicado en el acápite 1.2.1, p. 4.
% grava	0,00%	
% arena	27,20%	
% finos	72,80%	

Límites de Atterberg:		Según lo indicado en el acápite 1.2.1, p. 5.
LL	68,11%	
LP	37,39%	
IP	30,71%	

Clasificación de suelos:		Limo de alta plasticidad Suelo arcilloso	Según lo indicado en el acápite 1.2.2, p. 6-10.
SUCS	MH		
AASHTO	A-7-5		

Compactación:		Según lo indicado en el acápite 1.2.5, p. 13-14.
Humedad natural:	20,26%	
Humedad óptima:	26,10%	

Fuente: Unidad Ejecutora de Proyectos del Municipio de la Ciudad de Cuenca.

La resistencia de la subrasante para fines viales, se la determina por medio del ensayo del CBR (California Bearing Ratio) indicado en el acápite 1.2.3 p. 10-12, y el valor a utilizar para el diseño de la estructura de pavimento corresponde al percentil del 95%.

CBR 95% = 1,70

- **Calle Colombia:**

Análisis granulométrico:	
% grava	28,92%
% arena	25,30%
% finos	45,77%
Límites de Atterberg:	
LL	55,12%
LP	30,96%
IP	24,16%

Según lo indicado en el acápite 1.2.1, p. 4.

Según lo indicado en el acápite 1.2.1, p. 5.

Clasificación de suelos:	
SUCS	GM
AASHTO	A-7-5

Grava con contenido de limo

Según lo indicado en el acápite 1.2.2, p. 6-10.

Suelo arcilloso

Compactación:	
Humedad natural:	19,07%
Humedad óptima:	22,80%

Según lo indicado en el acápite 1.2.5, p. 13-14.

Fuente: Unidad Ejecutora de Proyectos del Municipio de la Ciudad de Cuenca.

La resistencia de la subrasante para fines viales, se la determina por medio del ensayo del CBR (California Bearing Ratio) indicado en el acápite 1.2.3 p. 10-12, y el valor a utilizar para el diseño de la estructura de pavimento corresponde al percentil del 95%.

$$\text{CBR } 95\% = 8$$

Estudio de tráfico:

Otro de los parámetros importantes para el diseño de la estructura de pavimento es el análisis de tráfico de la vía, que de manera general se refiere al movimiento o circulación de vehículos por la sección de una carretera, determinado en la unidad de tiempo; la unidad utilizada en el presente estudio es el TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual), que es el número de vehículos que circulan por un tramo de vía dividido para 365 días del año. Una vez obtenido el tráfico existente de cada una de las calles se debe efectuar la proyección del mismo para el periodo de diseño con el

que se vaya a trabajar, que estará en función del tipo de pavimento. Lo indicado anteriormente se explicó con mayor profundidad en el acápite 1.3, p. 14-15.

La información del tráfico actual de cada una de las calles se obtuvo a través de la Unidad Ejecutora de Proyectos de la Municipalidad de Cuenca, el cual se encuentra en función del tipo de calle (principal, colectora, local); para el presente estudio tenemos:

- **Calle Paseo Tres de Noviembre.-** esta vía es del tipo colectora y su distribución vehicular es:

Distribución tráfico vehicular:	
Livianos	1789
Buses	114
Camiones C1	30
Camiones C2	71
Camiones C3	5
Camiones T3-S2	5

- **Calle Colombia.-** esta vía es del tipo local y su distribución vehicular es:

Distribución tráfico vehicular:	
Livianos	1380
Buses	74
Camiones C1	53
Camiones C2	11
Camiones C3	0
Camiones T3-S2	0

Fuente: Unidad Ejecutora de Proyectos del Municipio de la Ciudad de Cuenca.

Dentro del estudio del tráfico, existe un dato importante que se debe obtener antes de iniciar con el procedimiento de cálculo de cada uno de los métodos de diseño de la estructura de pavimento, que es la denominada tasa de crecimiento anual de tránsito de vehículos pesados (utilizados para diseñar un pavimento, se excluyen los livianos).

Para la obtención de esta tasa se tomó como información el número de vehículos motorizados que utilizan combustible diésel, por año en la provincia del Azuay, desde el 2007 hasta el 2012, los mismos que se obtuvieron a través del INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos); con los cuales se determinó la tasa de

crecimiento que ha existido en los últimos 5 años, que será la que se utilizará para el cálculo; a continuación se detalla una tabla con los respectivos valores de cada año.

Vehículos que utilizan como combustible el diésel:

Provincia	Año	Cantidad de vehículos
AZUAY	2007	6290
	2008	7807
	2009	7088
	2010	7306
	2011	8591
	2012	8513

Fuente: INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos).

Tasa de crecimiento anual de vehículos pesados = 6,25%

2.2 Diseño de la estructura del pavimento flexible

El pavimento flexible es uno de los más conocidos a nivel mundial, compuesto por varias capas que forman una estructura principal, cuyo objetivo primordial es resistir las cargas que se presenten sobre la misma; sus capas son: una inferior llamada subrasante, que debe ser preparada y compactada, otra denominada sub-base, una tercera llamada base que se coloca sobre la sub-base y una última denominada carpeta asfáltica que consiste de una mezcla de material bituminoso y agregados que va sobre la base (todo lo anterior explicado detalladamente en el acápite 1.4.5 p. 26-27).

El objetivo del diseño es determinar el espesor mínimo de cada una de las capas anteriormente descritas en función de 2 parámetros principales, las características del suelo de la subrasante natural y las cargas de tráfico vehicular, para cada una de las calles; estos tipos de estructuras de pavimentos se diseñan para un periodo de 10 años y los principales métodos utilizados a nivel mundial y en el país para el cálculo son, el de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y del Instituto de Asfalto Americano, los mismos que se desarrollarán a continuación.

2.2.1 Método AASHTO

Método de regresión creado por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), el cual ha sido desarrollado en función de varios factores, como la confiabilidad del método, los módulos de elasticidad de la subrasante y de las capas que forman la estructura, los factores ambientales, el drenaje, aspectos económicos y los conocimientos obtenidos de los diseños empíricos utilizados antiguamente.

Este método tuvo sus inicios en el año 1961, tomando como base para su desarrollo las ecuaciones obtenidas de las pruebas en Ottawa, Illinois, con tramos a escala natural y para diferentes tipos de pavimentos; con el pasar de los años, más el producto de la experiencia adquirida ha sufrido modificaciones que le han ayudado a mejorar significativamente, a más que ha adoptado parámetros que no se consideraban en los inicios que han permitido que el cálculo se asemeje más a la realidad que tiene un pavimento. (Rico, 1998)

La metodología AASHTO basa su diseño en obtener un "número estructural SN", que servirá para cuantificar la resistencia que el pavimento requiere para una determinada capacidad de soporte del suelo (CBR), tráfico esperado y pérdida de serviciabilidad; además en base a este valor, se obtendrá un conjunto de espesores para cada capa que conforma la estructura de este tipo de pavimento. El método utiliza para el diseño del pavimento una ecuación principal, en la cual involucra varios parámetros que se desarrollaran a continuación:

(Ec. # 13)

$$\log_{10} W_{18} = Z_r * S_0 + 9,36 * \log_{10}(SN + 1) - 0,2 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right)}{0,4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 * \log_{10} M_r - 8,07$$

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures. (1993). Washington D.C.- USA.

Donde:

W_{18} número de ejes equivalentes de 80 kN (18000 lb), en el periodo de diseño.

SN número estructural requerido.

M_R módulo de resiliencia de la subrasante en psi.

Z_r desviación estándar normal, que está en función de la confiabilidad del diseño.

S_0 desviación estándar por efecto del tráfico y de la predicción del comportamiento.

ΔPSI variación del índice de serviciabilidad.

-Tráfico (W_{18})

El cálculo de este factor, se lo obtiene mediante la determinación del número acumulado de ejes simples equivalentes de 80 kN (8,2 t) para un periodo de diseño establecido (10 años para este tipo de pavimento), utilizando la siguiente ecuación:

$$W_{18} = D_D * D_L * ESAL_{diseño} \quad (\text{Ec. \# 14})$$

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures. (1993). Washington D.C.- USA.

Donde:

D_D Factor de distribución direccional.- la norma recomienda 50%, pero puede variar de 0,3 a 0,7 dependiendo de la carretera y del tráfico.

D_L Factor de distribución por carril.- para la obtención de este factor existe una tabla donde se encuentran los valores recomendados según la AASHTO, la cual se muestra a continuación:

Tabla 10: Factor de distribución por carril

Nº carriles en cada sentido	Porcentaje de W18 en el carril de diseño
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4 o más	50 - 75

Fuente: Rico Rodríguez Alfonso. (1998). Pavimentos Flexibles Problemática Metodologías de Diseño y Tendencias, México, p. 63

$ESAL_{diseño}$ Número de cargas por eje simple equivalente

Para el cálculo del ESAL (equivalent single axle load), es necesario obtener ciertos datos que son: el factor de crecimiento (tabla 12), que está en función del periodo de diseño (10 años) y la tasa de crecimiento anual (obtenida en el acápite 2.1 p. 43), y el factor equivalente de carga o factor camión, que se obtiene en función del peso total por ejes de cada clase de vehículo (tabla 11), tomando en cuenta si son simples, tándem o tridem (explicado detalladamente en el acápite 1.3.4 p. 19-21 y en la figura 7), los diferentes valores para las posibles cargas se detallan en la tabla 13; el factor camión total se obtiene sumando los valores de la tabla por cada tipo de eje que conforma el vehículo a analizar. La metodología indica que para el diseño no se considerará los vehículos livianos.

La norma ecuatoriana establece una tabla (tabla 11) con los pesos promedio de los ejes (simples, tándem o tridem) que componen cada clase de vehículo, los mismos que servirán para poder determinar el factor equivalente de carga.

Tabla 11: Cargas por eje

TIPO DE VEHÍCULO	CARGA POR EJE (toneladas)		
	eje simple	eje tándem	eje tridem
Vehículos livianos	1	2,5	
buses	3,9	9,2	
camión (C1)	1,9	4,4	
camión (C2)	5,5	11	
camión (C3)	5,5	19	
camión T3 - S2	5,5	14	19

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013). Norma Ecuatoriana Vial NEVI - 12 – MTOP. Quito – Ecuador, p. 39

Tabla 12: Factores de crecimiento de tránsito

Periodo de análisis (años)	Factor sin crecimiento	Tasa de crecimiento anual (g) (en %)						
		2	4	5	6	7	8	10
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2,02	2,04	2,05	2,06	2,07	2,08	2,1
3	3	3,06	3,12	3,15	3,18	3,21	3,25	3,31
4	4	4,12	4,25	4,31	4,37	4,44	4,51	4,64
5	5	5,2	5,42	5,53	5,64	5,75	5,87	6,11
6	6	6,31	6,63	6,8	6,98	7,15	7,34	7,72
7	7	7,43	7,9	8,14	8,39	8,65	8,92	9,49
8	8	8,58	9,21	9,55	9,9	10,26	10,64	11,44
9	9	9,75	10,58	11,03	11,49	11,98	12,49	13,58
10	10	10,95	12,01	12,58	13,18	13,82	14,49	15,94
11	11	12,17	13,49	14,21	14,97	15,78	16,65	18,53
12	12	13,41	15,03	15,92	16,87	17,89	18,98	21,38

13	13	14,68	16,63	17,71	18,88	20,14	21,5	24,52
14	14	15,97	18,29	19,16	21,01	22,55	24,21	27,97
15	15	17,29	20,02	21,58	23,28	25,13	27,15	31,77
16	16	18,64	21,82	23,66	25,67	27,89	30,32	35,95
17	17	20,01	23,7	25,84	28,21	30,84	33,75	40,55
18	18	21,41	25,65	28,13	30,91	34	37,45	45,6
19	19	22,84	27,67	30,54	33,76	37,38	41,45	51,16
20	20	24,3	29,78	33,06	36,79	41	45,76	57,28
25	25	32,03	41,65	47,73	54,86	63,25	73,11	98,35
30	30	40,57	56,08	66,44	79,06	94,46	113,3	164,5
35	35	49,99	73,65	90,32	111,4	138,2	172,3	271,1

Fuente: Coronado Iturbide Jorge. (2002). Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, cap. 3; p. 25

Tabla 13: Factores de equivalencia de carga

Carga bruta por eje		Factores de equivalencia de carga		
kN	lb	Ejes simples	Ejes tandem	Ejes tridem
4,45	1 000	0,00002		
8,9	2 000	0,00018		
17,8	4 000	0,00209	0,0003	
26,7	6 000	0,01043	0,001	0,0003
35,6	8 000	0,0343	0,003	0,001
44,5	10 000	0,0877	0,007	0,002
53,4	12 000	0,189	0,014	0,003
62,3	14 000	0,36	0,027	0,006
71,2	16 000	0,623	0,047	0,011
80	18 000	1	0,077	0,017
89	20 000	1,51	0,121	0,027
97,9	22 000	2,18	0,18	0,04
106,8	24 000	3,03	0,26	0,057
115,6	26 000	4,09	0,364	0,08
124,5	28 000	5,39	0,495	0,109
133,4	30 000	6,97	0,658	0,145
142,3	32 000	8,88	0,857	0,191
151,2	34 000	11,18	1,095	0,246
160,1	36 000	13,93	1,38	0,313
169	38 000	17,2	1,7	0,393
178	40 000	21,08	2,08	0,487
187	42 000	25,64	2,51	0,597
195,7	44 000	31	3	0,723
204,5	46 000	37,24	3,55	0,868
213,5	48 000	44,5	4,17	1,033
222,4	50 000	52,88	4,86	1,22
231,3	52 000		5,63	1,43

240,2	54 000		6,47	1,66
249	56 000		7,41	1,91
258	58 000		8,45	2,2
267	60 000		9,59	2,51
275,8	62 000		10,84	2,85
284,5	64 000		12,22	3,22
293,5	66 000		13,73	3,62
302,5	68 000		15,38	4,05
311,5	70 000		17,19	4,52
320	72 000		19,16	5,03
329	74 000		21,32	5,57
338	76 000		23,66	6,15
347	78 000		26,22	6,78
356	80 000		29	7,45
364,7	82 000		32	8,2
373,6	84 000		35,3	8,9
382,5	86 000		38,8	9,8
391,4	88 000		42,6	10,6
400,3	90 000		46,8	11,6

Fuente: Minaya González Silene. (2006). Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos, Lima-Perú, p. 99

-Módulo de resiliencia (M_R)

El módulo de resiliencia, es un parámetro mediante el cual se mide las propiedades elásticas del suelo de la subrasante, es decir la rigidez que tiene; este se correlaciona de manera directa con el CBR y su cálculo se obtiene a través de las siguientes expresiones:

$$M_R(\text{psi}) = 1\,500 * CBR \quad \text{para } CBR \leq 10 \% \quad (\text{Ec. \# 15})$$

$$M_R(\text{kPa}) = 10\,342 * CBR \quad \text{para } CBR \leq 10 \% \quad (\text{Ec. \# 16})$$

Fuente: Minaya González Silene. (2006). Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos, Lima-Perú, p.112

-Desviación estándar normal (Z_r)

La desviación estándar normal, es un factor que está en función directa con la confiabilidad del proyecto (R), ya que el mismo representa el valor de la confiabilidad seleccionada, para un conjunto de datos en una distribución normal.

Confiabilidad (R):

La confiabilidad representa la probabilidad que una determinada estructura de pavimento se comporte de acuerdo a lo previsto, durante el periodo de diseño; el método AASHTO considera para la obtención de este valor una distribución normal, en donde mediante el uso de conceptos estadísticos se obtiene un porcentaje, considerando que a mayor nivel de confiabilidad, mayor será el espesor de la estructura de pavimento. (Minaya, 2006)

Los valores recomendados por la guía para este factor se detallan en la siguiente tabla los cuales están en función del tipo de vía que vayamos a diseñar.

Tabla 14: Niveles sugeridos de confiabilidad (R) y Zr

Clasificación funcional	Nivel recomendado de confiabilidad	
	Urbano	Rural
Interestatal y otras vías	85 - 99,9	80 - 99,9
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Colectores	80 - 95	75 - 95
Local	50 - 80	50 - 80

Confiabilidad R, %	Desviación estándar normal, Zr
50	-0
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,34
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,09
99,99	-3,75

Fuente: Minaya González Silene. (2006). Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos, Lima-Perú, p. 112

-Desviación estándar combinada (S_0)

Esta desviación es un valor que se obtiene combinando la variabilidad de la predicción del tráfico existente y de otros factores como construcción, medio ambiente, incertidumbre del modelo; para lo cual la guía AASHTO recomienda para estructuras de pavimento flexible un valor de $S_0 = 0,45$.

-Índice de serviciabilidad (PSI)

La serviciabilidad se define como un valor que indica el grado de confort que tiene la superficie donde se desplaza el vehículo, el cual varía de 0 (carretera imposible) hasta 5 (carretera perfecta); la guía AASHTO recomienda los siguientes valores dependiendo del tipo de vía:

Índice de serviciabilidad inicial:

$P_0 = 4,2$ para pavimentos flexibles.

Índice de serviciabilidad final:

$P_t = 2,5$ para caminos de alto tráfico.

$P_t = 2$ para caminos de tráfico menor.

Para la determinación de la variación del índice de serviciabilidad se utiliza la siguiente ecuación:

$$\Delta PSI = P_0 - P_t \quad (\text{Ec. \# 17})$$

***Cálculo del número estructural:**

Una vez determinados los diferentes parámetros analizados anteriormente (W_{18} , M_R , Z_r , S_0 , ΔPSI) se obtiene el número estructural (SN) por medio de la fórmula básica del método AASHTO para pavimentos flexibles que se explicó al inicio del acápite 2.2.1 p. 44, este número representa el espesor total del pavimento y debe ser transformado a espesores efectivos para cada una de las capas que conforman esta estructura, lo cual se realiza a través de la siguiente ecuación:

$$SN = a_1 * d_1 + a_2 * d_2 * m_2 + a_3 * d_3 * m_3 \quad (\text{Ec. \# 18})$$

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures. (1993). Washington D.C.- USA.

Donde:

d_1, d_2, d_3 espesores de las capas (en pulgadas).

m_2, m_3 coeficientes de drenaje para cada capa. (Tabla 15)

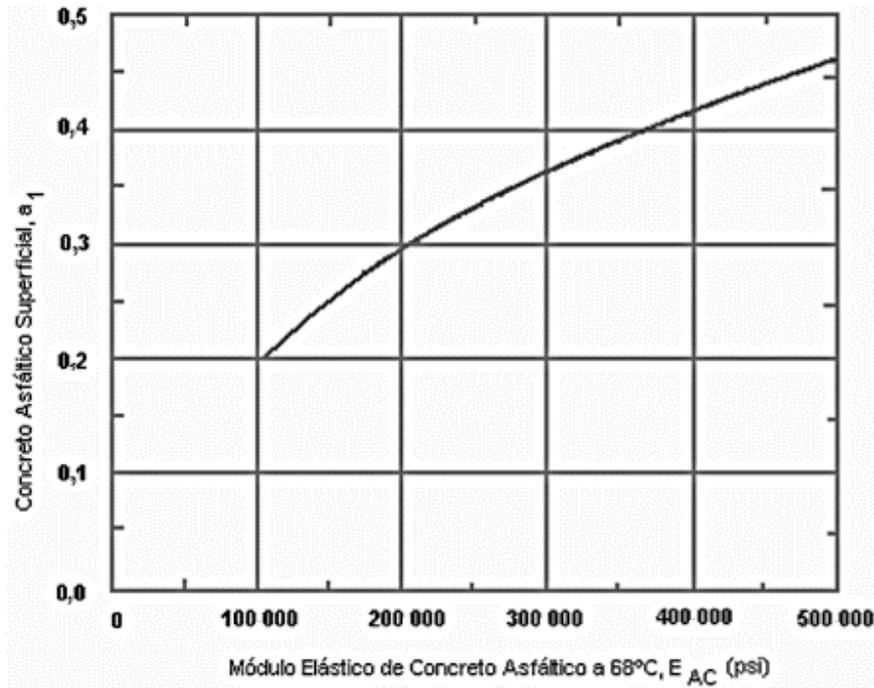
Tabla 15: Coeficientes de drenaje para cada capa

Calidad de drenaje	% de tiempo en que la estructura del pavimento es expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
	menos que 1%	1 - 5 %	5 - 25 %	mayor que 25%
Excelente	1,4 - 1,35	1,35 - 1,3	1,3 - 1,2	1,2
Bueno	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1	1
Regular	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1 - 0,8	0,8
Pobre	1,15 - 1,05	1,05 - 0,8	0,8 - 0,6	0,6
Muy pobre	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,4	0,4

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures. (1993). Washington D.C.- USA.

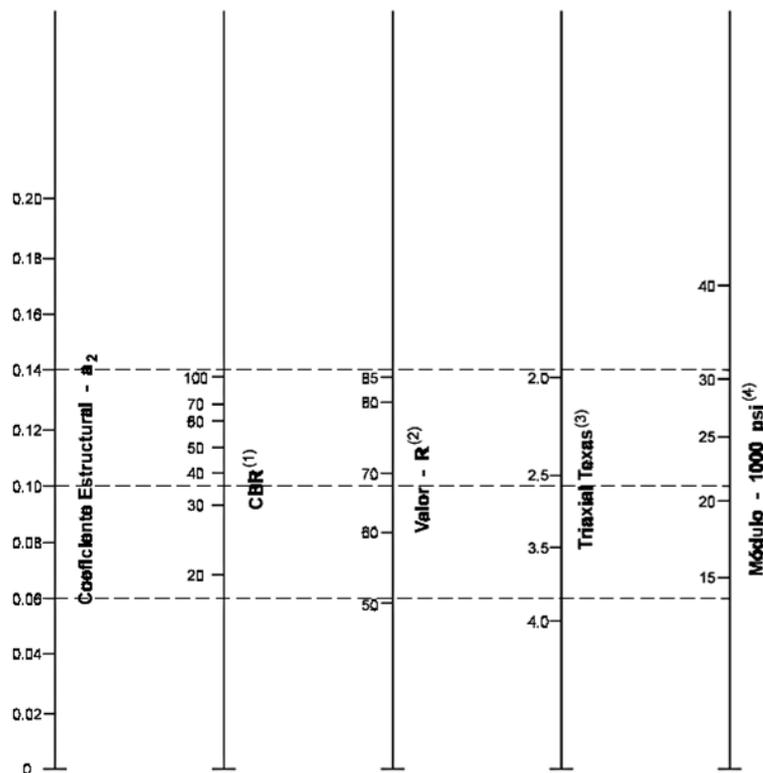
a_1, a_2, a_3 coeficientes estructurales de las capas, en el caso de materiales granulares dependerá del CBR que posea (para base figura 13 y para sub-base figura 14), para el caso de la carpeta asfáltica estará en función del módulo de elasticidad que tenga el mismo (figura 12).

Figura 12: Coeficiente estructural del concreto asfáltico (a_1)

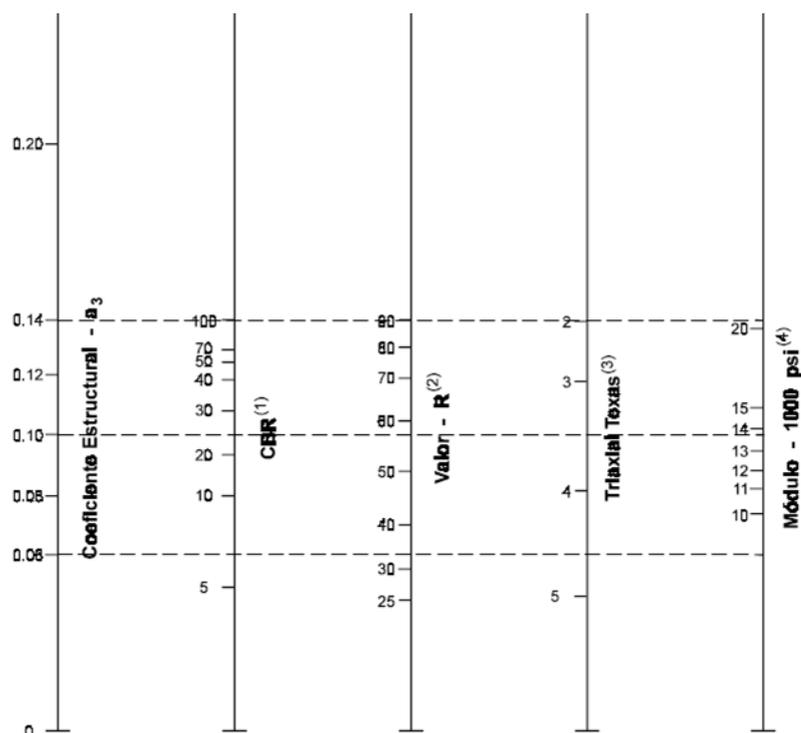


Fuente: Minaya González Silene. (2006). Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos, Lima-Perú, p. 114

Figura 13: Coeficiente de capa de base granular (a_2)



Fuente: Minaya González Silene. (2006). Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos, Lima-Perú, p. 115

Figura 14: Coeficiente de capa de sub-base granular (a_3)

Fuente: Minaya González Silene. (2006). Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos, Lima-Perú, p. 118

La ecuación para la obtención de los espesores efectivos de la estructura, no tiene una solución única, ya que puede existir diversas combinaciones entre los factores que lo componen; debido a lo cual se deben tener en cuenta las normativas en cuanto a los espesores mínimos recomendados y también se deberá considerar desde el punto de vista económico ya que cada capa tendrá un costo diferente, con el objetivo de lograr un balance adecuado al momento del diseño. Una vez realizado el cálculo se debe verificar que los espesores efectivos de las capas cumplan con la norma mínima que se detalla a continuación

Tabla 16: Espesores mínimos recomendados

Número de ESAL	Capas asfálticas	Base granular
menos de 50 000	3 cm	10 cm
50 000 – 150 000	5 cm	10 cm
150 000 – 500 000	6,5 cm	10 cm
500 000 – 2 000 000	7,5 cm	15 cm
2 000 000 – 7 000 000	9 cm	15 cm
más de 7 000 000	10 cm	15 cm

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures. (1993). Washington D.C.- USA.

Como información final se debe indicar que en la nueva norma del MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas) del Ecuador, el espesor mínimo para carpeta asfáltica es de 3 in (7,5 cm), para cualquier tipo de vía y condiciones de tránsito.

- **Diseño de la estructura de pavimento flexible por el método AASHTO para la calle Paseo Tres de Noviembre:**

Con los datos iniciales indicados en el acápite 2.1 p. 39-43, y la información desarrollada en el acápite 2.2.1 p. 44-54, se procederá a realizar el diseño de la estructura de pavimento flexible de esta calle, a continuación se detallará todo el proceso:

Datos:

CBR	1,7	%
T	10	años
r	6,25%	
D_D	0,5	

Cálculo ESAL (equivalent single axle load):

Tipo de vehículo	Cantidad (A)	Tipo de eje	Carga por eje (t) (Tabla 11)	Factor de carga (Tabla 13) (B)	Factor de crecimiento (Tabla 12) (C)	Tránsito de diseño ($D=A*C*365$)	ESAL de diseño ($B*D$)
Buses	114	Simple	3,9	1,788	13,34	555 077,4	992 478,4
		Simple	9,2				
Camiones C1	30	Simple	1,9	0,087	13,34	146 073	12 723,0
		Simple	4,4				
Camiones C2	71	Simple	5,5	3,628	13,34	345 706,1	1 254 221,7
		Simple	11				
Camiones C3	5	Simple	5,5	2,898	13,34	24 345,5	70 553,3
		Tandem	19				
Camiones T3-S2	5	Simple	5,5	3,704	13,34	24 345,5	90 175,7
		Tandem	14				
		Tandem	19				
Total						2 420 152,1	
W_{18}						1 210 076	

Módulo de resiliencia:

Mr (psi)	2 550
-----------------	-------

Desviación estándar normal:

R (Tabla 14)	90%
Zr	-1,282

Desviación estándar combinada:

So	0,45
-----------	------

Índice de serviciabilidad:

Po	4,2
Pt	2
ΔPSI	2,2

Número estructural: (ecuación 13)

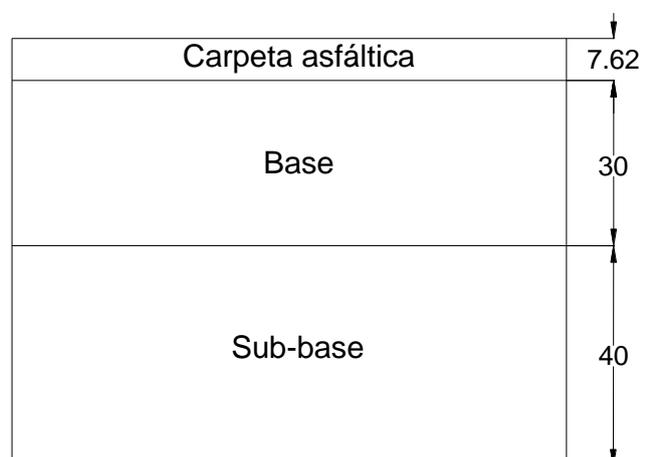
SN	4,88
-----------	-------------

Diseño de los espesores de las capas:**Datos:**

Concreto asfáltico	400 000 psi
Base Granular clase 1	CBR 80%
Sub-base granular clase 1	CBR 30%

Capas	espesor (pulgadas)	Coefficiente de capa (figura 12-14)	Coefficiente de drenaje (Tabla 15)	
Carpeta asfáltica	3	0,42		1,26
Base	11,8	0,135	1,1	1,752
Sub-base	15,7	0,11	1,1	1,899
			SN real	4,91

	cm
Carpeta asfáltica	7,62
Base	30
Sub-base	40



- **Diseño de la estructura de pavimento flexible por el método AASHTO para la calle Colombia:**

Con los datos iniciales indicados en el acápite 2.1 p. 39-43, y la información desarrollada en el acápite 2.2.1 p. 44-54, se procederá a realizar el diseño de la estructura de pavimento flexible de esta calle, a continuación se detallará todo el proceso:

Datos:

CBR	8	%
T	10	años
r	6,25%	
D_D	0,5	

Cálculo ESAL (equivalent single axle load):

Tipo de vehículo	Cantidad (A)	Tipo de eje	Carga por eje (t) (Tabla 11)	Factor de carga (Tabla 13) (B)	Factor de crecimiento (Tabla 12) (C)	Tránsito de diseño ($D=A*C*365$)	ESAL de diseño ($B*D$)
Buses	74	Simple	3,9	1,788	13,34	360 313,4	644 240,4
		Simple	9,2				
Camiones C1	53	Simple	1,9	0,087	13,34	258 062,3	22 477,2
		Simple	4,4				
Camiones C2	11	Simple	5,5	3,628	13,34	53 560,1	194 316
		Simple	11				
Total						861 033,6	
W_{18}						430 517	

Módulo de resiliencia:

Mr (psi)	12 000
-----------------	--------

Desviación estándar normal:

R (Tabla 14)	90%
Zr	-1,282

Desviación estándar combinada:

So	0,45
-----------	------

Índice de serviciabilidad:

Po	4,2
Pt	2
ΔPSI	2,2

Número estructural: (ecuación 13)

SN	2,48
-----------	-------------

Diseño de los espesores de las capas:**Datos:**

Concreto asfáltico	400 000 psi
Base Granular clase 1	CBR 80%
Sub-base granular clase 1	CBR 30%

Capas	espesor (pulgadas)	Coefficiente de capa (figura 12-14)	Coefficiente de drenaje (Tabla 15)	
Carpeta asfáltica	3	0,42		1,26
Base	3,9	0,135	1,1	0,579
Sub-base	5,9	0,11	1,1	0,713
			SN real	2,55

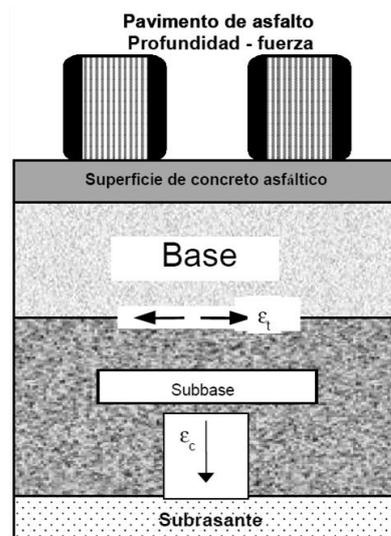
	cm		
Carpeta asfáltica	7,62	Carpeta asfáltica	7.62
Base	10	Base	10
Sub-base	15	Sub-base	15

2.2.2 Método del Instituto de Asfalto Americano

Método desarrollado por el Instituto de Asfalto de los Estados Unidos de Norteamérica, el cual considera a la estructura de pavimento como un sistema elástico de capas múltiples en donde cada capa se caracteriza por su módulo de elasticidad (módulo dinámico en mezclas de asfalto y módulo de Resiliencia en materiales granulares). (Coronado, 2002)

Este método, considera en su análisis las cargas que existen sobre la superficie de rodadura, las mismas que provocan esfuerzos de tensión que se deben tener en cuenta al momento del diseño, que son: el esfuerzo de tensión horizontal " ϵ_t " y el esfuerzo de compresión vertical " ϵ_c ", como se muestra en la siguiente figura. (Coronado, 2002)

Figura 15: Tensiones consideradas en el diseño



Fuente: Coronado Iturbide Jorge. (2002). Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, Guatemala, cap. 7; p. 20

Estos esfuerzos deben considerarse dentro del análisis, con el objeto de evitar grietas y deformaciones permanentes en la estructura, las cuales serán perjudiciales para el pavimento; considerando lo antes indicado, el método incluye dentro del dimensionamiento de los espesores de las diferentes capas a estos esfuerzos, verificando que los mismos no superen los valores admisibles.

- **Cálculo del tráfico**

Para el análisis del tráfico el método considera solo los vehículos pesados, que son los que tienen mayor influencia sobre la estructura de pavimento, de igual forma que en la metodología de la AASHTO, en donde se busca determinar el número de ejes equivalentes de 8,2 t (ESAL) en el carril de diseño para el periodo de diseño. Uno de los factores que se deben considerar es el flujo vehicular sobre el carril de diseño que se obtiene de la siguiente tabla.

Tabla 17: Factor de distribución por carril

N° carriles en ambas direcciones	Porcentaje de camiones en el carril de diseño
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: Rico Rodríguez Alfonso. (1998). Pavimentos Flexibles Problemática, Metodologías de Diseño y Tendencias, México, p. 49

Para el cálculo del tráfico es necesario considerar el periodo de diseño con el cual se va a trabajar (10 años) y su tasa de crecimiento anual (obtenida en el acápite 2.1 p. 43), con el objetivo de encontrar en función de estos, el factor de crecimiento, necesario para la obtención del número de ejes equivalentes; para esto la norma establece una tabla donde se detallan los diferentes valores del mismo que se observa a continuación.

Tabla 18: Factor de crecimiento

Periodo de análisis (años)	Factor sin crecimiento	Tasa de crecimiento anual (r) (en %)						
		2	4	5	6	7	8	10
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2,02	2,04	2,05	2,06	2,07	2,08	2,1
3	3	3,06	3,12	3,15	3,18	3,21	3,25	3,31
4	4	4,12	4,25	4,31	4,37	4,44	4,51	4,64
5	5	5,2	5,42	5,53	5,64	5,75	5,87	6,11
6	6	6,31	6,63	6,8	6,98	7,15	7,34	7,72
7	7	7,43	7,9	8,14	8,39	8,65	8,92	9,49
8	8	8,58	9,21	9,55	9,9	10,26	10,64	11,44
9	9	9,75	10,58	11,03	11,49	11,98	12,49	13,58
10	10	10,95	12,01	12,58	13,18	13,82	14,49	15,94
11	11	12,17	13,49	14,21	14,97	15,78	16,65	18,53
12	12	13,41	15,03	15,92	16,87	17,89	18,98	21,38
13	13	14,68	16,63	17,71	18,88	20,14	21,5	24,52
14	14	15,97	18,29	19,16	21,01	22,55	24,21	27,97
15	15	17,29	20,02	21,58	23,28	25,13	27,15	31,77
16	16	18,64	21,82	23,66	25,67	27,89	30,32	35,95
17	17	20,01	23,7	25,84	28,21	30,84	33,75	40,55
18	18	21,41	25,65	28,13	30,91	34	37,45	45,6
19	19	22,84	27,67	30,54	33,76	37,38	41,45	51,16
20	20	24,3	29,78	33,06	36,79	41	45,76	57,28
25	25	32,03	41,65	47,73	54,86	63,25	73,11	98,35
30	30	40,57	56,08	66,44	79,06	94,46	113,3	164,5
35	35	49,99	73,65	90,32	111,4	138,2	172,3	271,1

Fuente: Rico Rodríguez Alfonso. (1998). Pavimentos Flexibles Problemática, Metodologías de Diseño y Tendencias, México, p. 48

Otro de los factores que se deben analizar para el cálculo de los ejes equivalentes es el de equivalencia de carga o coeficiente de daño, el cual se establece dependiendo del tipo de eje que tenga cada vehículo, simple, doble o triple; y también está en función de la carga sobre el eje, que ira desde 0,5 t hasta 41 t, cubriendo todas las posibles condiciones de peso de vehículos que exista. Para la obtención de los factores de equivalencia de carga se utilizará la tabla 11 (p. 46) en

donde se encuentran los diferentes pesos por eje para cada clase de vehículo, establecidos por la norma ecuatoriana.

Tabla 19: Factor de equivalencia de carga

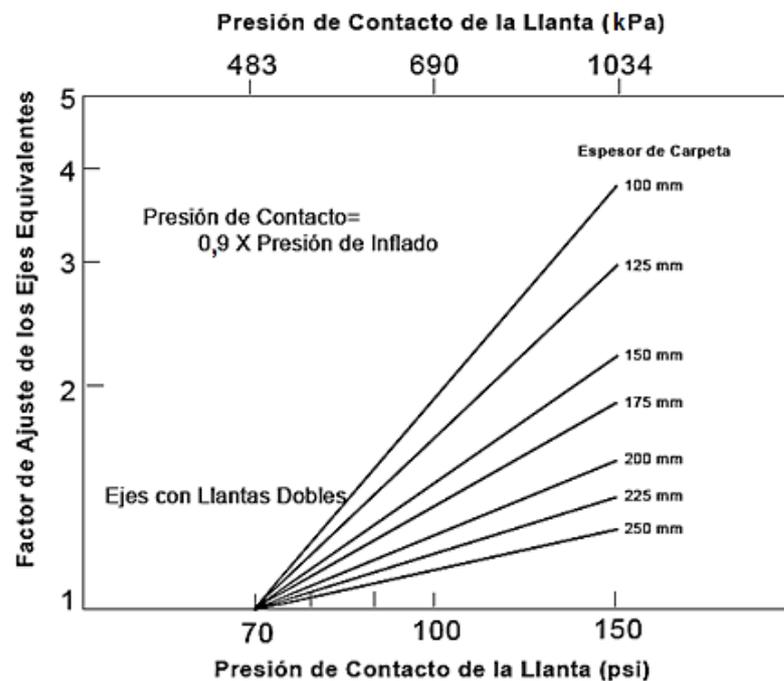
Carga bruta por eje		Factores de equivalencia de carga		
kN	lb	Ejes simples	Ejes tandem	Ejes tridem
4,45	1 000	0,00002		
8,9	2 000	0,00018		
17,8	4 000	0,00209	0,0003	
26,7	6 000	0,01043	0,001	0,0003
35,6	8 000	0,0343	0,003	0,001
44,5	10 000	0,0877	0,007	0,002
53,4	12 000	0,189	0,014	0,003
62,3	14 000	0,36	0,027	0,006
71,2	16 000	0,623	0,047	0,011
80	18 000	1	0,077	0,017
89	20 000	1,51	0,121	0,027
97,9	22 000	2,18	0,18	0,04
106,8	24 000	3,03	0,26	0,057
115,6	26 000	4,09	0,364	0,08
124,5	28 000	5,39	0,495	0,109
133,4	30 000	6,97	0,658	0,145
142,3	32 000	8,88	0,857	0,191
151,2	34 000	11,18	1,095	0,246
160,1	36 000	13,93	1,38	0,313
169	38 000	17,2	1,7	0,393
178	40 000	21,08	2,08	0,487
187	42 000	25,64	2,51	0,597
195,7	44 000	31	3	0,723
204,5	46 000	37,24	3,55	0,868
213,5	48 000	44,5	4,17	1,033
222,4	50 000	52,88	4,86	1,22
231,3	52 000		5,63	1,43
240,2	54 000		6,47	1,66
249	56 000		7,41	1,91
258	58 000		8,45	2,2
267	60 000		9,59	2,51
275,8	62 000		10,84	2,85
284,5	64 000		12,22	3,22
293,5	66 000		13,73	3,62
302,5	68 000		15,38	4,05
311,5	70 000		17,19	4,52
320	72 000		19,16	5,03
329	74 000		21,32	5,57
338	76 000		23,66	6,15

347	78 000		26,22	6,78
356	80 000		29	7,45
364,7	82 000		32	8,2
373,6	84 000		35,3	8,9
382,5	86 000		38,8	9,8
391,4	88 000		42,6	10,6
400,3	90 000		46,8	11,6

Fuente: Rico Rodríguez Alfonso. (1998). Pavimentos Flexibles Problemática, Metodologías de Diseño y Tendencias, México, p. 50

El presente método de análisis considera un factor extra para el cálculo del número de ejes equivalentes el cual está en función de la presión de inflado y del espesor de la carpeta asfáltica con la cual se vaya a diseñar, para lo cual establece la siguiente gráfica:

Figura 16: Factor de ajuste por presión de la llanta



Fuente: Rico Rodríguez Alfonso. (1998). Pavimentos Flexibles Problemática, Metodologías de Diseño y Tendencias, México, p. 52

Finalmente una vez obtenido los diferentes factores se procede al cálculo que consiste en multiplicar el coeficiente total de equivalencia de cada tipo de vehículo (tabla 19) por el factor de crecimiento anual (tabla 18) y por el número de vehículos

de cada tipo; obteniendo el número de ejes equivalentes de cada tipo, los cuales se deberán sumar para encontrar el total. Para finalizar este valor se multiplicara por el factor de ajuste por presión de llanta (figura 16) y por el factor de distribución del carril (tabla 17).

- **Módulo de resiliencia (M_R)**

Otro de los parámetros necesarios para el diseño de la estructura de pavimento flexible, es conocer la resistencia del suelo de la subrasante, la cual se determina a través del módulo de resiliencia, que mide las propiedades elásticas del suelo, es decir la rigidez que tiene; se correlaciona de manera directa con el CBR y su cálculo se obtiene a través de las siguientes expresiones:

$$M_R(\text{psi}) = 1\,500 * CBR \quad \text{para } CBR \leq 10 \% \quad (\text{Ec. \# 19})$$

$$M_R(\text{kPa}) = 10\,342 * CBR \quad \text{para } CBR \leq 10 \% \quad (\text{Ec. \# 20})$$

Una de las características importantes de este método es que en el diseño de la estructura de pavimento las capas que lo conforman pueden ser de diversos materiales como asfalto sólido o emulsiones asfálticas, con diferentes combinaciones, empleando en la totalidad o parte de la estructura a diseñar. A continuación las posibles combinaciones que se pueden utilizar: (Montejo, 2002)

- Capa de rodadura y base de concreto asfáltico.
- Capa de rodadura y base de emulsión asfáltica.
 - Mezcla de emulsión asfáltica con agregados procesados.
 - Mezcla de emulsión asfáltica con agregados semiprocesados.
 - Mezcla de emulsión asfáltica con arenas o arenas limosas.
- Capa de rodadura asfáltica con base y sub-base granular. (caso a utilizar en este estudio).

El Instituto del Asfalto Norteamericano incluye dentro del cálculo de la estructura de pavimento un factor importante a considerar, que es las condiciones climáticas en las que se desarrollará el proyecto, característica significativa ya que un tipo de asfalto no se comporta de igual forma en todos los climas existentes, para esto la norma establece la siguiente tabla.

Tabla 20: Grados de asfalto de acuerdo al tipo de clima

Clima	Temperatura media anual del aire (TMAA)	Grado de asfalto
Frío	menor o igual a 7 °C	AC - 5, AC - 10
Templado	entre 7° y 24 °C	AC - 10, AC - 20
Cálido	mayor de 24 °C	AC -20, AC - 40

Fuente: Rico Rodríguez Alfonso. (1998). Pavimentos Flexibles Problemática, Metodologías de Diseño y Tendencias, México, p. 55

- Cálculo de los espesores de diseño

Una vez obtenidos todos los parámetros y factores necesarios para el diseño de la estructura de pavimento flexible, el método proporciona 18 gráficas en sistema métrico y 18 en sistema inglés, las cuales cubren todas las posibles combinaciones en cuanto al tipo de clima y los materiales a utilizar en las diferentes capas.

Estas gráficas se encuentran en escala logarítmica y consideran los siguientes parámetros:

- Condiciones climáticas a considerar en el proyecto.
- Número de ejes equivalentes acumulados durante el periodo de diseño.
- Módulo de resiliencia de la subrasante.
- Con capa de concreto asfáltico.
- Para cuando se tiene capa de base sin estabilizar de 15 cm.
- Para cuando se tiene capa de base sin estabilizar de 30 cm.

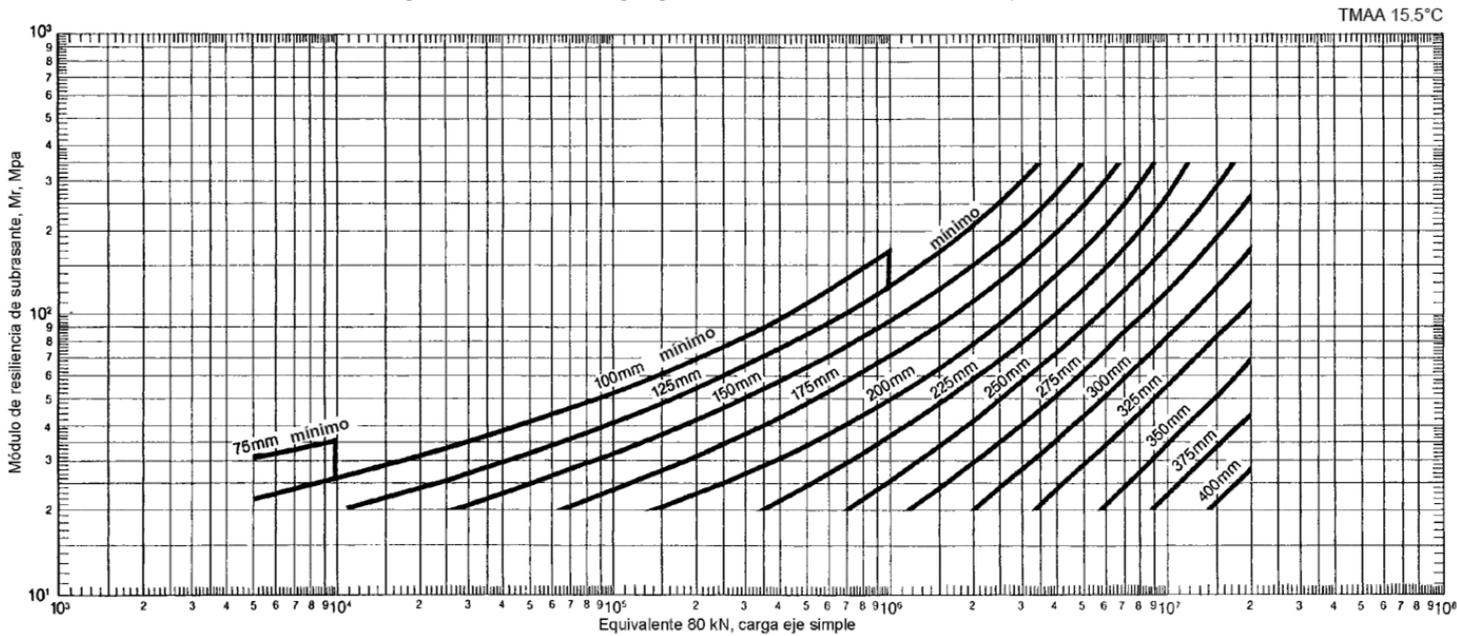
Para el caso de estudio a desarrollar solamente se utilizará las gráficas en sistema métrico con clima templado (TMAA 15,5 °C; clima en el que se encuentra la ciudad de Cuenca) y para el caso de capa de rodadura, será asfáltica con base y sub-base granular; las demás gráficas no se mencionarán pero se encuentran detalladas en el manual del Instituto del Asfalto Norteamericano (manual MS-1). Como información final, en la tabla siguiente se detalla los espesores mínimos de la capa asfáltica, a considerar en el diseño, en función del número de ejes equivalentes, misma que está acorde a lo que establece la norma ecuatoriana.

Tabla 21: Espesores mínimos de capas asfálticas sobre bases de tipo granular

Cantidad de ejes equivalentes	Condición del tránsito	Espesores mínimos de la capa asfáltica, en cm
hasta 10 000	ligero	7,5
entre 10 000 y 1 000 000	mediano	10
mayor de 1 000 000	pesado	12,5 o más

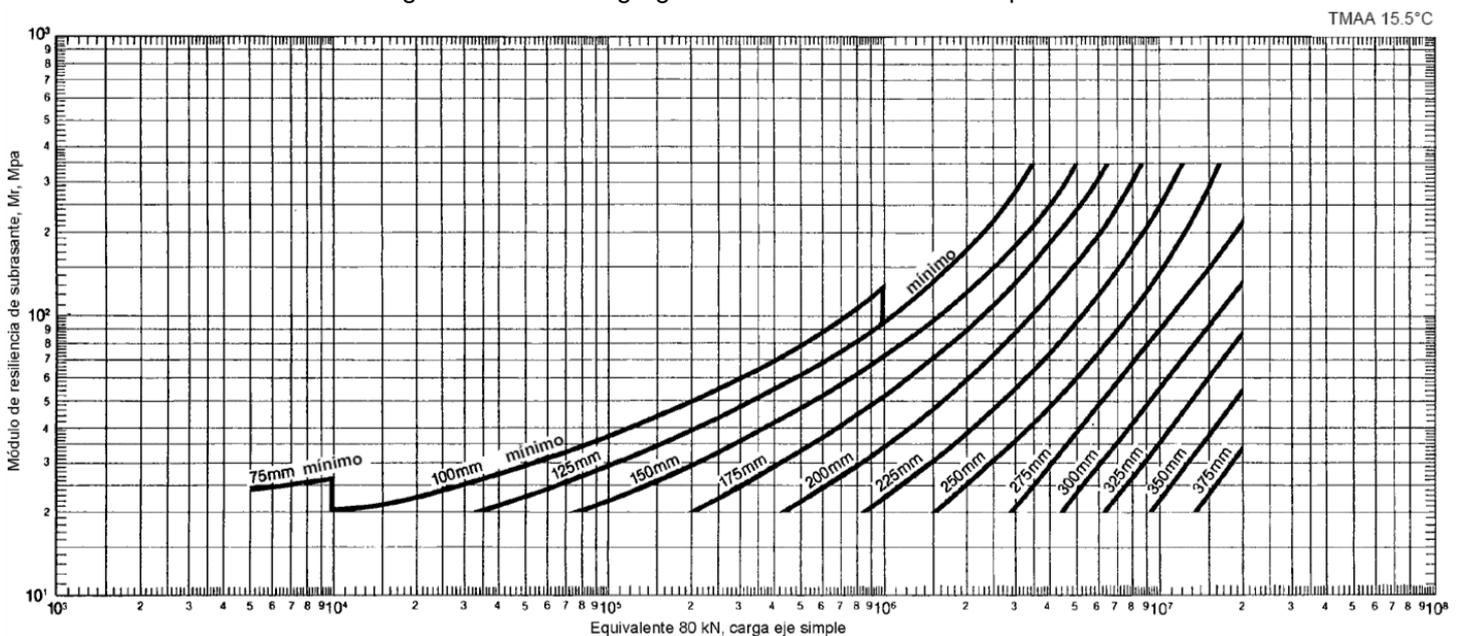
Fuente: Instituto del Asfalto Norteamericano (Manual MS-1).

Figura 17: Gráfica agregado de base de 15 cm de espesor



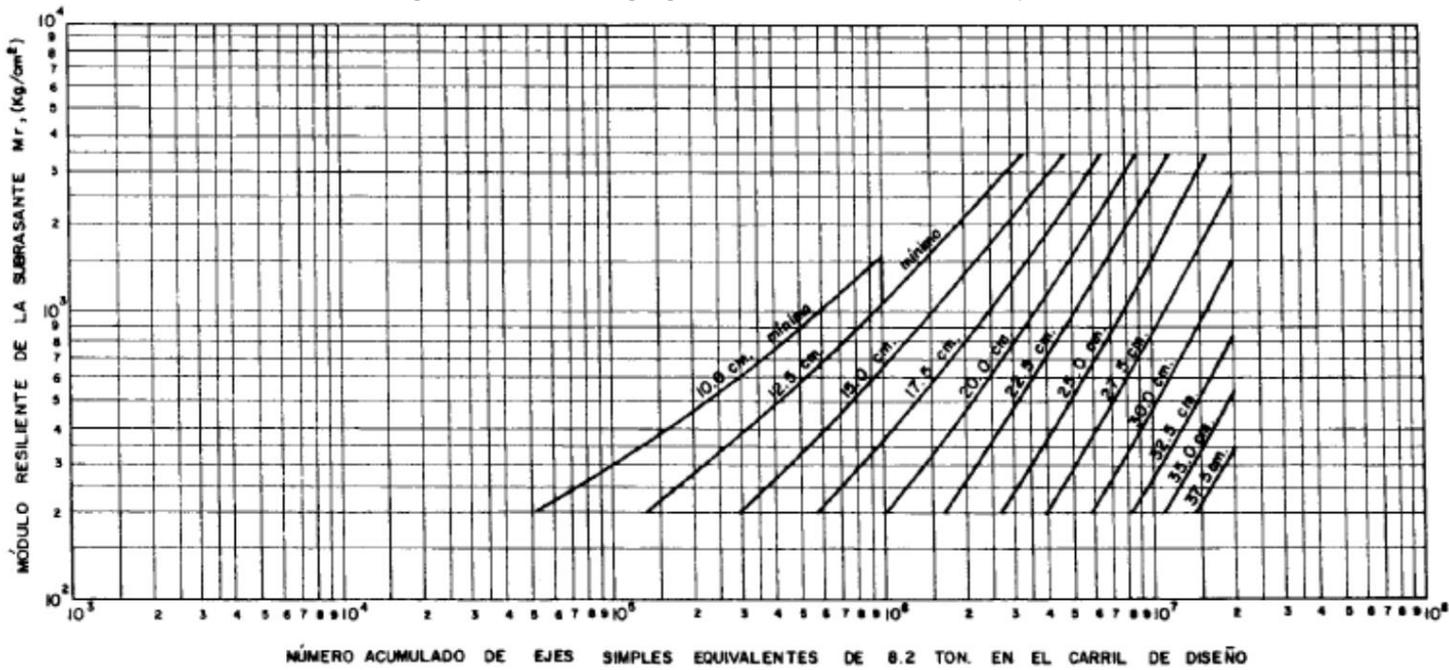
Fuente: Instituto del Asfalto Norteamericano (Manual MS-1).

Figura 18: Gráfica agregado de base de 30 cm de espesor



Fuente: Instituto del Asfalto Norteamericano (Manual MS-1).

Figura 19: Gráfica agregado de base de 45 cm de espesor



Fuente: Instituto del Asfalto Norteamericano (Manual MS-1).

- Diseño de la estructura de pavimento flexible por el método del Instituto del Asfalto para la calle Paseo Tres de Noviembre:

Con los datos iniciales indicados en el acápite 2.1 p. 39-43, y la información desarrollada en el acápite 2.2.2 p. 57-65, se procederá a realizar el diseño de la estructura de pavimento flexible de esta calle, a continuación se detallará todo el proceso:

Datos:

CBR	1,7	%
T	10	años
r	6,25%	
D_D	0,5	(Tabla 17)

Cálculo ESAL (equivalent single axle load):

Tipo de vehículo	Cantidad (A)	Tipo de eje	Carga por eje (t) (Tabla 11)	Factor de carga (Tabla 13) (B)	Factor de crecimiento (Tabla 12) (C)	Tránsito de diseño (D=A*C*365)	ESAL de diseño (B*D)
Buses	114	Simple	3,9	1,788	13,34	555 077,4	992 478,4
		Simple	9,2				
Camiones C1	30	Simple	1,9	0,087	13,34	146 073	12 723
		Simple	4,4				
Camiones C2	71	Simple	5,5	3,628	13,34	345 706,1	1 254 221,7
		Simple	11				
Camiones C3	5	Simple	5,5	2,898	13,34	24 345,5	70 553,3
		Tandem	19				
Camiones T3-S2	5	Simple	5,5	3,704	13,34	24 345,5	90 175,7
		Tandem	14				
		Tandem	19				
Total						2 420 152,2	

Factor de ajuste por presión de llanta:

Presión de inflado neumáticos entre 100 -110 psi

Presión de contacto 90 psi

Factor de ajuste: 1,4 (Figura 16.)

W₁₈	1 694 106
-----------------------	------------------

Módulo de resiliencia:

Mr (psi)	2 550
Mr (MPa)	17,6

Factor de medioambiente: (Tabla 20)

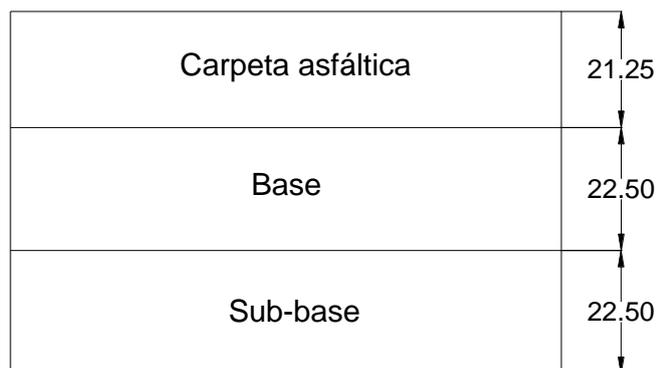
Clima Templado

Grado de asfalto AC-10, AC-20

TMAA: 15,5 °C

Cálculo de los espesores de diseño: (Figura 19)

	pulgadas	cm
Carpeta asfáltica	8,5	21,25
Base	9	22,5
Sub-base	9	22,5



- **Diseño de la estructura de pavimento flexible por el método del Instituto del Asfalto para la calle Colombia:**

Con los datos iniciales indicados en el acápite 2.1 p. 39-43, y la información desarrollada en el acápite 2.2.2 p. 57-65, se procederá a realizar el diseño de la estructura de pavimento flexible de esta calle, a continuación se detallará todo el proceso:

Datos:

CBR	8	%
T	10	años
r	6,25%	
D_D	0,5	(Tabla 17)

Cálculo ESAL (equivalent single axle load):

Tipo de vehículo	Cantidad (A)	Tipo de eje	Carga por eje (t) (Tabla 11)	Factor de carga (Tabla 13) (B)	Factor de crecimiento (Tabla 12) (C)	Tránsito de diseño ($D=A*C*365$)	ESAL de diseño ($B*D$)
Buses	74	Simple	3,9	1,788	13,34	360 313,4	644 240,4
		Simple	9,2				
Camiones C1	53	Simple	1,9	0,087	13,34	258 062,3	22 477,2
		Simple	4,4				
Camiones C2	11	Simple	5,5	3,628	13,34	53 560,1	194 316
		Simple	11				
Total						861 033,6	

Factor de ajuste por presión de llanta:

Presión de inflado neumáticos entre 100-110 psi

Presión de contacto 90 psi

Factor de ajuste: 1,4 (Figura 16.)

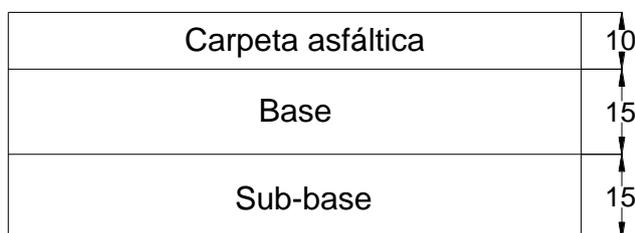
W_{18}	602 724
----------------------------	----------------

Módulo de resiliencia:

Mr (psi)	12 000
Mr (MPa)	82,7

Factor de medioambiente: (Tabla 20)**Clima** Templado**Grado de asfalto** AC-10, AC-20**TMAA:** 15,5 °C**Cálculo de los espesores de diseño: (Figura 18)**

	pulgadas	cm
Carpeta asfáltica	4	10
Base	6	15
Sub-base	6	15

**2.3 Diseño de la estructura del pavimento rígido**

La estructura de pavimento rígido, también denominada de concreto hidráulico, debido a sus características y utilidad a largo plazo ofrece una solución eficaz comparado con otros tipos de pavimentos; está constituida fundamentalmente por una losa de hormigón que en algunas ocasiones puede presentar un armado de hierro, dicha losa está apoyada sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado, denominada sub-base, que estará en función de las características que tenga el suelo de la subrasante (todo lo anterior explicado detalladamente en el acápite 1.4.6 p. 29-31).

El objetivo del diseño es determinar el espesor mínimo de la losa de hormigón, su principal componente, en función de 2 parámetros principales, las características del suelo de la subrasante natural y las cargas de tráfico vehicular, para cada una de las calles; estos tipos de estructuras de pavimentos se diseñan para un periodo de 20 años y los principales métodos utilizados a nivel mundial y en el país para el cálculo son, el de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y de la Portland Cement Association (PCA), los mismos que se desarrollarán a continuación.

2.3.1 Método AASHTO

Método creado por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), desarrollado durante varios años en base a resultados de pruebas de campo, entre las principales la de Ottawa, realizada en los años cincuenta en carreteras de los EEUU, con el objetivo de determinar una ecuación general de diseño que satisfaga todas las posibles condiciones que puedan presentarse en los diferentes tipos de carreteras. Esta metodología ha tenido grandes cambios desde sus inicios, gracias a observaciones experimentales que permitieron eliminar parámetros que no cumplían con las condiciones reales de este tipo de estructura, introduciendo características importantes como las propiedades del concreto, condiciones de apoyo y factores ambientales, buscando así similitudes con la realidad. (Salazar, 1997)

La ecuación fundamental para el diseño de la estructura de pavimento está en función principal del tráfico (número de ejes equivalentes) y las condiciones de la subrasante (CBR), y su objetivo es obtener un espesor de losa que pueda soportar el paso de un número de ejes equivalentes de 80 kN sin que se produzca una disminución en su índice de servicio. A continuación se detalla la ecuación con todos sus factores, también consta el nomograma (figura 20) con el cual se puede obtener el espesor de la losa de concreto.

$$\log(W) = Z_R * S_0 + 7,35 * \log(D + 25,4) - 10,39 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4,5-1,5}\right)}{1 + \frac{1,25 * 10^{19}}{(D+25,4)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 * P_t) * \log\left(\frac{M_R * C_d * (0,09 * D^{0,75} - 1,132)}{1,51 * J * \left(0,09 * D^{0,75} - \frac{7,38}{\left(\frac{E_c}{k}\right)^{0,25}}\right)}\right) \quad (\text{Ec. \# 21})$$

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures. (1993). Washington D.C. - USA.

Donde:

W Número de ejes equivalentes de 8,2 t en el periodo de diseño.

Z_R Desviación normal estándar.

S₀ Error estándar combinado.

D Espesor de pavimento de concreto, en mm.

ΔPSI Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

P_t Índice de servicio final.

C_d Coeficiente de drenaje.

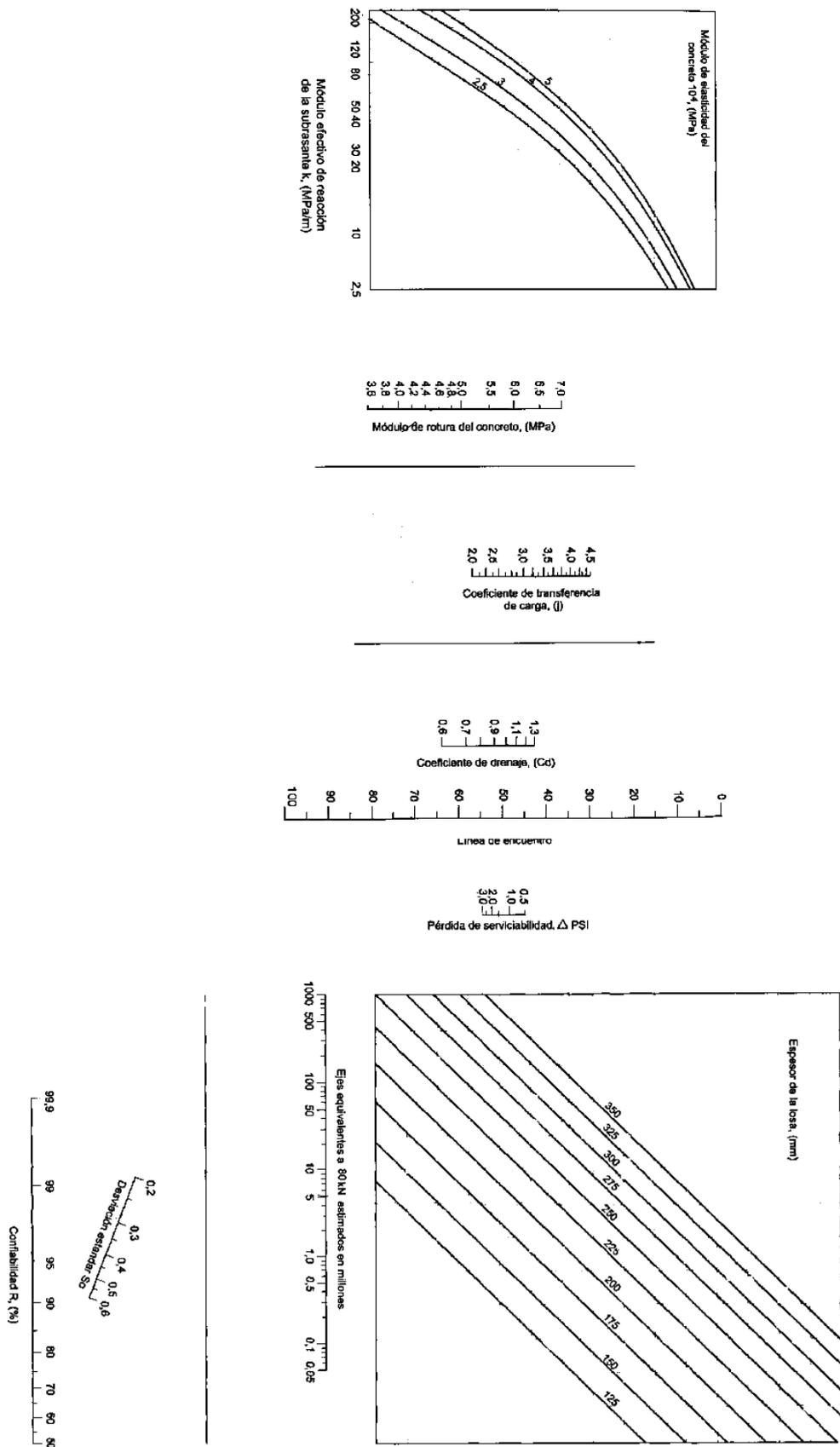
J Coeficiente de transmisión de cargas en las juntas.

E_c Módulo de elasticidad del concreto.

k Módulo de reacción de la superficie (en MPa) en la que se apoya el pavimento.

M_R Resistencia media del concreto (MPa) a flexotracción a los 28 días.

Figura 20: Nomograma AASHTO para diseño de pavimentos rígidos



Fuente: Coronado Iturbide Jorge. (2002). Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, cap. 7; p. 52

-Tráfico (W)

Para el cálculo de este factor es necesario determinar el número acumulado de ejes simples equivalentes de 80 kN (8,2 t) para el periodo de diseño; se obtiene de la misma manera que en el pavimento flexible, siguiendo el procedimiento desarrollado en el acápite 2.2.1 (p. 45-48), con la única diferencia que para este tipo de pavimento se toma un periodo de diseño de 20 años.

-Desviación estándar normal (Z_r)

La desviación estándar normal es un factor que está en función directa de un parámetro denominado confiabilidad del proyecto (R), ya que el mismo representa el valor de la confiabilidad seleccionada, para un conjunto de datos en una distribución normal. La obtención de éste, se lo realiza de acuerdo a lo explicado en el pavimento flexible en el acápite 2.2.1 p. 49.

-Desviación estándar combinada (S_0)

Esta desviación es un valor que se obtiene a partir de la combinación de la variabilidad de la predicción del tráfico existente y de otros factores como construcción, medio ambiente, incertidumbre del modelo; para lo cual la guía AASHTO recomienda para estructuras de pavimento rígido un valor de $S_0 = 0,35$.

-Índice de serviciabilidad (PSI)

La serviciabilidad se define como un valor que indica el grado de confort que tiene la superficie donde se desplaza el vehículo, el cual varía de 0 (carretera imposible) hasta 5 (carretera perfecta); la guía AASHTO recomienda los siguientes valores dependiendo del tipo de vía:

Índice de serviciabilidad inicial:

$P_o = 4,5$ para pavimentos rígidos.

Índice de serviciabilidad final:

$P_t = 2,5$ para caminos de alto tráfico.

$P_t = 2$ para caminos de tráfico menor.

Para la determinación de la variación del índice de serviciabilidad se utiliza la siguiente ecuación:

$$\Delta PSI = P_o - P_t \quad (\text{Ec. \# 22})$$

-Coeficiente de drenaje (C_d):

La presencia de agua en la estructura puede ocasionar graves problemas como: erosión en el suelo, degradación de la capa de rodadura, deformación y fisuración en el pavimento; debido a lo cual es necesario considerar un coeficiente dentro del cálculo con el objetivo de evitar estos posibles problemas que puedan disminuir la capacidad estructural del mismo. El coeficiente de drenaje está en función de dos variables, la calidad del drenaje y la exposición a la saturación del pavimento; para la obtención de este valor la metodología ha establecido las siguientes tablas que se detallan a continuación. (Coronado, 2002)

Tabla 22: Calidad del drenaje

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: Coronado Iturbide Jorge. (2002). Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, p. 57

Tabla 23: Valores de coeficiente de drenaje

Calidad de drenaje	% de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
	menos del 1%	1 - 5 %	5 - 25 %	más del 25%
Excelente	1,25 - 1,2	1,2 - 1,15	1,15 - 1,1	1,1
Bueno	1,2 - 1,15	1,15 - 1,1	1,1 - 1	1
Mediano	1,15 - 1,1	1,1 - 1	1 - 0,9	0,9
Malo	1,1 - 1	1 - 0,9	0,9 - 0,8	0,8
Muy malo	1 - 0,9	0,9 - 0,8	0,8 - 0,7	0,7

Fuente: Coronado Iturbide Jorge. (2002). Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, p. 58

-Coeficiente de transmisión de carga (J):

Parámetro empleado en el diseño para expresar la capacidad del pavimento de transmitir las cargas en las juntas y fisuras existentes; está en función de los siguientes factores: tipo de pavimento de concreto a utilizar (con juntas, sin juntas, continuo) y tipo de berma (de asfalto o de concreto). Para su obtención se utilizará la siguiente tabla la cual está en función de las características antes indicadas. (Coronado, 2002)

Tabla 24: Valores de coeficiente de transmisión de carga

Tipo de pavimento	hombro			
	Elemento de transmisión de carga			
	Concreto asfáltico		Concreto hidráulico	
	si	no	si	no
No reforzado o reforzado con juntas	3,2	3,8 - 4,4	2,5 - 3,1	3,6 - 4,2
Reforzado continuo	2,9 - 3,2		2,3 - 2,9	

Fuente: Coronado Iturbide Jorge. (2002). Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, p. 59

Cuando se analice vías de poco tránsito, que es el caso de estudio del presente trabajo, se tomarán los valores más bajos del rango establecido para cada una de las opciones detalladas en la tabla anterior.

-Módulo de elasticidad del concreto E_c :

Este módulo se obtiene en función de la resistencia a la compresión que tenga el concreto que se vaya a utilizar, para su cálculo la norma ha establecido las siguientes ecuaciones:

Tabla 25: Módulo de elasticidad del concreto

Tipo de agregado y origen	Módulo de elasticidad E_c , MPa	Módulo de elasticidad E_c , kg/cm ²
Grueso - ígneo	$E_c = 5\,500 \cdot (f'c)^{1/2}$	$E_c = 17\,000 \cdot (f'c)^{1/2}$
Grueso - metamórfico	$E_c = 4\,700 \cdot (f'c)^{1/2}$	$E_c = 15\,000 \cdot (f'c)^{1/2}$
Grueso - sedimentario	$E_c = 3\,600 \cdot (f'c)^{1/2}$	$E_c = 11\,500 \cdot (f'c)^{1/2}$
Sin información	$E_c = 3\,900 \cdot (f'c)^{1/2}$	$E_c = 12\,500 \cdot (f'c)^{1/2}$

Fuente: Coronado Iturbide Jorge. (2002). Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, p.60

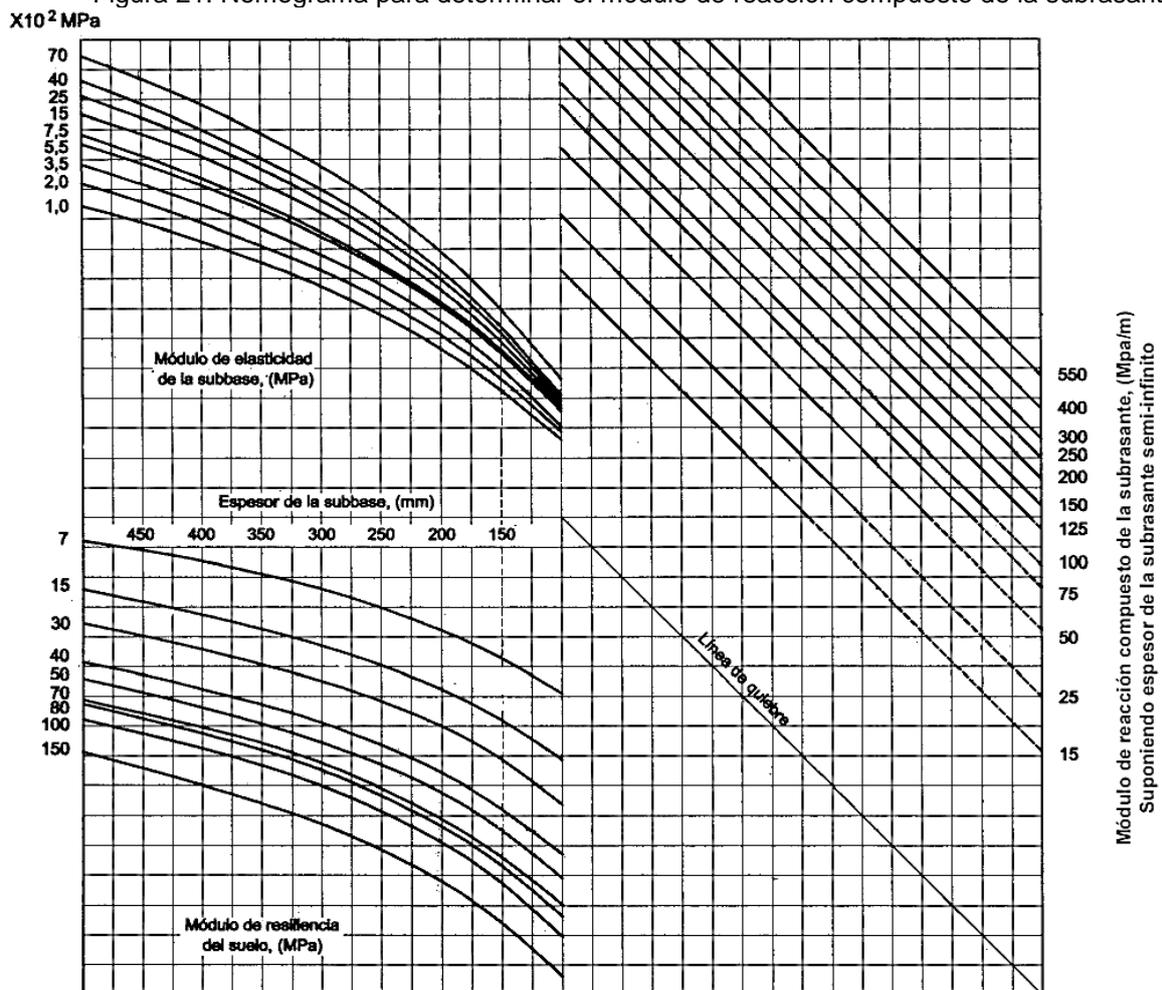
La resistencia a compresión ($f'c$) que se utilizará para cada una de las ecuaciones será a los 28 días y está en MPa o kg/cm².

-Módulo de reacción de la superficie de apoyo (k):

Dentro del cálculo del espesor de la losa de concreto es importante considerar las características del suelo de la subrasante y de la capa de sub-base de la estructura de pavimento, para lo cual existe un factor denominado módulo de reacción de la superficie de apoyo, que es el valor de la capacidad de soporte del suelo, el mismo que depende del módulo de resiliencia (subrasante, sub-base) y del módulo de elasticidad (sub-base). Para la determinación del módulo de elasticidad de la sub-base se debe considerar parámetros propios del mismo como es el CBR, tratando de que este no sea mayor de 4 veces que el de la subrasante.

La metodología AASHTO plantea un nomograma con el cual se puede determinar este factor, utilizando como datos iniciales el módulo de resiliencia de la subrasante, módulo de elasticidad de la sub-base y un espesor de la sub-base.

Figura 21: Nomograma para determinar el módulo de reacción compuesto de la subrasante



Fuente: Coronado Iturbide Jorge. (2002). Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, p. 63

-Resistencia a flexotracción del concreto (MR):

La resistencia a flexotracción, también denominada módulo de rotura, es un parámetro importante dentro de la ecuación principal de la AASHTO, ya que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión; para su cálculo la metodología plantea una ecuación que se correlaciona de manera directa con el módulo de compresión ($f'c$) del hormigón a utilizar en el proyecto.

$$M_R = 0,15 * f'c \quad \text{en kg/cm}^2 \quad (\text{Ec. \# 23})$$

Donde:

$f'c$ módulo de compresión del hormigón en kg/cm^2

- Diseño de juntas en pavimentos rígidos:

En los pavimentos rígidos existen diversos tipos de esfuerzos generados por la circulación de los vehículos sobre ellos, los cuales en su mayoría son absorbidos por la losa de hormigón; existen otros esfuerzos que se generan debido a movimientos de contracción o expansión del concreto y por las diferencias de temperatura, que deben ser controlados con un correcto diseño de juntas, debido a lo cual se debe tomar muy en cuenta este tema al momento de realizar el diseño de la estructura de pavimento. (Montejo, 2002)

Las principales juntas que se deben considerar en el diseño son las transversales y las longitudinales, que se construyen para impedir que existan fisuras en el pavimento, también existen otros tipos de juntas que no necesitan un diseño específico ya que existen ciertas normas que se deben tomar en cuenta para su construcción, las mismas que fueron detalladas en el acápite 1.4.6.2 (p. 32-33) del presente trabajo.

Una de las principales características dentro del diseño de juntas, es la transmisión de cargas de una losa a otra, con el fin de que los esfuerzos sean equilibrados en toda la estructura; existen varias formas de realizar este proceso, pero la principal es mediante el uso de pasadores, que son barras de acero liso colocadas paralelas al eje de la vía, con capacidad de permitir el libre movimiento horizontal de las losas. La tabla que se detalla a continuación establece recomendaciones para la selección de los pasadores, en función del espesor del pavimento.

Tabla 26: Recomendaciones para la selección de los pasadores de carga

Espesor del pavimento	Diámetro del pasador		Longitud total	Separación entre centros
	(mm)	(mm) (in)		
0 - 100	13	1/2	250	300
110 - 130	16	5/8	300	300
140 - 150	19	3/4	350	300
160 - 180	22	7/8	350	300
190 - 200	25	1	350	300
210 - 230	29	1 1/8	400	300
240 - 250	32	1 1/4	450	300
260 - 280	35	1 3/8	450	300
290 - 300	38	1 1/2	500	300

Fuente: Montejo Fonseca Alfonso. (2002). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Bogotá – Colombia, p. 359

- Juntas Longitudinales

Las juntas longitudinales tienen como objetivo principal, el controlar las fisuras que se puedan presentar en los pavimentos, cuando se construyen con anchos superiores a los cinco metros.

Las barras de anclaje para cualquier tipo de junta longitudinal, se diseñan para resistir la fuerza de tracción generada por la fricción entre la losa del pavimento y la subrasante. La determinación del acero necesario se calcula con la siguiente expresión:

$$AS = \frac{b * f * w}{f_s} \quad (\text{Ec. \# 24})$$

Fuente: Montejo Fonseca Alfonso. (2002). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Bogotá – Colombia, p. 359

Donde:

- b** distancia de la losa al borde libre del pavimento (m), normalmente es el ancho de un carril.
- f** coeficiente de fricción losa-suelo, generalmente se toma como 1,5 según la norma.
- w** peso de losa por unidad de superficie (kg/m²).

fs esfuerzo admisible del acero en kg/cm² (fs = 0,67*fy).

As área de acero por unidad de longitud de junta (cm²/m).

Para la longitud (L) de la varilla se recomienda utilizar la siguiente expresión:

$$L = \frac{2 * A * fs}{a * p} + 7,5 \quad (\text{Ec. \# 25})$$

Fuente: Montejo Fonseca Alfonso. (2002). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Bogotá – Colombia, p. 361

Donde:

A Sección transversal de la barra de anclaje (cm²).

a esfuerzo por adherencia (10% f'c para varillas corrugadas), sin embargo no debe exceder de 24,6 kg/cm²

p perímetro de una varilla (cm).

fs esfuerzo admisible del acero en kg/cm² (fs = 0,67*fy).

L longitud total de la barra de anclaje (cm).

- Juntas Transversales

El diseño de las juntas transversales se realiza con el fin de controlar la fisuración del concreto por contracción y alabeo; el espaciamiento entre estas debe ser menor que seis metros; para su obtención la norma en nuestro país establece que la relación ancho longitud de las losas no debe superar a/L < 1,1. (Montejo, 2002)

- **Diseño de la estructura de pavimento rígido por el método AASHTO para la calle Paseo Tres de Noviembre:**

Con los datos iniciales indicados en el acápite 2.1 p. 39-43, y la información desarrollada en el acápite 2.3.1 p. 69-78, se procederá a realizar el diseño de la estructura de pavimento rígido de esta calle, a continuación se detallará todo el proceso:

Datos:

CBR	1,7	% años
T	20	
r	6,25%	
D_D	0,5	

Cálculo ESAL (equivalent single axle load):

Tipo de vehículo	Cantidad (A)	Tipo de eje	Carga por eje (t) (Tabla 11)	Factor de carga (Tabla 13) (B)	Factor de crecimiento (Tabla 12) (C)	Tránsito de diseño (D=A*C*365)	ESAL de diseño (B*D)
Buses	114	Simple	3,9	1,788	37,84	1 574 522,4	2 815 246,1
		Simple	9,2				
Camiones C1	30	Simple	1,9	0,087	37,84	414 348	36 089,7
		Simple	4,4				
Camiones C2	71	Simple	5,5	3,628	37,84	980 623,6	3 557 702,4
		Simple	11				
Camiones C3	5	Simple	5,5	2,898	37,84	69 058	200 130,1
		Tandem	19				
Camiones T3-S2	5	Simple	5,5	3,704	37,84	69 058	255 790,8
		Tandem	14				
		Tandem	19				
Total						6 864 959,1	
W_{18}						3 432 480	

Desviación estándar normal:

R (Tabla 14)	90%
Zr	-1,282

Desviación estándar combinada:

So	0,35
-----------	------

Indice de serviciabilidad:

P_o	4,5
P_t	2
ΔPSI	2,5

Coefficiente de drenaje: (Tabla 23)

Calidad drenaje	bueno
C_d	1,1

Coefficiente de transmisión de carga: (Tabla 24)

Tipo de pavimento: reforzado con juntas y posee bermas de concreto hidráulico.

J	3
----------	---

Módulo de elasticidad del concreto: (Tabla 25)

f'c	300	kg/cm ²
f'c	30	MPa
E_c	30 000	MPa

Módulo de reacción de la superficie de apoyo: (figura 20)

Espesor sub-base:	15	cm
Módulo de resiliencia suelo:	17,58	MPa
Módulo de elasticidad sub-base:	120	MPa

k

37,5

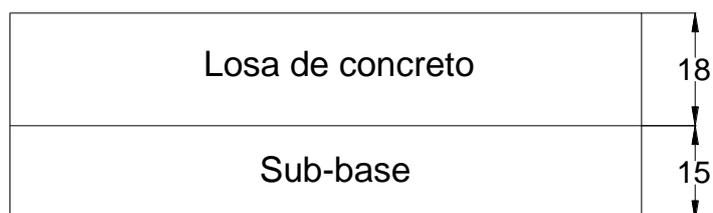
MPa/m

Resistencia a flexotracción del concreto:

f'c	300	kg/cm ²
M_R	45	kg/cm ²
M_R	4,5	MPa

**Cálculo del espesor de la losa de concreto hidráulico:
(ecuación 21 o usar figura 20)**

D	18	cm
D	7,2	pulgadas



Diseño de juntas:**Juntas longitudinales:****Datos:**

b	3,5	m
f	1,5	
w	396	kg/m ²
fs	2 814	kg/cm ²
a	24,6	kg/cm ²

As	0,74	cm²/m
varilla de \varnothing 10 mm		

A	0,79	cm ²
p	3,14	cm

L	65	cm
----------	-----------	-----------

Pasadores de carga: (Tabla 26)

\varnothing pasador	22	mm
Longitud	35	cm
Separación	30	cm

- **Diseño de la estructura de pavimento rígido por el método AASHTO para la calle Colombia:**

Con los datos iniciales indicados en el acápite 2.1 p. 39-43, y la información desarrollada en el acápite 2.3.1 p. 69-78, se procederá a realizar el diseño de la estructura de pavimento rígido de esta calle, a continuación se detallará todo el proceso:

Datos:

CBR	8	%
T	20	años
r	6,25%	
D_D	0,5	

Cálculo ESAL (equivalent single axle load):

Tipo de vehículo	Cantidad (A)	Tipo de eje	Carga por eje (t) (Tabla 11)	Factor de carga (Tabla 13) (B)	Factor de crecimiento (Tabla 12) (C)	Tránsito de diseño (D=A*C*365)	ESAL de diseño (B*D)
Buses	74	Simple	3,9	1,788	37,84	1 022 058,4	1 827 440,4
		Simple	9,2				
Camiones C1	53	Simple	1,9	0,087	37,84	732 014,8	63 758,5
		Simple	4,4				
Camiones C2	11	Simple	5,5	3,628	37,84	151 927,6	551 193,3
		Simple	11				
Total						2 442 392,2	
						W₁₈	1 221 196

Desviación estándar normal:

R (Tabla 14)	90%
Zr	-1,282

Desviación estándar combinada:

So	0,35
-----------	------

Indice de serviciabilidad:

Po	4,5
Pt	2
ΔPSI	2,5

Coefficiente de drenaje: (Tabla 23)

Calidad drenaje	bueno
Cd	1,1

Coefficiente de transmisión de carga: (Tabla 24)

Tipo de pavimento: reforzado con juntas y posee bermas de concreto hidráulico.

J	3
----------	---

Módulo de elasticidad del concreto: (Tabla 25)

f'c	300	kg/cm ²
f'c	30	MPa
Ec	30 000	MPa

Módulo de reacción de la superficie de apoyo: (figura 20)

Espesor sub-base:	15	cm
Módulo de resiliencia suelo:	82,74	MPa
Módulo de elasticidad sub-base:	120	MPa

k

125

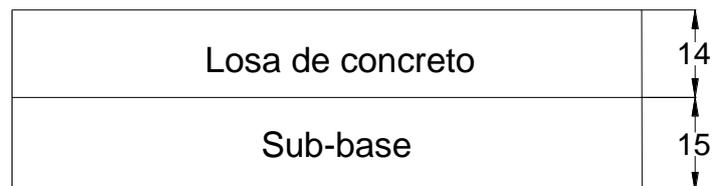
 MPa/m

Resistencia a flexotracción del concreto:

f'_c	300	kg/cm ²
M_R	45	kg/cm ²
M_R	4,5	MPa

**Cálculo del espesor de la losa de concreto hidráulico:
(ecuación 21 o usar figura 20)**

D	14	cm
D	5,6	pulgadas

**Diseño de juntas:****Juntas longitudinales:****Datos:**

b	3	m
f	1,5	
w	308	kg/m ²
fs	2 814	kg/cm ²
a	24,6	kg/cm ²

As	0,49	cm²/m
varilla de Ø 8 mm		

A	0,5	cm ²
p	2,51	cm

L	53	cm
----------	-----------	-----------

Pasadores de carga: (Tabla 26)

∅ pasador	20	mm
Longitud	35	cm
Separación	30	cm

2.3.2 Método de la PCA

Método de diseño desarrollado por la Portland Cement Association (PCA), tuvo sus inicios en el año 1966, su función principal como los demás métodos es determinar el espesor mínimo necesario de la estructura de pavimento para un periodo de diseño específico, el mismo que tenga costos iniciales y de mantenimiento equilibrados. (Salazar, 1997)

Una de las características de este método es que puede ser aplicable a diferentes tipos de pavimentos rígidos, entre los cuales tenemos:

- Pavimentos de concreto simple que no poseen acero de refuerzo o varillas de transferencia de carga en las juntas, simplemente la unión se la realiza por trabazón de los agregados.
- Pavimentos de concreto simple que no poseen acero de refuerzo, pero que se utiliza varillas de transferencia de carga en las juntas.
- Pavimentos de concreto armado, los cuales poseen acero de refuerzo y varillas de transferencia de carga.
- Pavimentos de concreto armado con refuerzo continuo, no poseen juntas de construcción.

El método de la PCA toma en cuenta ciertas condiciones importantes que no se incluyen en otras metodologías como: el grado de transferencia de carga en las juntas, el uso de bermas de concreto y el uso de una sub-base de concreto pobre; consideraciones que tienen un efecto significativo en la estructura de pavimento al momento de realizar el diseño. (Montejo, 2002)

Esta metodología plantea 2 criterios fundamentales para el diseño:

- La fatiga.- para proteger la estructura de pavimento de los esfuerzos producidos por la acción repetida de las cargas.
- La erosión.- para evitar que exista una deflexión excesiva en los bordes las losas, juntas y esquinas del pavimento, por causas de erosión en la subrasante o en la sub-base.

Factores de diseño:

- **Resistencia a la flexión del concreto (MR):**

Factor considerado para el diseño de la estructura de pavimento dentro del criterio de fatiga, para controlar el agrietamiento producido por las cargas de los vehículos y las deformaciones por esfuerzos de compresión y tensión que sufre un pavimento de concreto; cabe recalcar que dentro de este tipo de pavimentos el esfuerzo que tiene una relación mayor con la resistencia a compresión del concreto es el de flexión, debido a lo cual será el que se considerará para el diseño. Para la obtención de esta resistencia se utiliza un ensayo denominado "módulo de rotura" que se lo realiza en vigas de 15x15x75 cm cargándolas en los tercios de la luz y que tengan un periodo de curado de 28 días. (Montejo, 2002)

$$MR = 0,15 * f'c \quad (\text{Ec. \# 26})$$

Donde:

$f'c$ resistencia a la compresión del concreto en kg/cm^2

- **Capacidad de soporte de la subrasante y la sub-base (k):**

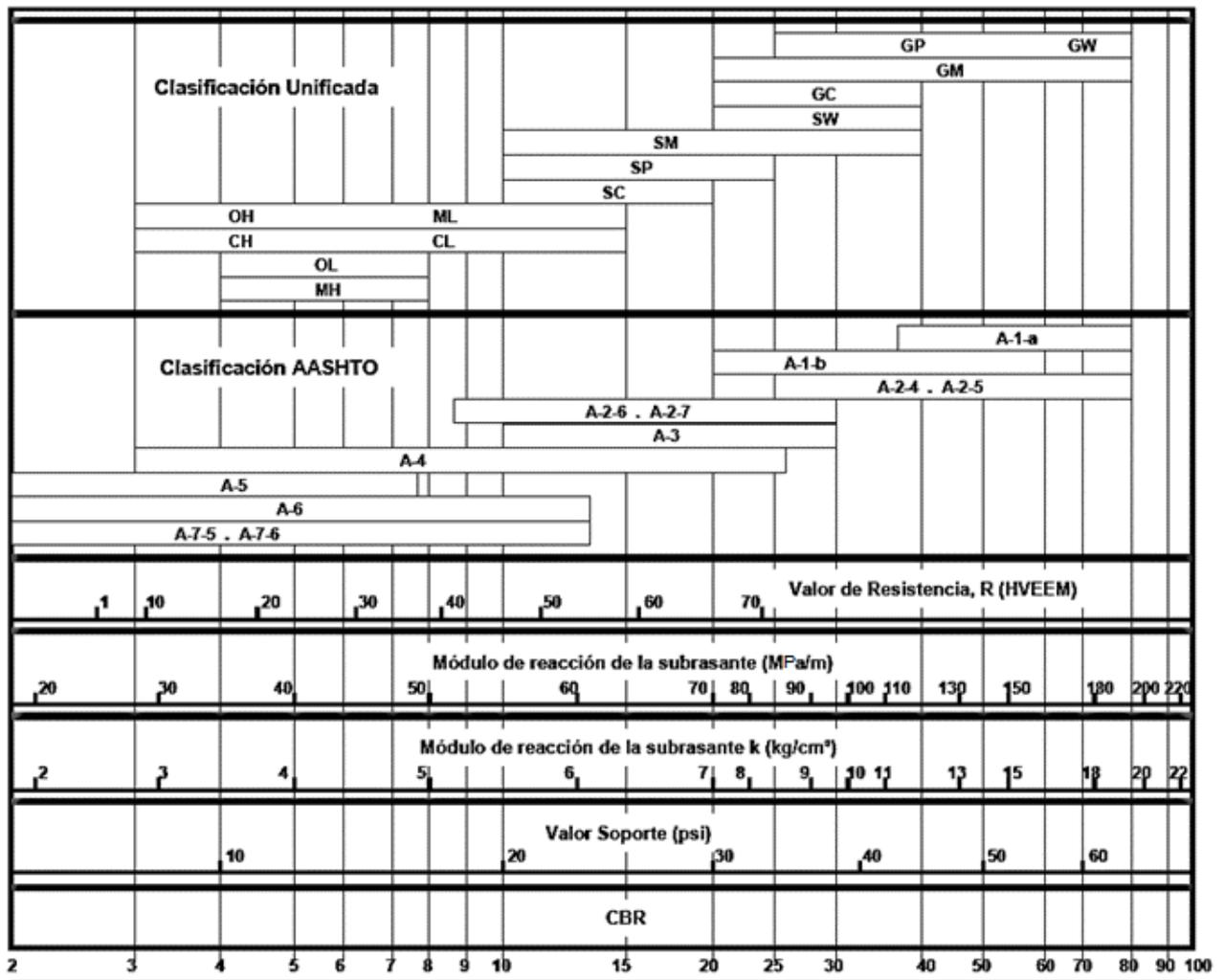
La capacidad de soporte, es el valor del módulo de reacción de la capa sobre la que se apoya el pavimento; se obtiene mediante una estimación que está en relación directa con el CBR del suelo, para lo cual la metodología utiliza una gráfica general (figura 22) o la ecuación indicada a continuación, para su determinación; el valor a obtener no es exacto por lo que puede existir ciertas variaciones en el mismo que

no afecten el cálculo final, siempre que las mismas se encuentren en un rango admisible.

$$k = 0,4317 + 2,2171 * \ln(CBR) \quad \text{para } CBR < 18\% \quad (\text{Ec. \# 27})$$

$$k = 0,905 * (CBR)^{0,7} \quad \text{para } CBR > 18\% \quad (\text{Ec. \# 28})$$

Figura 22: Relaciones aproximadas entre los valores de resistencia y clasificación del suelo



Fuente: Montejo Fonseca Alfonso. (2002). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Bogotá – Colombia, p. 323

Para los casos en los que se considere dentro de la estructura de pavimento a una sub-base, se debe obtener el valor real de la capacidad de soporte de la superficie de apoyo, incluyendo esta capa en el análisis, para esto el método establece una tabla (tabla 27) en la que se detalla el incremento del valor de k al colocar una sub-

base (granular o tratada con cemento). Para el presente caso de estudio se utilizará del tipo granular.

Tabla 27: Efecto de la sub-base granular sobre los valores de k

Valor de K para sub-rasante		Valor de K para sub-base combinada							
		100 mm		150 mm		225 mm		300 mm	
MPa/m	lb/in ³	MPa/m	lb/in ³	MPa/m	lb/in ³	MPa/m	lb/in ³	MPa/m	lb/in ³
20	73	23	85	26	96	32	117	38	140
40	147	45	165	49	180	57	210	66	245
60	220	64	235	66	245	76	280	90	330
80	295	87	320	90	330	100	370	117	430

Fuente: Montejo Fonseca Alfonso. (2002). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Bogotá – Colombia, p. 324

- **Periodo de diseño:**

Dentro del cálculo de un diseño de pavimentos es importante establecer un periodo determinado para el análisis del tránsito, el mismo que está en función de varios parámetros como: tipo de carretera, nivel de tránsito, análisis económico y servicio que preste. En el caso de estudio a desarrollar se tomará un periodo de 20 años, basándose en lo que establece la norma.

- **Tránsito:**

Para el análisis del tránsito es necesario contar con cierta información para poder iniciar con el cálculo, como es: el tránsito promedio diario en ambas direcciones (TPD), el tránsito promedio diario de vehículos comerciales y las cargas por eje de los vehículos comerciales; a su vez, con estos datos se puede determinar el número y la magnitud de las cargas por eje para el periodo de diseño establecido.

Luego de establecer los datos iniciales, se debe realizar la proyección del tránsito de la carretera para el periodo de diseño; el método de la PCA plantea el uso de factores de proyección en función de la tasa de crecimiento anual del tránsito y del periodo de diseño, utilizando una tabla (tabla 28) resumida donde se detallan las posibles opciones; para el caso de existir tasas mayores a las establecidas en la tabla se utilizará la fórmula general de proyección. Es necesario indicar que en el método de la PCA el factor de crecimiento (FC) se obtiene considerando el tránsito a la mitad del periodo de diseño, como se observa en la siguiente ecuación:

$$FC = (1 + r)^{0,5*n} \quad (\text{Ec. \# 29})$$

Donde:

- r** tasa de crecimiento anual. (obtenida en el acápite 2.1 p. 43)
n periodo de diseño en años. (20 años)

Tabla 28: Tasas anuales de crecimiento de tránsito y sus factores de proyección

Tasa de crecimiento anual de tránsito %	Factores de proyección	
	20 años	40 años
1	1,1	1,2
1 1/2	1,2	1,3
2	1,2	1,5
2 1/2	1,3	1,6
3	1,3	1,8
3 1/2	1,4	2
4	1,5	2,2
4 1/2	1,6	2,4
5	1,6	2,7
5 1/2	1,7	2,9
6	1,8	3,2

Fuente: Montejo Fonseca Alfonso. (2002). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Bogotá – Colombia, p. 325

Otro de los factores a considerar dentro del cálculo es el tránsito promedio diario de vehículos comerciales (buses y camiones), el cual se obtiene multiplicando el TPD de diseño por el porcentaje de vehículos comerciales dividido para 100 y esto multiplicado por 365 y por el periodo de diseño. Este proceso se utiliza para vías de menos de 4 carriles, que es el caso del presente estudio.

Factores de seguridad de carga.- una de las características de este método es la inclusión de un factor de seguridad de carga “FSC” dentro del cálculo, el cual está en función del tipo de vía y de las condiciones de tránsito; a continuación se plantean 3 posibles opciones con su respectivo valor:

- Vías de múltiples carriles con elevado volumen de tránsito pesado
FSC=1,2 (Montejo, 2002)
- Vías urbanas con volumen moderado de vehículos pesados
FSC=1,1 (Montejo, 2002)

- Calles residenciales con bajo volumen de tránsito de camiones
FSC= 1 (Montejo, 2002)

- **Procedimiento de diseño:**

El método de la PCA basa su diseño en dos tipos de análisis, el de fatiga y el de erosión, como se indicó anteriormente, para lo cual es necesario obtener ciertos datos iniciales que son: resistencia a flexión del concreto (MR), tipo de junta y berma, valor de K, factor de seguridad (FSC), distribución de cargas por eje y número de repeticiones de las diversas cargas en el carril de diseño; una vez obtenidos estos parámetros se procede a empezar con el diseño del espesor de la losa de concreto.

Para el desarrollo se ha establecido los siguientes pasos:

- Obtener los datos iniciales de entrada (indicados en el párrafo anterior).
- Multiplicar las cargas por eje existentes por el factor de seguridad (FSC).
- Realizar el diseño por el criterio de fatiga:

Para el análisis de este criterio existen tablas y gráficas para 2 posibles casos, sin berma de concreto y con berma de concreto. Para el presente caso de estudio solamente se utilizarán las que incluyan berma de concreto en el análisis (Tabla 29 y figura 23), las demás tablas no se incluyen pero se encuentran disponibles en la bibliografía.

En la tabla 29 se debe determinar el esfuerzo equivalente en función de un espesor de losa supuesto y del valor de K; este esfuerzo se divide para el MR, obteniendo el factor de relación de esfuerzos, mismo que servirá para hallar en la figura 23, con la magnitud de las cargas, el número admisible de repeticiones de carga.

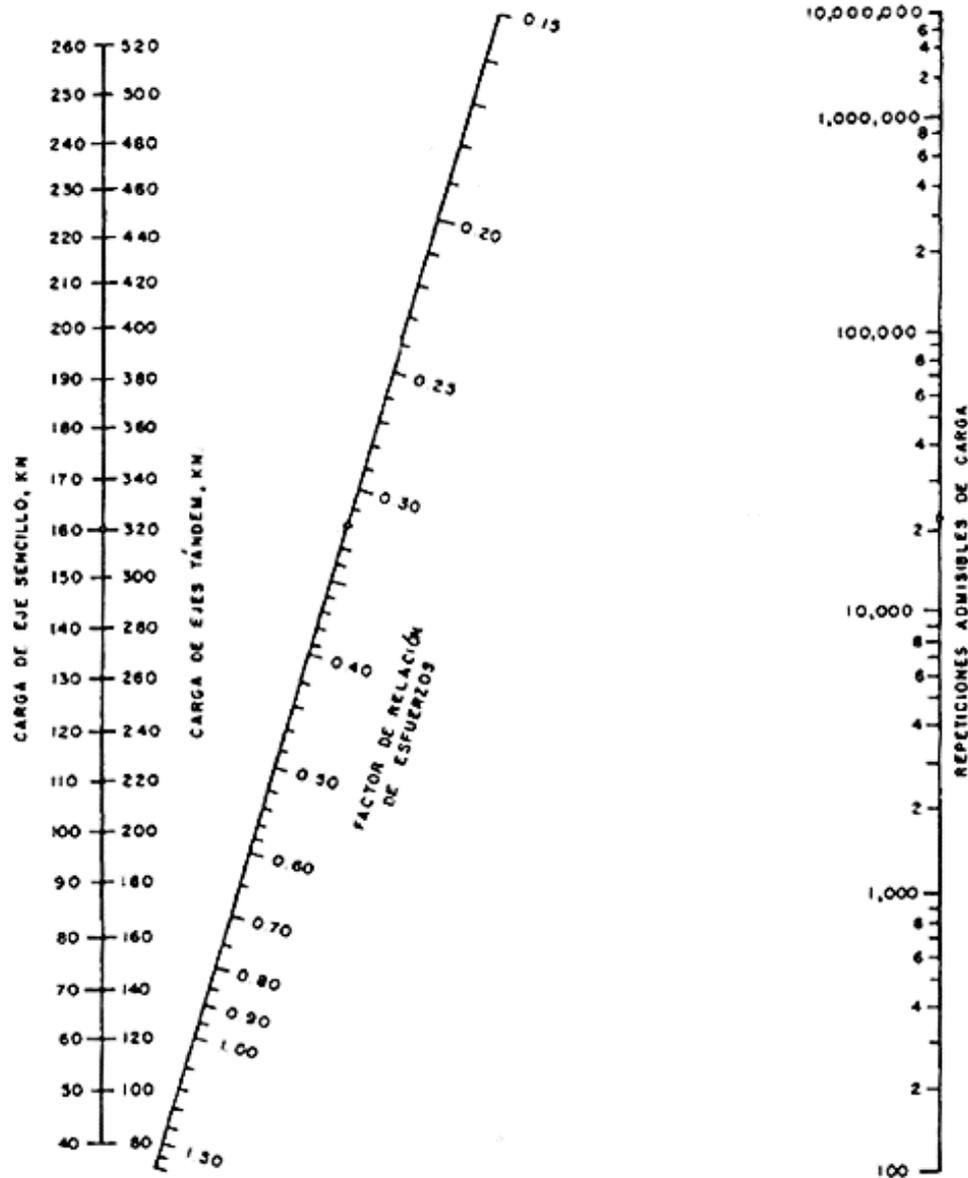
Para finalizar el análisis de este criterio se debe dividir las repeticiones esperadas para las repeticiones admisibles y multiplicar por 100, este porcentaje denominado de fatiga se obtiene para cada una de las cargas por eje, la suma total de estos debe ser menor de 100 para que cumpla, caso contrario se deberá buscar otros espesores y repetir el proceso hasta encontrar el adecuado.

Tabla 29: Esfuerzo equivalente

Esfuerzo equivalente - berma de concreto (eje simple / eje tándem)						
Espesor de losa (mm)	K combinado (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
100	4,18/3,48	3,65/3,1	3,37/2,94	3,19/2,85	2,85/2,74	2,72/2,72
110	3,68/3,07	3,23/2,71	2,99/2,56	2,83/2,47	2,55/2,35	2,43/2,32
120	3,28/2,75	2,88/2,41	2,67/2,26	2,54/2,17	2,29/2,05	2,19/2,02
130	2,95/2,49	2,6/2,17	2,41/2,02	2,29/1,94	2,07/1,82	1,99/1,78
140	2,68/2,27	2,36/1,97	2,19/1,83	2,08/1,75	1,89/1,63	1,81/1,59
150	2,44/2,08	2,15/1,8	2/1,67	1,9/1,59	1,73/1,48	1,66/1,44
160	2,24/1,93	1,97/1,66	1,84/1,53	1,75/1,46	1,59/1,35	1,53/1,31
170	2,06/1,79	1,82/1,54	1,7/1,42	1,62/1,35	1,48/1,24	1,42/1,2
180	1,91/1,67	1,69/1,43	1,57/1,32	1,5/1,25	1,37/1,15	1,32/1,11
190	1,77/1,57	1,57/1,34	1,46/1,23	1,4/1,17	1,28/1,07	1,23/1,03
200	1,65/1,48	1,46/1,26	1,37/1,16	1,3/1,1	1,19/1	1,15/0,96
210	1,55/1,4	1,37/1,19	1,28/1,09	1,22/1,03	1,12/0,93	1,08/0,9
220	1,45/1,32	1,29/1,12	1,2/1,03	1,15/0,97	1,05/0,88	1,01/0,85
230	1,37/1,26	1,21/1,07	1,13/0,98	1,08/0,92	0,99/0,83	0,96/0,8
240	1,29/1,2	1,15/1,01	1,07/0,93	1,02/0,87	0,94/0,79	0,9/0,76
250	1,22/1,14	1,08/0,97	1,01/0,88	0,97/0,83	0,89/0,75	0,86/0,72
260	1,16/1,09	1,03/0,92	0,96/0,84	0,92/0,79	0,84/0,71	0,81/0,68
270	1,1/1,04	0,98/0,88	0,91/0,81	0,87/0,76	0,8/0,68	0,77/0,65
280	1,05/1	0,93/0,85	0,87/0,77	0,83/0,73	0,76/0,65	0,74/0,62
290	1/0,96	0,89/0,81	0,83/0,74	0,79/0,7	0,73/0,62	0,7/0,6
300	0,95/0,93	0,85/0,78	0,79/0,71	0,76/0,67	0,7/0,6	0,67/0,57
310	0,91/0,89	0,81/0,75	0,76/0,69	0,72/0,64	0,67/0,58	0,64/0,55
320	0,87/0,86	0,78/0,73	0,73/0,66	0,69/0,62	0,64/0,55	0,62/0,53
330	0,84/0,83	0,74/0,7	0,7/0,64	0,67/0,6	0,61/0,53	0,59/0,51
340	0,8/0,8	0,71/0,68	0,67/0,62	0,64/0,58	0,59/0,52	0,57/0,49
350	0,77/0,78	0,69/0,66	0,64/0,6	0,61/0,56	0,57/0,5	0,55/0,47

Fuente: Montejo Fonseca Alfonso. (2002). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Bogotá – Colombia, p. 332

Figura 23: Análisis de fatiga, repetición de carga admisible



Fuente: Montejo Fonseca Alfonso. (2002). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Bogotá – Colombia, p. 331

- Realizar el diseño por el criterio de erosión:

Para el análisis de este criterio existen tablas y gráficas para 2 posibles casos, sin berma de concreto y con berma de concreto, dentro de cada uno de estos se debe determinar si el pavimento tendrá juntas: con pasadores o se lo realizará por medio de trabazón de agregados; una vez establecidas las condiciones iniciales, se procede con el desarrollo de este criterio. Para el presente caso de estudio solamente se utilizará las gráficas que consideran berma de concreto y juntas con pasadores

(tabla 30 y figura 24), las demás tablas no se incluyen pero se encuentran disponibles en la bibliografía.

En la tabla 30 se debe determinar el factor de erosión en función de un espesor de losa supuesto y del valor de K, este valor servirá para hallar en la figura 24, con la magnitud de las cargas, el número admisible de repeticiones de carga.

Para finalizar el análisis de este criterio se debe dividir las repeticiones esperadas para las repeticiones admisibles y multiplicar por 100, este porcentaje denominado de daño se obtiene para cada una de las cargas por eje, la suma total de estos debe ser menor de 100 para que cumpla, caso contrario se deberá buscar otros espesores y repetir el proceso hasta encontrar el adecuado.

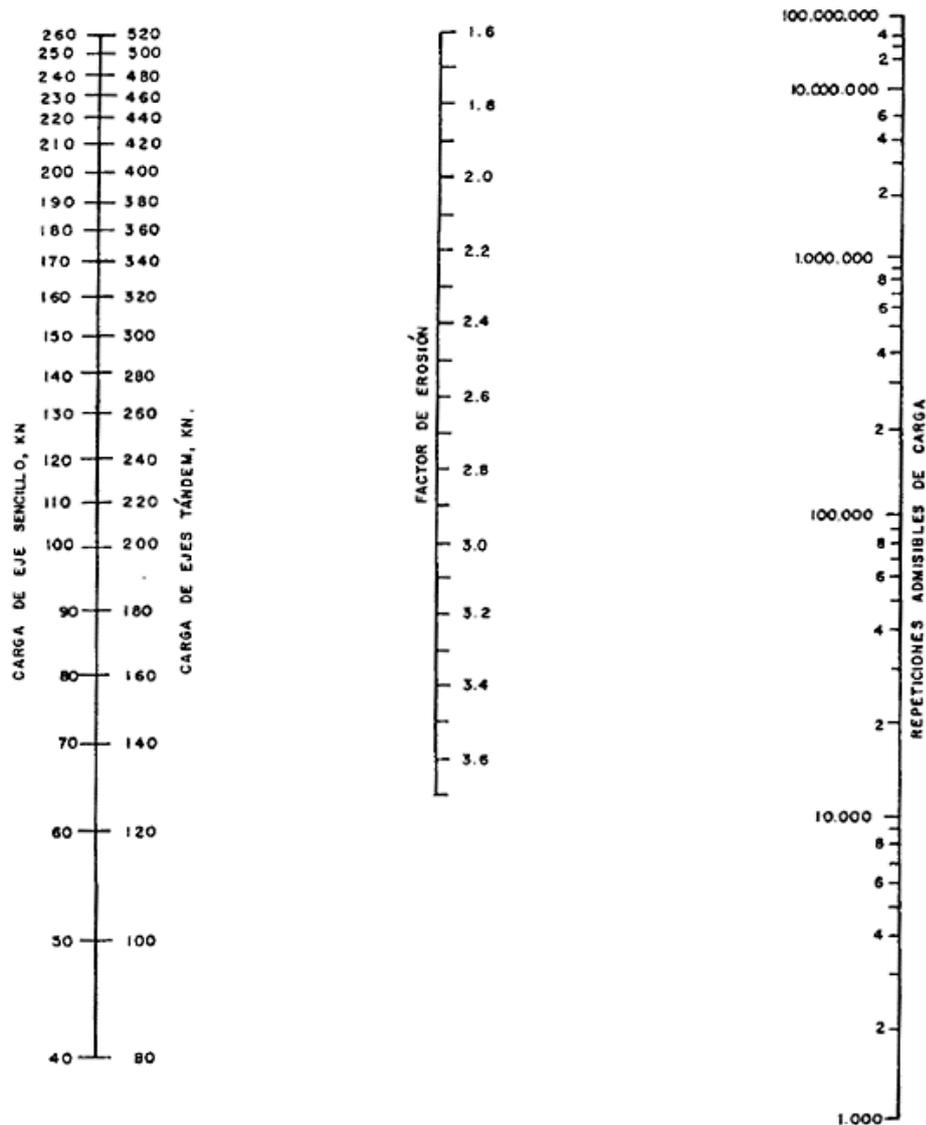
Tabla 30: Factor de erosión

Factores de erosión - juntas con pasadores - berma de concreto (eje simple/eje tándem)						
Espesor de losa (mm)	K combinado (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
100	3,27/3,25	3,24/3,17	3,22/3,14	3,21/3,12	3,17/3,11	3,15/3,11
110	3,16/3,16	3,12/3,07	3,1/3,03	3,09/3	3,05/2,98	3,03/2,97
120	3,05/3,08	3,01/2,98	2,99/2,93	2,98/2,9	2,94/2,86	2,92/2,84
130	2,96/3,01	2,92/2,9	2,89/2,85	2,88/2,81	2,84/2,76	2,82/2,74
140	2,87/2,94	2,82/2,83	2,8/2,77	2,78/2,74	2,75/2,67	2,73/2,65
150	2,79/2,88	2,74/2,77	2,72/2,71	2,7/2,67	2,67/2,6	2,65/2,57
160	2,71/2,82	2,66/2,71	2,64/2,65	2,62/2,6	2,59/2,53	2,57/2,5
170	2,64/2,77	2,59/2,65	2,57/2,59	2,55/2,55	2,51/2,46	2,49/2,43
180	2,57/2,72	2,52/2,6	2,5/2,54	2,48/2,49	2,44/2,41	2,42/2,37
190	2,51/2,67	2,46/2,56	2,43/2,49	2,41/2,44	2,38/2,35	2,36/2,32
200	2,45/2,63	2,4/2,51	2,37/2,44	2,35/2,4	2,31/2,31	2,3/2,27
210	2,39/2,58	2,34/2,47	2,31/2,4	2,29/2,35	2,26/2,26	2,24/2,22
220	2,34/2,54	2,29/2,43	2,26/2,36	2,24/2,31	2,2/2,22	2,18/2,18
230	2,29/2,5	2,23/2,39	2,21/2,32	2,19/2,27	2,15/2,18	2,13/2,13
240	2,24/2,46	2,18/2,35	2,16/2,28	2,13/2,23	2,1/2,14	2,08/2,1
250	2,19/2,43	2,14/2,31	2,11/2,24	2,09/2,2	2,05/2,1	2,03/2,06
260	2,15/2,39	2,09/2,28	2,06/2,21	2,04/2,16	2/2,07	1,98/2,02
270	2,1/2,36	2,05/2,24	2,02/2,18	2/2,13	1,96/2,03	1,94/1,99
280	2,06/2,32	2,01/2,21	1,98/2,14	1,95/2,1	1,91/2	1,89/1,96
290	2,02/2,29	1,97/2,18	1,93/2,11	1,91/2,06	1,87/1,97	1,85/1,93
300	1,98/2,26	1,93/2,15	1,9/2,08	1,87/2,03	1,83/1,94	1,81/1,9
310	1,95/2,23	1,89/2,12	1,86/2,05	1,84/2,01	1,79/1,91	1,77/1,87
320	1,91/2,2	1,85/2,09	1,82/2,03	1,8/1,98	1,76/1,88	1,74/1,84

330	1,87/2,17	1,82/2,06	1,78/2	1,76/1,95	1,72/1,86	1,7/1,81
340	1,84/2,15	1,78/2,04	1,75/1,97	1,73/1,92	1,69/1,83	1,67/1,79
350	1,81/2,12	1,75/2,01	1,72/1,95	1,69/1,9	1,65/1,8	1,63/1,76

Fuente: Montejo Fonseca Alfonso. (2002). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Bogotá – Colombia, p. 336

Figura 24: Análisis de erosión, repetición de carga admisible



Fuente: Montejo Fonseca Alfonso. (2002). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Bogotá – Colombia, p. 337.

- Diseño de juntas en pavimentos rígidos

El diseño de las juntas se lo realizará de la misma forma que en el método AASHTO, siguiendo el procedimiento desarrollado en el acápite 2.3.1 p. 76-78.

- **Diseño de la estructura de pavimento rígido por el método de la PCA para la calle Paseo Tres de Noviembre:**

Con los datos iniciales indicados en el acápite 2.1 p. 39-43, y la información desarrollada en el acápite 2.3.2 p. 84-93, se procederá a realizar el diseño de la estructura de pavimento rígido de esta calle, a continuación se detallará todo el proceso:

Datos:

CBR	1,7	% años
T	20	
r	6,25%	

Resistencia a flexión del concreto:

f'c	300	kg/cm ²
MR	45	kg/cm ²
MR	4,5	MPa

Capacidad de soporte de la subrasante y la sub-base (k): (Figura 22 y tabla 27)

k (subrasante)	1,61	kg/cm ³
sub-base	15	cm
k (combinado)	82	lb/in ³
Tabla 27	22	MPa/m

Factor de seguridad de carga:

FSC	1,1
-----	-----

Cálculo ESAL (equivalent single axle load):

Tipo de vehículo	Cantidad (A)	Tipo de eje	Carga por eje (t) (Tabla 11)	Factor de carga (Tabla 13) (B)	Factor de crecimiento (Tabla 12) (C)	Tránsito de diseño (D=A*C*365)	ESAL de diseño (B*D)
Buses	114	Simple	3,9	1,788	37,84	1 574 522,4	2 815 246,1
		Simple	9,2				
Camiones C1	30	Simple	1,9	0,087	37,84	414 348	36 089,7
		Simple	4,4				
Camiones C2	71	Simple	5,5	3,628	37,84	980 623,6	3 557 702,4
		Simple	11				
Camiones C3	5	Simple	5,5	2,898	37,84	69 058	200 130,1
		Tandem	19				
Camiones T3-S2	5	Simple	5,5	3,704	37,84	69 058	255 790,8
		Tandem	14				
		Tandem	19				
Total						6 864 959,1	
W₁₈						3 432 480	

Tipo de junta y berma:

Junta con pasadores y berma de concreto

Cálculo del espesor de la losa de concreto hidráulico:**Análisis de fatiga:**

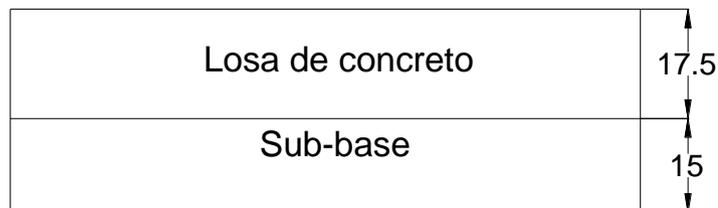
espesor inicial	175
esfuerzo equivalente (Tabla 29)	1,95
Factor de relación de esfuerzos	0,43

Análisis de erosión:

Factor de erosión (Tabla 30)	2,6
---------------------------------	-----

Carga por eje (kN)	Multiplicado por FSC	Repeticiones esperadas	Análisis de fatiga		Análisis de erosión	
			Repeticiones admisibles	Porcentaje de fatiga	Repeticiones admisibles	Porcentaje de daño
(A)	$B=A \cdot FSC$	(C)	(D) figura 23	$E=C/D \cdot 100$	(F) figura 24	$G=C/F \cdot 100$
80	88	3 432 480	5 000 000	68,6	8 000 000	42,91

D	17,5	cm
D	7	pulgadas

**Diseño de juntas:****Juntas longitudinales:****Datos:**

b	3,5	m
f	1,5	
w	385	kg/m ²
fs	2 814	kg/cm ²
a	24,6	kg/cm ²

As	0,72	cm ² /m
varilla de \varnothing 10 mm		

A	0,79	cm ²
p	3,14	cm

L	65	cm
---	----	----

Pasadores de carga: (Tabla 26)

Ø pasador	22	mm
Longitud	35	cm
Separación	30	cm

- **Diseño de la estructura de pavimento rígido por el método de la PCA para la calle Colombia:**

Con los datos iniciales indicados en el acápite 2.1 p. 39-43, y la información desarrollada en el acápite 2.3.2 p. 84-93, se procederá a realizar el diseño de la estructura de pavimento rígido de esta calle, a continuación se detallará todo el proceso:

Datos:

CBR	8	%
T	20	años
r	6,25%	

Resistencia a flexión del concreto:

f'c	300	kg/cm ²
MR	45	kg/cm ²
MR	4,5	MPa

Capacidad de soporte de la subrasante y la sub-base (k): (Figura 22 y tabla 27)

k (subrasante)	5,04	kg/cm ³
sub-base	15	cm
k (combinado)	213	lb/in ³
Tabla 27	57,7	MPa/m

Factor de seguridad de carga:

FSC	1,1
-----	-----

Cálculo ESAL (equivalent single axle load):

Tipo de vehículo	Cantidad (A)	Tipo de eje	Carga por eje (t) (Tabla 11)	Factor de carga (Tabla 13) (B)	Factor de crecimiento (Tabla 12) (C)	Tránsito de diseño (D=A*C*365)	ESAL de diseño (B*D)
Buses	74	Simple	3,9	1,788	37,84	1 022 058,4	1 827 440,4
		Simple	9,2				
Camiones C1	53	Simple	1,9	0,087	37,84	732 014,8	63 758,5
		Simple	4,4				
Camiones C2	11	Simple	5,5	3,628	37,84	151 927,6	551 193,3
		Simple	11				
Total						2 442 392,2	
W₁₈						1 221 196	

Tipo de junta y berma:

Junta con pasadores y berma de concreto

Cálculo del espesor de la losa de concreto hidráulico:**Análisis de fatiga:**

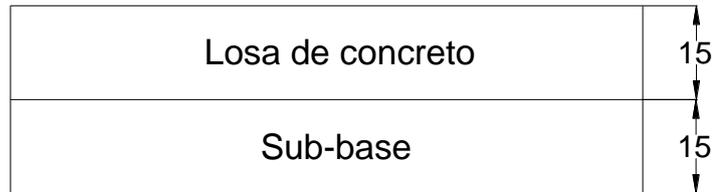
espesor inicial	150
esfuerzo equivalente (Tabla 29)	2,01
Factor de relación de esfuerzos	0,447

Análisis de erosión:

Factor de erosión (Tabla 30)	2,722
------------------------------	-------

Carga por eje (kN)	Multiplicado por FSC	Repeticiones esperadas	Análisis de fatiga		Análisis de erosión	
			Repeticiones admisibles	Porcentaje de fatiga	Repeticiones admisibles	Porcentaje de daño
(A)	B=A*FSC	(C)	(D) figura 23	E=C/D*100	(F) figura 24	G=C/F*100
80	88	1 221 196	1 400 000	87,2	1 900 000	64,27

D	15	cm
D	6	pulgadas



Diseño de juntas:

Juntas longitudinales:

Datos:

b	3	m
f	1,5	
w	330	kg/m ²
fs	2 814	kg/cm ²
a	24,6	kg/cm ²

As	0,53	cm²/m
varilla de Ø 10 mm		

A	0,79	cm ²
p	3,14	cm

L	65	cm
----------	-----------	-----------

Pasadores de carga: (Tabla 26)

Ø pasador	20	mm
Longitud	35	cm
Separación	30	cm

2.4 Diseño de la estructura del pavimento articulado

El pavimento articulado es una estructura vial que tiene una característica singular con respecto a los demás tipos de pavimentos, ya que se comporta superficialmente mejor que un pavimento rígido, en cuanto a su resistencia a la compresión y al desgaste, y a su vez mantiene las propiedades flexibles de los asfálticos, sin la dificultad de su deformación. Está compuesto por una capa de rodadura conformada por bloques de concreto prefabricados, los cuales se colocan sobre una capa delgada de arena, que a su vez, se apoya sobre una base granular o mejorada con cemento y una sub-base, todo esto dependiendo de la calidad del suelo de la subrasante y de la magnitud y frecuencia de las cargas que circularán

por dicho pavimento (todo lo anterior explicado detalladamente en el acápite 1.4.7 p. 35-37). El objetivo del diseño consiste en determinar los espesores de las capas antes mencionadas en función del tránsito vehicular pronosticado, el clima y las condiciones de apoyo.

Este tipo de estructura de pavimentos se diseña para un periodo de 20 años y los principales métodos para el cálculo son el de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y el método del TRRL (propuesto por el Transport and Road Research Laboratory); los mismos que se detallarán a continuación.

2.4.1 Método AASHTO

Método de diseño creado por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO); tuvo sus inicios en el año 1961 y se ha estructurado en base a pruebas experimentales en carreteras modelo, las mismas que ayudaron a implementar la guía general de diseño para este método. (Rico, 1998)

El método AASHTO basa su diseño en obtener un "número estructural SN" que servirá para cuantificar la resistencia estructural que el pavimento requiere para una determinada capacidad de soporte del suelo (CBR) y tráfico esperado; cabe recalcar que el diseño se realiza de la misma forma que un pavimento flexible (desarrollado en el acápite 2.2.1 p. 44-53) con la única diferencia que la capa de rodadura estará compuesta por bloques de concreto prefabricados en lugar de una carpeta asfáltica, variando el coeficiente de capa para el cálculo de los espesores.

Para el diseño de este pavimento se emplea la misma ecuación del pavimento flexible que es:

(Ec. # 30)

$$\log_{10} W_{18} = Z_r * S_0 + 9,36 * \log_{10}(SN + 1) - 0,2 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right)}{0,4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 * \log_{10} M_r - 8,07$$

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures. (1993). Washington D.C.- USA.

Donde:

W_{18} número de ejes equivalentes de 80 kN (18000 lb), en el periodo de diseño (20 años). (Explicado en el acápite 2.2.1 p. 45-48).

SN número estructural requerido.

M_R módulo de resiliencia de la subrasante en psi. (Explicado en el acápite 2.2.1 p. 48)

Z_r desviación estándar normal, que está en función de la confiabilidad del diseño. (Explicado en el acápite 2.2.1 p. 49).

S_0 desviación estándar por efecto del tráfico y de la predicción del comportamiento. (Explicado en el acápite 2.2.1 p. 50).

ΔPSI variación del índice de serviciabilidad. (Explicado en el acápite 2.2.1 p. 50).

- **Cálculo de espesores:**

Una vez determinados los diferentes parámetros analizados anteriormente (W_{18} , M_R , Z_r , S_0 , ΔPSI) se obtiene el número estructural (SN) por medio de la fórmula básica del método AASHTO para pavimentos flexibles y articulados, este número representa el espesor total del pavimento y debe ser transformado a espesores efectivos para cada una de las capas que conforman esta estructura, lo cual se realiza a través de la siguiente ecuación:

$$SN = a_1 * d_1 + a_2 * d_2 + a_3 * d_3 \quad (\text{Ec. \# 31})$$

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures. (1993). Washington D.C.- USA.

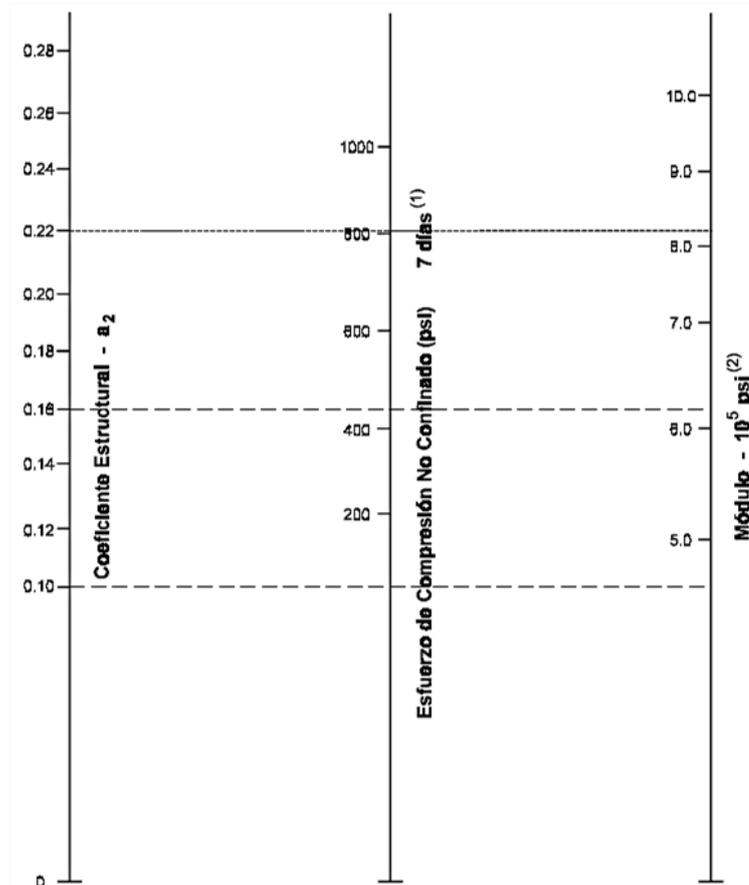
Donde:

a_1, a_2, a_3 coeficientes estructurales de las capas (sub-base, base), que depende del tipo de material (figura 13 y 14 p. 52-53).

d_1, d_2, d_3 espesores de las capas (en pulgadas).

El método también considera para el diseño el uso de una base de suelo cemento en lugar de la base granular, que será la opción a utilizar para el presente caso de estudio, para lo cual plantea la siguiente gráfica donde se podrá obtener el coeficiente de capa en función del esfuerzo de compresión.

Figura 25: Coeficiente de capa de base estabilizada con cemento (a_2)



Fuente: Minaya González Silene. (2006). Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos, Lima-Perú, p.117

Dentro de este tipo de estructuras de pavimento se debe incluir una capa denominada "cama de arena" que tendrá un espesor de 3 a 5 cm, la cual servirá de asiento para los adoquines; esta no se incluye dentro del cálculo del diseño ya que no tiene una función estructural en el pavimento.

El tipo de adoquín a utilizar en el diseño será de un espesor de 8 cm, el cual tendrá como coeficiente de capa " a_1 " 0,46, que es el utilizado para este tipo de vías en nuestro país.

Las especificaciones técnicas que deben cumplir los materiales para la base y sub-base se detallaron anteriormente en los acápites 1.4.1 p. 23-24, 1.4.2 p. 25, respectivamente para cada uno, los mismos que se deberán tomar en cuenta para el diseño y al momento de ejecutar el proyecto.

- **Diseño de la estructura de pavimento articulado por el método de la AASHTO para la calle Paseo Tres de Noviembre:**

Con los datos iniciales indicados en el acápite 2.1 p. 39-43, y la información desarrollada en el acápite 2.4.1 p. 99-102, se procederá a realizar el diseño de la estructura de pavimento articulado de esta calle, a continuación se detallará todo el proceso:

Datos:

CBR	1,7	%
T	20	años
r	6,25%	
<i>D_D</i>	0,5	

Cálculo ESAL (equivalent single axle load):

Tipo de vehículo	Cantidad (A)	Tipo de eje	Carga por eje (t) (Tabla 11)	Factor de carga (Tabla 13) (B)	Factor de crecimiento (Tabla 12) (C)	Tránsito de diseño (D=A*C*365)	ESAL de diseño (B*D)
Buses	114	Simple	3,9	1,788	37,84	1 574 522,4	2 815 246,1
		Simple	9,2				
Camiones C1	30	Simple	1,9	0,087	37,84	414 348	36 089,7
		Simple	4,4				
Camiones C2	71	Simple	5,5	3,628	37,84	980 623,6	3 557 702,4
		Simple	11				
Camiones C3	5	Simple	5,5	2,898	37,84	69 058	200 130,1
		Tandem	19				
Camiones T3-S2	5	Simple	5,5	3,704	37,84	69 058	255 790,8
		Tandem	14				
		Tandem	19				
Total						6 864 959,1	
W₁₈						3 432 480	

Módulo de resiliencia:

Mr (psi)	2 550
-----------------	-------

Desviación estándar normal:

R (Tabla 14)	90%
Zr	-1,282

Desviación estándar combinada:

So	0,45
-----------	------

Índice de serviciabilidad:

Po	4,2
Pt	2
ΔPSI	2,2

Número estructural: (ecuación 30)

SN	5,6
-----------	------------

Diseño de los espesores de las capas:**Datos:**

Base suelo - cemento

800 psi

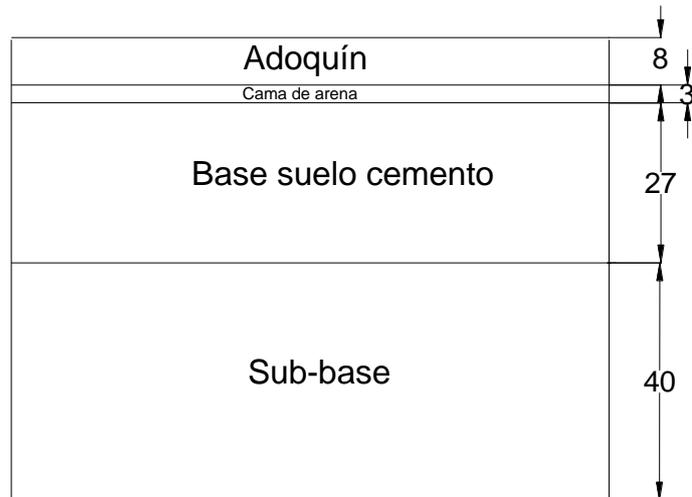
Sub-base granular clase 1

CBR 30%

Capas	espesor (in)	Coefficiente de capa (figura 14 y 25)	
Adoquín	3,2	0,46	1,472
Base suelo-cemento	10,8	0,22	2,376
Sub-base	16	0,11	1,76
		SN real	5,6

cm

Adoquín	8
Cama de arena	3
Base suelo cemento	27
Sub-base	40



- **Diseño de la estructura de pavimento articulado por el método de la AASHTO para la calle Colombia:**

Con los datos iniciales indicados en el acápite 2.1 p. 39-43, y la información desarrollada en el acápite 2.4.1 p. 99-102, se procederá a realizar el diseño de la estructura de pavimento articulado de esta calle, a continuación se detallará todo el proceso:

Datos:

CBR	8	%
T	20	
r	6,25%	
D_D	0,5	

Cálculo ESAL (equivalent single axle load):

Tipo de vehículo	Cantidad (A)	Tipo de eje	Carga por eje (t) (Tabla 11)	Factor de carga (Tabla 13) (B)	Factor de crecimiento (Tabla 12) (C)	Tránsito de diseño (D=A*C*365)	ESAL de diseño (B*D)
Buses	74	Simple	3,9	1,788	37,84	1 022 058,4	1 827 440,4
		Simple	9,2				
Camiones C1	53	Simple	1,9	0,087	37,84	732 014,8	63 758,5
		Simple	4,4				
Camiones C2	11	Simple	5,5	3,628	37,84	151 927,6	551 193,3
		Simple	11				
Total						2 442 392,2	

W_{18}	1 221 196
----------------------------	------------------

Módulo de resiliencia:

Mr (psi)	12 000
-----------------	--------

Desviación estándar normal:

R (Tabla 14)	90%
Zr	-1,282

Desviación estándar combinada:

So	0,45
-----------	------

Índice de serviciabilidad:

Po	4,2
Pt	2
ΔPSI	2,2

Número estructural: (ecuación 30)

SN	2,904
-----------	--------------

Diseño de los espesores de las capas:**Datos:**

Base suelo - cemento	800 psi
Sub-base granular clase 1	CBR 30%

Capas	espesor (in)	Coficiente de capa (figura 14 y 25)	
Adoquín	3,2	0,46	1,472
Base suelo-cemento	4	0,22	0,88
Sub-base	5,4	0,11	0,594
SN real			2,95

cm

Adoquín	8
Cama de arena	3
Base suelo cemento	10
Sub-base	13,5

Adoquín	8
Cama de arena	3
Base suelo cemento	10
Sub-base	13.5

2.4.2 Método del TRRL propuesto por el Transport and Road Research Laboratory

Método de diseño desarrollado en el Reino Unido por el Transport and Road Research Laboratory (TRRL), cuya metodología, basándose en investigaciones de varios años, establece para su análisis que el comportamiento de un pavimento articulado es similar al de un flexible. (Montejo, 2002)

El objetivo de este método es determinar los espesores de las diferentes capas del pavimento, en función de las características de la subrasante (CBR), del tráfico esperado para el periodo de diseño (número de ejes equivalentes de 8,2 t) y del tipo de material a utilizar para cada una de las capas que conforman la estructura.

- **Elementos del pavimento:**

Este tipo de estructura de pavimentos está conformada de manera general por los siguientes elementos: adoquines de concreto, capa de arena, base, sub-base y en algunas ocasiones subrasante mejorada (indicados con mayor detalle en el acápite 1.4.7 p. 35-37); cabe recalcar que no todos los elementos antes indicados estarán presentes siempre, están en función de cada tipo de proyecto a desarrollar, dependiendo de las características que tenga como: tipo de vía, importancia, tipo de subrasante y el análisis del tráfico.

El presente método considera dentro de su análisis el uso de otros materiales para las diferentes capas de la estructura del pavimento, implementando un factor de conversión para cada tipo, el mismo que se incluirá al momento de realizar el diseño. En la tabla a continuación se detalla lo antes indicado.

Tabla 31: Factor de conversión de materiales

Tipo de material	FCM
Material estabilizado con cemento. Tipo 1 (suelo-cemento; 4,5 MPa)	0,5
Material estabilizado con cemento. Tipo 2 (suelo-cemento; 7 MPa)	0,6
Material estabilizado con cemento. Tipo 3 (material granular)	0,7
Material estabilizado con cemento. Tipo 4 (concreto pobre; 12 y 18 MPa)	1 y 1,3
Concreto para pavimentos (30 MPa)	1,7
Macadan bituminoso denso	1
Concreto asfáltico compactado en caliente	0,8
Material granular para sub-base, tipo 1, sobre subrasante con CBR > 5%	0,3
Material granular para sub-base, tipo 1, sobre subrasante con CBR ≤ 5%	0,2
Material granular para sub-base, tipo 2, sobre subrasante con CBR > 5%	0,2
Material granular para sub-base, tipo 2, sobre subrasante con CBR ≤ 5%	0,1

Fuente: Montejo Fonseca Alfonso. (2002). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Bogotá – Colombia, p. 377

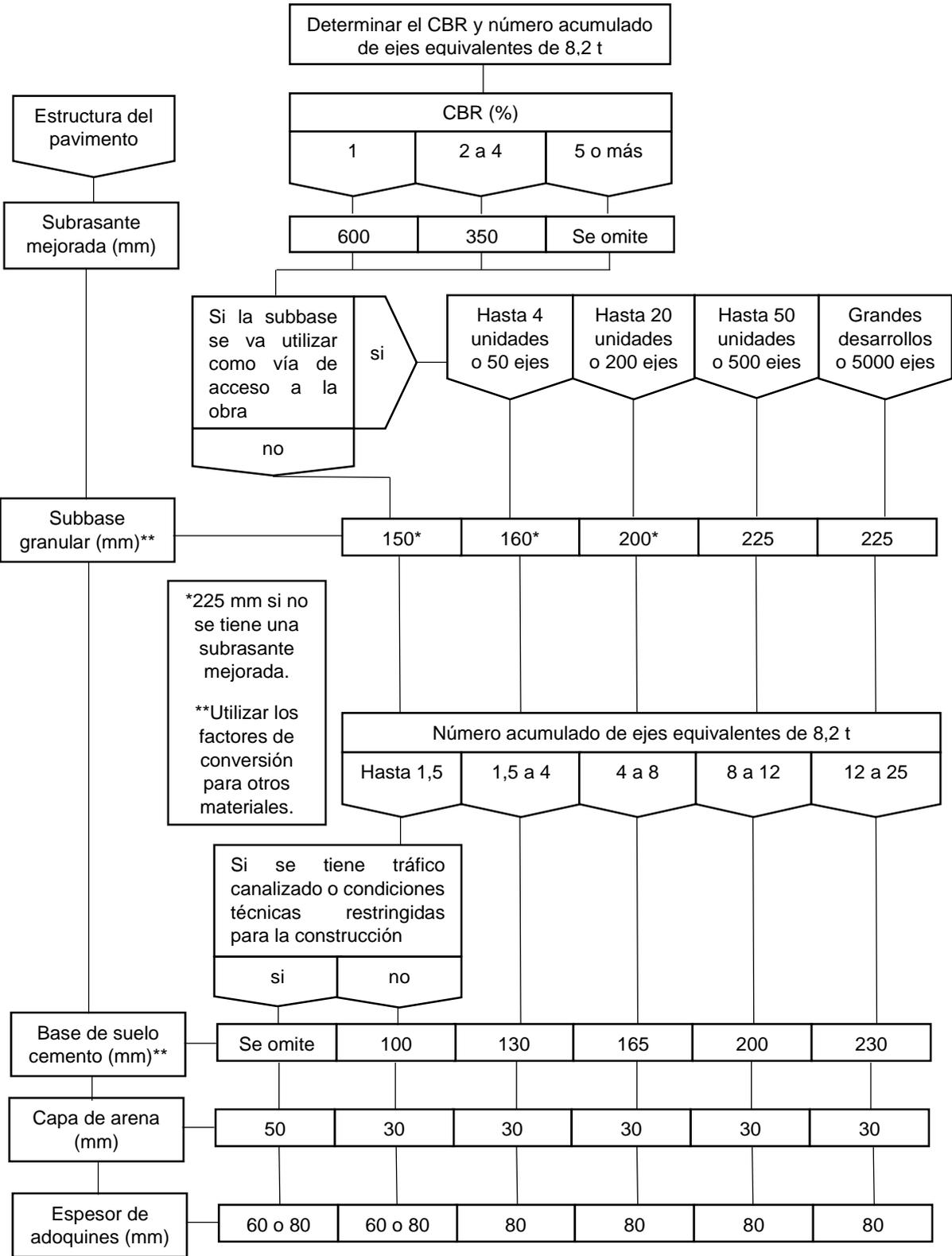
Las especificaciones técnicas que deben cumplir los materiales para base, sub-base y mejoramiento se detallaron anteriormente en los acápites 1.4.1 p. 23-24, 1.4.2 p. 25, 1.4.3 p. 26, respectivamente para cada uno, los mismos que se deberán tomar en cuenta para el diseño y al momento de ejecutar el proyecto.

- **Procedimiento de diseño:**

Antes de iniciar con el procedimiento de diseño es necesario contar con la información necesaria como: el valor del CBR, la magnitud del tráfico esperado expresado en millones (obtenido como en el método AASHTO acápite 2.2.1 p. 45-48 para un periodo de diseño de 20 años) y los tipos de materiales a utilizar para cada una de las capas.

El método establece un diagrama de flujo para el cálculo de los espesores el cual se debe seguir, utilizando los datos indicados anteriormente, que estarán en función de cada proyecto. La figura a continuación nos detalla el proceso:

Figura 26: Procedimiento de diseño para pavimentos articulados



Fuente: Montejo Fonseca Alfonso. (2002). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Bogotá – Colombia, p. 370

Se debe indicar que dentro del diagrama de flujo consta como capa de base un material estabilizado con cemento o un macadám denso bituminoso, en el caso de emplear otro tipo tomar los factores de conversión de los materiales de la tabla 31 para la obtención del espesor.

- **Diseño de la estructura de pavimento articulado por el método del TRRL para la calle Paseo Tres de Noviembre:**

Con los datos iniciales indicados en el acápite 2.1 p. 39-43, y la información desarrollada en el acápite 2.4.2 p. 106-109, se procederá a realizar el diseño de la estructura de pavimento articulado de esta calle, a continuación se detallará todo el proceso:

El tipo de adoquín a utilizar en el diseño será de un espesor de 8 cm, que es el utilizado para este tipo de vías en nuestro país.

Datos:

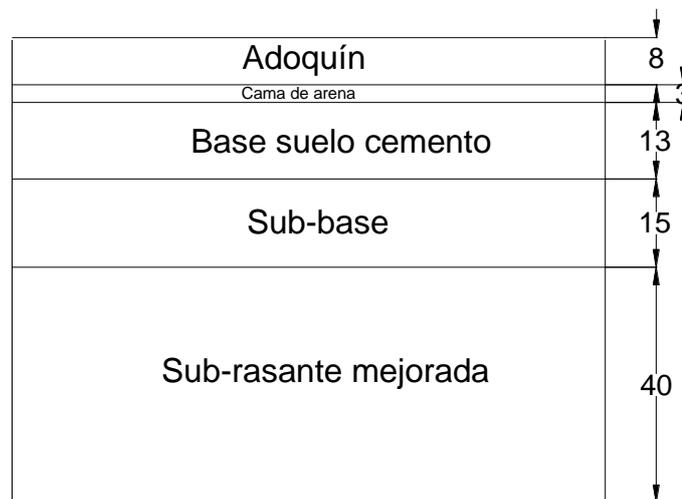
CBR	1,7	%
T	20	años
r	6,25%	
D_D	0,5	

Cálculo ESAL (equivalent single axle load):

Tipo de vehículo	Cantidad (A)	Tipo de eje	Carga por eje (t) (Tabla 11)	Factor de carga (Tabla 13) (B)	Factor de crecimiento (Tabla 12) (C)	Tránsito de diseño (D=A*C*365)	ESAL de diseño (B*D)
Buses	114	Simple	3,9	1,788	37,84	1 574 522,4	2 815 246,1
		Simple	9,2				
Camiones C1	30	Simple	1,9	0,087	37,84	414 348	36 089,7
		Simple	4,4				
Camiones C2	71	Simple	5,5	3,628	37,84	980 623,6	3 557 702,4
		Simple	11				
Camiones C3	5	Simple	5,5	2,898	37,84	69 058	200 130,1
		Tandem	19				
Camiones T3-S2	5	Simple	5,5	3,704	37,84	69 058	255 790,8
		Tandem	14				
		Tandem	19				
Total						6 864 959,1	
W_{18}						3 432 480	

Cálculo de la estructura de pavimento: (Figura 26)

Subrasante mejorada:	40	cm
Sub - base granular:	15	cm
Base de suelo - cemento:	13	cm
Cama de arena:	3	cm
Adoquín:	8	cm



- **Diseño de la estructura de pavimento articulado por el método del TRRL para la calle Colombia:**

Con los datos iniciales indicados en el acápite 2.1 p. 48-52, y la información desarrollada en el acápite 2.4.2 p. 106-109, se procederá a realizar el diseño de la estructura de pavimento articulado de esta calle, a continuación se detallará todo el proceso:

El tipo de adoquín a utilizar en el diseño será de un espesor de 8 cm, que es el utilizado para este tipo de vías en nuestro país.

Datos:

CBR	8	%
T	20	años
r	6,25%	
D_D	0,5	

Cálculo ESAL (equivalent single axle load):

Tipo de vehículo	Cantidad (A)	Tipo de eje	Carga por eje (t) (Tabla 11)	Factor de carga (Tabla 13) (B)	Factor de crecimiento (Tabla 12) (C)	Tránsito de diseño (D=A*C*365)	ESAL de diseño (B*D)
Buses	74	Simple	3,9	1,788	37,84	1 022 058,4	1 827 440,4
		Simple	9,2				
Camiones C1	53	Simple	1,9	0,087	37,84	732 014,8	63 758,5
		Simple	4,4				
Camiones C2	11	Simple	5,5	3,628	37,84	151 927,6	551 193,3
		Simple	11				
Total						2 442 392,2	
W₁₈						1 221 196	

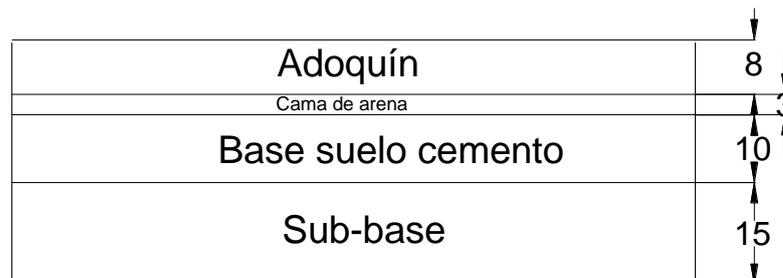
Cálculo de la estructura de pavimento: (Figura 26)

Sub - base granular:	15	cm
-----------------------------	----	----

Base de suelo - cemento:	10	cm
---------------------------------	----	----

Cama de arena:	3	cm
-----------------------	---	----

Adoquín:	8	cm
-----------------	---	----



2.5 Análisis de precios unitarios y presupuesto

Dentro de la ejecución de proyectos de infraestructura vial es necesario realizar un análisis económico de las posibles opciones para la estructura de pavimento, con el objeto de determinar y escoger la más adecuada tanto en el ámbito económico como en el de serviciabilidad y durabilidad; este tipo de estudios se componen de un análisis de precios unitarios detallado, de cada uno de los rubros que conforman el presupuesto general del proyecto; a continuación se realizará este procedimiento para cada una de las calles y las posibles opciones de estructura de pavimento, explicadas a lo largo de este capítulo.

- **Análisis de precios unitarios y presupuesto para la calle Paseo Tres de Noviembre, considerando una estructura de pavimento flexible diseñada por el método AASHTO**

PRESUPUESTO						
Item	Cod.	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
		OBRAS PRELIMINARES				
1	0001	Replanteo y nivelación en vías	m	228	1,69	386,23
2	0002	Excavación a máquina con retroexcavadora (en terreno sin clasificar)	m ³	48,6	1,63	79,32
3	0003	Cargado de material con cargadora	m ³	63,2	1,24	78,37
4	0004	Transporte de materiales hasta 6 km, incluye pago en escombrera	m ³	63,2	1,83	115,35
5	0005	Sobrecarreo de materiales para desalojo, distancia > 6 km	m ³ -km	63,2	0,24	14,97
		ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE				
6	0006	Subrasante conformación y compactación con equipo pesado	m ²	1 596	1,19	1 899,82
7	0007	Sub - base conformación y compactación con equipo pesado	m ³	638,4	22,84	14 582,99
8	0008	Base conformación y compactación con equipo pesado	m ³	478,8	25,32	12 123,71
9	0009	Imprimación asfáltica con barrido mecánico	m ²	1 596	0,98	1 557,71
10	0010	Carpeta asfáltica (e=3 in) Ho Asf. mezclado en planta	m ²	1 596	10,98	17 516,94
					TOTAL	\$48 355,4

El análisis de precios unitarios de cada uno de los rubros del presupuesto se encuentra detallado en los anexos del presente trabajo.

- **Análisis de precios unitarios y presupuesto para la calle Paseo Tres de Noviembre, considerando una estructura de pavimento flexible diseñada por el método del Instituto de Asfalto Norteamericano**

PRESUPUESTO						
Item	Cod.	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
		OBRAS PRELIMINARES				
1	0001	Replanteo y nivelación en vías	m	228	1,69	386,23
2	0002	Excavación a máquina con retroexcavadora (en terreno sin clasificar)	m ³	48,6	1,63	79,32
3	0003	Cargado de material con cargadora	m ³	63,2	1,24	78,37
4	0004	Transporte de materiales hasta 6 km, incluye pago en escombrera	m ³	63,2	1,83	115,35
5	0005	Sobreacarreo de materiales para desalojo, distancia > 6 km	m ³ -km	63,2	0,24	14,97
		ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE				
6	0006	Subrasante conformación y compactación con equipo pesado	m ²	1 596	1,19	1 899,82
7	0007	Sub - base conformación y compactación con equipo pesado	m ³	351,12	22,84	8 020,64
8	0008	Base conformación y compactación con equipo pesado	m ³	351,12	25,32	8 890,72
9	0009	Imprimación asfáltica con barrido mecánico	m ²	1 596	0,98	1 557,71
10	0010	Carpeta asfáltica(e=8,5 in)Ho Asf. mezclado en planta	m ²	1 596	29,52	47 117,41
					TOTAL	\$68 160,5

El análisis de precios unitarios de cada uno de los rubros del presupuesto se encuentra detallado en los anexos del presente trabajo.

- **Análisis de precios unitarios y presupuesto para la calle Paseo Tres de Noviembre, considerando una estructura de pavimento rígido diseñada por el método AASHTO**

PRESUPUESTO						
Item	Cod.	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
		OBRAS PRELIMINARES				
1	0001	Replanteo y nivelación en vías	m	228	1,69	386,23
2	0002	Excavación a máquina con retroexcavadora (en terreno sin clasificar)	m ³	48,6	1,63	79,32
3	0003	Cargado de material con cargadora	m ³	63,2	1,24	78,37
4	0004	Transporte de materiales hasta 6 km, incluye pago en escombrera	m ³	63,2	1,83	115,35
5	0005	Sobreacarreo de materiales para desalojo, distancia > 6 km	m ³ -km	63,2	0,24	14,97
		ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO				
6	0006	Subrasante conformación y compactación con equipo pesado	m ²	1 596	1,19	1 899,82
7	0007	Sub - base conformación y compactación con equipo pesado	m ³	239,4	22,84	5 468,62
8	0008	Losa de pavimento hormigón (f'c=300 kg/cm ²)	m ³	287,28	137,32	39 449,67
9	0009	Acero de refuerzo (fy=4200 kg/cm ²)	kg	1 127,4	1,86	2 095,75
10	0010	Encofrado metálico para vías	m	228	4,11	935,95
11	0011	Curado de superficie con aditivo	m ²	1 596	0,58	927,75
12	0012	Corte y sellado de juntas con poliuretano	m	543	3,72	2 020,29
13	0013	Junta de madera para losa de hormigón	m	28	1,81	50,61
					TOTAL	\$53 522,7

El análisis de precios unitarios de cada uno de los rubros del presupuesto se encuentra detallado en los anexos del presente trabajo.

- **Análisis de precios unitarios y presupuesto para la calle Paseo Tres de Noviembre, considerando una estructura de pavimento rígido diseñada por el método del PCA**

PRESUPUESTO						
Item	Cód.	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
		OBRAS PRELIMINARES				
1	0001	Replanteo y nivelación en vías	m	228	1,69	386,23
2	0002	Excavación a máquina con retroexcavadora (en terreno sin clasificar)	m ³	48,6	1,63	79,32
3	0003	Cargado de material con cargadora	m ³	63,2	1,24	78,37
4	0004	Transporte de materiales hasta 6 km, incluye pago en escombrera	m ³	63,2	1,83	115,35
5	0005	Sobreacarreo de materiales para desalojo, distancia > 6 km	m ³ -km	63,2	0,24	14,97
		ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO				
6	0006	Subrasante conformación y compactación con equipo pesado	m ²	1 596	1,19	1 899,82
7	0007	Sub - base conformación y compactación con equipo pesado	m ³	239,4	22,84	5 468,62
8	0008	Losa de pavimento hormigón (f'c=300 kg/cm ²)	m ³	279,3	137,32	38 353,84
9	0009	Acero de refuerzo (fy=4200 kg/cm ²)	kg	1 127,4	1,86	2 095,75
10	0010	Encofrado metálico para vías	m	228	4,11	935,95
11	0011	Curado de superficie con aditivo	m ²	1 596	0,58	927,75
12	0012	Corte y sellado de juntas con poliuretano	m	543	3,72	2 020,29
13	0013	Junta de madera para losa de hormigón	m	28	1,81	50,61
					TOTAL	\$52 426,9

El análisis de precios unitarios de cada uno de los rubros del presupuesto se encuentra detallado en los anexos del presente trabajo.

- **Análisis de precios unitarios y presupuesto para la calle Paseo Tres de Noviembre, considerando una estructura de pavimento articulado diseñada por el método AASHTO**

PRESUPUESTO						
Item	Cod.	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
		OBRAS PRELIMINARES				
1	0001	Replanteo y nivelación en vías	m	228	1,69	386,23
2	0002	Excavación a máquina con retroexcavadora (en terreno sin clasificar)	m ³	48,6	1,63	79,32
3	0003	Cargado de material con cargadora	m ³	63,2	1,24	78,37
4	0004	Transporte de materiales hasta 6 km, incluye pago en escombrera	m ³	63,2	1,83	115,35
5	0005	Sobreacarreo de materiales para desalojo, distancia > 6 km	m ³ -km	63,2	0,24	14,97
		ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO				
6	0006	Subrasante conformación y compactación con equipo pesado	m ²	1 596	1,19	1 899,82
7	0007	Sub - base conformación y compactación con equipo pesado	m ³	638,4	22,84	14 582,99
8	0008	Base cemento mezclada con concretera, compactación con plancha vibratoria	m ³	430,92	64,58	27 826,98
9	0009	Adoquín e=8 cm, suministro y colocación	m ²	1 596	23,46	37 443,7
					TOTAL	\$82 427,8

El análisis de precios unitarios de cada uno de los rubros del presupuesto se encuentra detallado en los anexos del presente trabajo.

- **Análisis de precios unitarios y presupuesto para la calle Paseo Tres de Noviembre, considerando una estructura de pavimento articulado diseñada por el método del TRRL**

PRESUPUESTO						
Item	Cod.	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
		OBRAS PRELIMINARES				
1	0001	Replanteo y nivelación en vías	m	228	1,69	386,23
2	0002	Excavación a máquina con retroexcavadora (en terreno sin clasificar)	m ³	48,6	1,63	79,32
3	0003	Cargado de material con cargadora	m ³	63,2	1,24	78,37
4	0004	Transporte de materiales hasta 6 km, incluye pago en escombrera	m ³	63,2	1,83	115,35
5	0005	Sobreacarreo de materiales para desalojo, distancia > 6 km	m ³ -km	63,2	0,24	14,97
		ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO				
6	0006	Subrasante conformación y compactación con equipo pesado	m ²	1 596	1,19	1 899,82
7	0007	Mejoramiento de la subrasante	m ³	638,4	19,04	12 157,33
8	0008	Sub - base conformación y compactación con equipo pesado	m ³	239,4	22,84	5 468,62
9	0009	Base cemento mezclada con concretera, compactación con plancha vibratoria	m ³	207,48	64,58	13 398,17
10	0010	Adoquín e=8 cm, suministro y colocación	m ²	1 596	23,46	37 443,7
					TOTAL	\$71 041,9

El análisis de precios unitarios de cada uno de los rubros del presupuesto se encuentra detallado en los anexos del presente trabajo.

- **Análisis de precios unitarios y presupuesto para la calle Colombia, considerando una estructura de pavimento flexible diseñada por el método AASHTO**

PRESUPUESTO						
Item	Cod.	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
		OBRAS PRELIMINARES				
1	0001	Replanteo y nivelación en vías	m	361,4	1,69	612,21
2	0002	Excavación a máquina con retroexcavadora (en terreno sin clasificar)	m ³	96,8	1,63	158,00
3	0003	Cargado de material con cargadora	m ³	125,9	1,24	156,12
4	0004	Transporte de materiales hasta 6 km, incluye pago en escombrera	m ³	125,9	1,83	229,80
5	0005	Sobreacarreo de materiales para desalojo, distancia > 6 km	m ³ -km	125,9	0,24	29,81
		ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE				
6	0006	Subrasante conformación y compactación con equipo pesado	m ²	2 438,2	1,19	2 902,34
7	0007	Sub - base conformación y compactación con equipo pesado	m ³	365,73	22,84	8 354,38
8	0008	Base conformación y compactación con equipo pesado	m ³	243,82	25,32	6 173,77
9	0009	Imprimación asfáltica con barrido mecánico	m ²	2 438,2	0,98	2 379,70
10	0010	Carpeta asfáltica (e=3 in) Ho Asf. mezclado en planta	m ²	2 438,2	10,98	26 760,53
TOTAL						\$47 756,7

El análisis de precios unitarios de cada uno de los rubros del presupuesto se encuentra detallado en los anexos del presente trabajo.

- **Análisis de precios unitarios y presupuesto para la calle Colombia, considerando una estructura de pavimento flexible diseñada por el método del Instituto de Asfalto Norteamericano**

PRESUPUESTO						
Item	Cod.	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
		OBRAS PRELIMINARES				
1	0001	Replanteo y nivelación en vías	m	361,4	1,69	612,21
2	0002	Excavación a máquina con retroexcavadora (en terreno sin clasificar)	m ³	96,8	1,63	158,00
3	0003	Cargado de material con cargadora	m ³	125,9	1,24	156,12
4	0004	Transporte de materiales hasta 6 km, incluye pago en escombrera	m ³	125,9	1,83	229,80
5	0005	Sobreacarreo de materiales para desalojo, distancia > 6 km	m ³ -km	125,9	0,24	29,81
		ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE				
6	0006	Subrasante conformación y compactación con equipo pesado	m ²	2 438,2	1,19	2 902,34
7	0007	Sub - base conformación y compactación con equipo pesado	m ³	365,73	22,84	8 354,38
8	0008	Base conformación y compactación con equipo pesado	m ³	365,73	25,32	9 260,66
9	0009	Imprimación asfáltica con barrido mecánico	m ²	2 438,2	0,98	2 379,70
10	0010	Carpeta asfáltica (e=4 in) Ho Asf. mezclado en planta	m ²	2 438,2	14,70	35 842,70
TOTAL						\$59 925,7

El análisis de precios unitarios de cada uno de los rubros del presupuesto se encuentra detallado en los anexos del presente trabajo.

- Análisis de precios unitarios y presupuesto para la calle Colombia, considerando una estructura de pavimento rígido diseñada por el método AASHTO

PRESUPUESTO						
Item	Cod.	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
		OBRAS PRELIMINARES				
1	0001	Replanteo y nivelación en vías	m	361,4	1,69	612,21
2	0002	Excavación a máquina con retroexcavadora (en terreno sin clasificar)	m ³	96,8	1,63	158,00
3	0003	Cargado de material con cargadora	m ³	125,84	1,24	156,05
4	0004	Transporte de materiales hasta 6 km, incluye pago en escombrera	m ³	125,84	1,83	229,69
5	0005	Sobreacarreo de materiales para desalojo, distancia > 6 km	m ³ -km	125,84	0,24	29,80
		ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO				
6	0006	Subrasante conformación y compactación con equipo pesado	m ²	2 438,2	1,19	2 902,34
7	0007	Sub - base conformación y compactación con equipo pesado	m ³	365,73	22,84	8 354,38
8	0008	Losa de pavimento hormigón (f'c=300 kg/cm ²)	m ³	341,348	137,32	46 874,4
9	0009	Acero de refuerzo (fy=4200 kg/cm ²)	kg	1 370,5	1,86	2 547,66
10	0010	Encofrado metálico para vías	m	361,4	4,11	1 483,56
11	0011	Curado de superficie con aditivo	m ²	2 438,2	0,58	1 417,32
12	0012	Corte y sellado de juntas con poliuretano	m	814,4	3,72	3 030,06
13	0013	Junta de madera para losa de hormigón	m	14	1,81	25,31
TOTAL						\$67 337,4

El análisis de precios unitarios de cada uno de los rubros del presupuesto se encuentra detallado en los anexos del presente trabajo.

- Análisis de precios unitarios y presupuesto para la calle Colombia, considerando una estructura de pavimento rígido diseñada por el método del PCA

PRESUPUESTO						
Item	Cod.	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
		OBRAS PRELIMINARES				
1	0001	Replanteo y nivelación en vías	m	361,4	1,69	612,21
2	0002	Excavación a máquina con retroexcavadora (en terreno sin clasificar)	m ³	96,8	1,63	158,00
3	0003	Cargado de material con cargadora	m ³	125,84	1,24	156,05
4	0004	Transporte de materiales hasta 6 km, incluye pago en escombrera	m ³	125,84	1,83	229,69
5	0005	Sobrecarreo de materiales para desalojo, distancia > 6 km	m ³ -km	125,84	0,24	29,80
		ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO				
6	0006	Subrasante conformación y compactación con equipo pesado	m ²	2 438,2	1,19	2 902,34
7	0007	Sub - base conformación y compactación con equipo pesado	m ³	365,73	22,84	8 354,38
8	0008	Losa de pavimento hormigón (f'c=300 kg/cm ²)	m ³	365,73	137,32	50 222,5
9	0009	Acero de refuerzo (fy=4200 kg/cm ²)	kg	1 440,3	1,86	2 677,41
10	0010	Encofrado metálico para vías	m	361,4	4,11	1 483,56
11	0011	Curado de superficie con aditivo	m ²	2 438,2	0,58	1 417,32
12	0012	Corte y sellado de juntas con poliuretano	m	814,4	3,72	3 030,06
13	0013	Junta de madera para losa de hormigón	m	14	1,81	25,31
TOTAL						\$71 298,6

El análisis de precios unitarios de cada uno de los rubros del presupuesto se encuentra detallado en los anexos del presente trabajo.

- **Análisis de precios unitarios y presupuesto para la calle Colombia, considerando una estructura de pavimento articulado diseñada por el método AASHTO**

PRESUPUESTO						
Item	Cod.	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
		OBRAS PRELIMINARES				
1	0001	Replanteo y nivelación en vías	m	361,4	1,69	612,21
2	0002	Excavación a máquina con retroexcavadora (en terreno sin clasificar)	m ³	96,8	1,63	158,00
3	0003	Cargado de material con cargadora	m ³	125,84	1,24	156,05
4	0004	Transporte de materiales hasta 6 km, incluye pago en escombrera	m ³	125,84	1,83	229,69
5	0005	Sobreacarreo de materiales para desalojo, distancia > 6 km	m ³ -km	125,84	0,24	29,80
		ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO				
6	0006	Subrasante conformación y compactación con equipo pesado	m ²	2 438,2	1,19	2 902,34
7	0007	Sub - base conformación y compactación con equipo pesado	m ³	329,157	22,84	7 518,94
8	0008	Base cemento mezclada con concretera, compactación con plancha vibratoria	m ³	243,82	64,58	15 744,86
9	0009	Adoquín e=8 cm, suministro y colocación	m ²	2 438,2	23,46	57 202,6
					TOTAL	\$84 554,5

El análisis de precios unitarios de cada uno de los rubros del presupuesto se encuentra detallado en los anexos del presente trabajo.

- **Análisis de precios unitarios y presupuesto para la calle Colombia, considerando una estructura de pavimento articulado diseñada por el método del TRRL**

PRESUPUESTO						
Item	Cod.	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
		OBRAS PRELIMINARES				
1	0001	Replanteo y nivelación en vías	m	361,4	1,69	612,21
2	0002	Excavación a máquina con retroexcavadora (en terreno sin clasificar)	m ³	96,8	1,63	158,00
3	0003	Cargado de material con cargadora	m ³	125,84	1,24	156,05
4	0004	Transporte de materiales hasta 6 km, incluye pago en escombrera	m ³	125,84	1,83	229,69
5	0005	Sobreacarreo de materiales para desalojo, distancia > 6 km	m ³ -km	125,84	0,24	29,80
		ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO				
6	0006	Subrasante conformación y compactación con equipo pesado	m ²	2 438,2	1,19	2 902,34
7	0007	Sub - base conformación y compactación con equipo pesado	m ³	365,73	22,84	8 354,38
8	0008	Base cemento mezclada con concretera, compactación con plancha vibratoria	m ³	243,82	64,58	15 744,86
9	0009	Adoquín e=8 cm, suministro y colocación	m ²	2 438,2	23,46	57 202,6
					TOTAL	\$85 389,9

El análisis de precios unitarios de cada uno de los rubros del presupuesto se encuentra detallado en los anexos del presente trabajo.

2.6 Especificaciones técnicas

- **Replanteo y nivelación en vías**

Este rubro incluye el replanteo y nivelación del terreno original en un número de veces necesarias hasta que se cumpla con los niveles del proyecto y demás condiciones geométricas de la obra.

Se efectuará el replanteo utilizando aparatos topográficos (estación total, nivel, teodolito con alto grado de precisión), ubicando en el terreno puntos que no serán removidos durante el período de construcción. Todos los puntos a ser replanteados deberán ser comprobados por la Fiscalización.

Este trabajo deberá realizarse con una precisión suficiente de manera que permita la perfecta ubicación de las obras existentes y de la estructura nueva a ser emplazada.

Medición y forma de pago:

Se medirá y pagará por metro de vía, con aproximación de dos decimales, posterior al corte de preparación de la rasante en los tramos establecidos en el proyecto.

- **Excavación a máquina en terreno sin clasificar**

Este trabajo consistirá en el movimiento de tierras hasta llegar a la cota de subrasante natural especificada en los planos del proyecto, en el caso de que ésta o parte de la misma, no sea apropiada para la cimentación de la estructura vial, se deberá proceder a retirar todo el material inadecuado, hasta la profundidad que establezca la fiscalización.

Durante el proceso de excavación, el contratista deberá controlar que cualquier tipo de escorrentía, sea ésta proveniente de aguas servidas, potables, de aguas lluvias o de cualquier otra fuente no afecte la normal ejecución de las obras; para lo cual el contratista acondicionará cuando sean requeridas cunetas, ya sea dentro de las excavaciones o fuera de ellas para evacuar e impedir el ingreso de agua procedente de la escorrentía superficial.

Cualquier daño resultante de las operaciones del contratista durante la excavación, incluyendo daños a la fundación, a las superficies excavadas, a cualquier estructura existente y/o a las propiedades adyacentes, será reparado por el contratista a su costo y a entera satisfacción de la fiscalización.

Medición y forma de pago:

Las mediciones para la determinación de volúmenes, serán de acuerdo a los perfiles que representan las vías al momento de iniciar los trabajos de excavación (no se considerará el esponjamiento), y hasta la profundidad autorizada por fiscalización.

Las cantidades se pagarán por m³ al precio que consta en el contrato para el rubro de excavación a máquina. El precio y pago incluyen la compensación total por la excavación del material, así como por toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, necesarios para la ejecución de los trabajos descritos en esta sección.

- **Desalojo de material (hasta 6 km) con cargadora**

Este rubro consiste en el cargado y transporte de los materiales producto de las excavaciones y limpieza, hasta el lugar que indique la fiscalización. El recorrido máximo es de 6 km pasado los cuales se pagará sobreacarreo con el valor determinado en el desglose de precios unitarios.

Medición y forma de pago:

Las mediciones para la determinación de volúmenes de cargado se harán a partir de los perfiles que presentan las vías en el momento antes de iniciar los trabajos de excavación, hasta los niveles establecidos en los diseños adicionando a éstos un porcentaje de esponjamiento que lo establecerá el fiscalizador de acuerdo al tipo de suelo cargado.

Las cantidades se pagarán por m³ al precio que consta en el contrato para el rubro de desalojo de material. Este precio y pago incluyen la compensación total por la cargada del material y su transporte, así como por toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, necesarios para la ejecución de estos trabajos.

Está incluido en este rubro el costo por depositar el material de desalojo en las escombreras autorizadas por la EMAC (valor que cobra esta Empresa Municipal por el tendido del material que no realiza el contratista), en donde se recibirá un comprobante que servirá para cuantificar el volumen de material desalojado.

- **Subrasante conformación y compactación**

Después de que las plataformas para las vías (nivel de subrasante natural) hayan sido terminadas, serán acondicionadas en su ancho total retirando cualquier material blando o inestable que no pueda ser compactado adecuadamente y reemplazándolo con suelo seleccionado, previamente aprobado por fiscalización.

La compactación se efectuará hasta obtener un peso volumétrico seco igual o mayor al 95% de la densidad máxima obtenida según el ensayo AASHTO T-180 método D, en una profundidad de 0,15 m, a excepción en los suelos arcillosos en los cuales se puede perder estabilidad al ser escarificados en consideración al grado de preconsolidación que presentan los mismos, u en otros tipos de depósitos o formaciones a criterio de la fiscalización, estos deberán ser conformados y densificados, sin requerimientos en lo referente al grado de compactación

Los ensayos de densidad de campo, se harán cada 20 m a ambos lados del eje de la vía o en los sitios señalados por la fiscalización. Los puntos para los ensayos serán también seleccionados al azar, disminuyendo esta distancia en zonas en las cuales existan dudas acerca del grado de compactación requerida, si existieren varias franjas o carriles, estos ensayos se efectuarán en cada una de ellas

En caso de no encontrarse debidamente compactada las zanjas de la infraestructura sanitaria, será de responsabilidad del contratista retirar el material hasta el nivel que lo señala la fiscalización y proceder a compactar en capas máximas de espesor suelto de 0,15 m, hasta obtener pesos volumétricos secos iguales o mayores al 95% AASHTO T-180 método D.

Después de haberse realizado la pavimentación, será de responsabilidad absoluta del contratista cualquier daño en la estructura del pavimento que podría suponerse a defectos de compactación de la infraestructura.

Medición y forma de pago:

La cantidad a pagarse por el terminado de la obra básica, será el número de metros cuadrados efectivamente ejecutados, y aprobados por el fiscalizador, como apta para colocar sobre ésta la estructura del pavimento, de acuerdo a los precios unitarios establecidos.

Estos precios y pagos incluyen la compensación total por los trabajos antes descritos, así como por toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, necesarios para la ejecución de los trabajos.

- **Mejoramiento conformación y compactación. (se utiliza solo en el pavimento articulado)**

Este rubro consistirá en la preparación, suministro del material y la colocación de la capa de mejoramiento sobre la subrasante natural, preparada y previamente aprobada por la fiscalización; el espesor será de acuerdo al diseño.

El contratista deberá dedicar a estos trabajos el equipo adecuado y necesario para la debida y oportuna ejecución de los mismos, aprobado por la fiscalización antes de ser utilizado en obra.

Requerimientos especificados de material de mejoramiento:

Tamiz	% que pasa
3 in	100
N° 4	40 - 90
N° 200	0 - 20

La porción que pasa el tamiz N° 40, deberá tener un límite líquido menor a 32% y un índice de plasticidad menor a 12%, de acuerdo a lo determinado según AASHTO T-89 y T-90. El Valor Relativo de Soporte (VRS) será mayor de 20%. Los agregados gruesos deberán tener un porcentaje de desgaste, no mayor del 50% a 500 revoluciones, determinado según ensayo ASTM 131.

El material deberá ser tendido y conformado sin producir segregación en el mismo y compactado hasta que se obtengan los pesos volumétricos secos requeridos, con una superficie uniforme de conformidad a lo especificado.

Los siguientes ensayos se realizarán para control de calidad de construcción de la capa de mejoramiento.

-Densidad máxima y humedad óptima: ensayo AASHTO T-180, densidad de campo, ensayo AASHTO T-147. Las densidades de la capa compactada deberá ser como mínimo el 98%, de la densidad máxima obtenida. En todos los sitios no accesibles al rodillo, el material de mejoramiento, deberá compactarse mediante el empleo de apisonadoras mecánicas manuales. Los ensayos de densidad de campo, se harán cada 20 m a ambos lados del eje de la vía o en los sitios señalados por la fiscalización. Los puntos para los ensayos serán también seleccionados al azar.

Cuando el contratista crea que se ha logrado la densidad y la superficie terminada, ya anteriormente indicadas, notificará a la fiscalización la cual efectuará los ensayos de densidades requeridos y comprobación de los perfiles longitudinales y transversales de acuerdo a lo especificado. Si se obtienen valores inferiores a la densidad mínima establecida o la superficie no cumple con lo especificado, el contratista deberá seguir con la compactación y operaciones conexas, hasta obtener la densidad y superficie señalada.

Medición y forma de pago:

La cantidad a pagarse por la construcción de la capa de mejoramiento será el número de metros cúbicos medidos en el lugar de la obra, después de la compactación y de acuerdo a los precios establecidos para éste rubro.

- **Sub-base clase 1, conformación y compactación**

Este rubro consistirá en la preparación, suministro del material y la colocación de la capa de sub-base, sobre la subrasante natural o mejoramiento conformada y compactada, previa a la autorización del fiscalizador.

El material a utilizarse para la capa de sub-base será del tipo granular clase 1, con una plasticidad menor o igual a 9, un límite líquido menor o igual a 30 y la siguiente granulometría:

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		
	Clase 1	Clase 2	Clase 3
3 in (76,2 mm)			100
2 in (50,4 mm)		100	
1 1/2 in (38,1 mm)	100	70 - 100	
N° 4 (4,75 mm)	30 - 70	30 - 70	30 - 70
N° 40 (0,425 mm)	10 - 35	15 - 40	
N° 200 (0,075 mm)	0 - 15	0 - 20	0 - 20

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013). Norma Ecuatoriana Vial NEVI - 12 – MTOP. Quito - Ecuador, p. 341

El agregado será el producto de la trituración de fragmentos de roca y de cantos rodados. El material, estará constituido de fragmentos limpios, resistentes y durables, libres de exceso de partículas alargadas, estabilizados con agregados finos provenientes de la trituración o de un suelo fino seleccionado en caso de que se requiera para cumplir con las especificaciones de granulometría y plasticidad; deberá estar exenta de material vegetal, grumos de arcilla u otro material inconveniente.

Inmediatamente después de terminada la distribución y conformación del material, se procederá a compactarlo en todo su ancho por medio del rodillo liso, vibratorio, hasta que se obtenga la densidad requerida y una superficie uniforme de conformidad con la alineación, gradiente y sección transversal que consta en los planos. En todos los sitios no accesibles a los rodillos, el material de sub-base deberá ser compactado íntegramente mediante el empleo de apisonadores mecánicos apropiados. La sub-base granular deberá ser construida en capas que tengan 20 centímetros de espesor como máximo, una vez compactadas.

El promedio del espesor de la sub-base terminada deberá ser igual o mayor que el espesor indicado en el diseño del pavimento, y en ningún punto la cota deberá variar en más de 0,01 m de lo indicado en los planos. Luego de la compactación final de la sub-base, la fiscalización comprobará el espesor y densidad de la misma a intervalos de aproximadamente 20 m lineales a cada lado de las vías o en los puntos que la fiscalización lo determine; los puntos para los ensayos serán también

seleccionados al azar. La densidad de la capa compactada deberá ser como mínimo el 100% de la máxima densidad obtenida según el ensayo AASHO T-180.

Medición y forma de pago:

Las mediciones para la determinación de volúmenes de sub-base clase 1 se las efectuará en obra en base a los datos del proyecto, y será medido en metros cúbicos, sin considerar el esponjamiento.

El precio y pago incluye la compensación total por la extracción, suministro, manipuleo, transporte del material, de ser el caso; y toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, necesarios para ejecutar los trabajos descritos en esta sección.

- **Base granular clase 1 - tipo A, conformación y compactación con equipo pesado**

Este rubro consistirá en la preparación, suministro del material y la colocación de la capa de base granular sobre la sub-base o subrasante natural previamente estabilizada.

El material corresponderá a una base clase "1" tipo "A", ciento por ciento triturados y deberá cumplir necesariamente con la faja granulométrica correspondiente a este tipo; su índice de plasticidad será menor a 6; límite líquido menor a 25, desgaste a la abrasión menor al 40% y un CBR mayor al 80%.

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	Tipo A	Tipo B
2 in (50,8 mm)	100	
1 1/2 in (38,1 mm)	70 - 100	100
1 in (25,4 mm)	55 - 85	70 - 100
3/4 in (19 mm)	50 - 80	60 - 90
3/8 in (9,5 mm)	35 - 60	45 - 75
Nº 4 (4,76 mm)	25 - 50	30 - 60
Nº 10 (2 mm)	20 - 40	20 - 50
Nº 40 (0,425 mm)	10 - 25	10 - 25
Nº 200 (0,075 mm)	2 - 12	2 - 12

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013). Norma Ecuatoriana Vial NEVI - 12 – MTOP. Quito - Ecuador, p. 373

El agregado será el producto de la trituración de fragmentos de roca y de cantos rodados en un porcentaje no menor al 60% en peso, estará constituido de fragmentos limpios, resistentes y durables, libres de exceso de partículas alargadas, estabilizados con agregados finos provenientes de la trituración o de un suelo fino seleccionado en caso de que se requiera para cumplir con las especificaciones de granulometría y plasticidad; estará exenta de material vegetal, grumos de arcilla u otro material inconveniente.

Inmediatamente después de terminada la distribución y conformación del material, se procederá a compactarlo en todo su ancho por medio del rodillo liso, vibratorio, hasta que se obtenga la densidad requerida con una superficie uniforme, de conformidad con la alineación, gradiente y sección transversal que consta en los planos. En todos los sitios no accesibles a los rodillos, el material de base deberá ser compactado íntegramente mediante el empleo de apisonadores mecánicos apropiados. La base granular deberá ser construida en capas que tengan 20 cm de espesor como máximo, una vez compactadas.

Luego de la compactación final de la base, la fiscalización comprobará el espesor y densidad de la misma a intervalos de aproximadamente 20 m lineales a cada lado de las vías o en los puntos que la fiscalización lo determine; los puntos para los ensayos serán también seleccionados al azar. La densidad de la capa compactada deberá ser como mínimo el 100% de la máxima densidad obtenida según el ensayo AASTHO T-180.

Medición y Forma de Pago:

Las mediciones para la determinación de volúmenes de base clase 1 tipo A, se las efectuará en obra en base a los datos del proyecto, y será medido en metros cúbicos, sin considerar el esponjamiento.

El precio y pago incluye la compensación total por la extracción, suministro, manipuleo, transporte del material, de ser el caso; y toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, necesarios para ejecutar los trabajos descritos en esta sección.

PAVIMENTO FLEXIBLE:

- **Imprimación asfáltica con barrido mecánico**

Este trabajo consistirá en el suministro y distribución de material asfáltico diluido sobre una superficie de base o sub-base previamente preparada, completamente libre de polvo y de materiales extraños, para lo que se utilizará una barredora mecánica.

En este rubro se considera incluido la limpieza y el humedecimiento en su superficie, si fuera necesario, así como el regado de arena, en los lugares que exista exceso de asfalto para efectuar el secado. El material asfáltico puede estar constituido de un 70% de R.C.2 y un 30% de Kérex; o de cualquier otro tipo de grado de cutback que cumpla con las condiciones requeridas para este objeto, previamente aprobado por la fiscalización.

El distribuidor a presión para el riego asfáltico, estará dotado de una rueda que registre la velocidad de recorrido y un tacómetro en metros por minuto, se deberá mantener constante la velocidad requerida para la aplicación. El riego se efectuará mediante el rociado constante sin atomización y en la cantidad requerida (1 – 2,25 lt/m²), dentro de los límites de temperatura previstos para el efecto.

Al momento de distribuir el asfalto de imprimación, la superficie a regarse deberá cumplir con los requisitos pertinentes de densidad y acabado, libre de cualquier material suelto o de otro modo objetable.

Para evitar superposiciones en el empalme de dos distribuciones se cerrará de inmediato el distribuidor al terminar el riego de un tramo determinado y al mismo tiempo se colocará papel grueso debajo de las toberas para asegurar un riego uniforme.

Medición y forma de pago:

La capa de imprimación se pagará por metro cuadrado, en el área que corresponde a la base o a la superficie indicada por la fiscalización. En este precio se incluirá la arena de secado, cuando se requiera.

- **Carpeta asfáltica (e = 3 in) hormigón asfáltico mezclado en planta**

Este trabajo consistirá en la construcción de capas de rodadura de hormigón asfáltico constituido por agregados en la granulometría especificada, relleno mineral, si es necesario, y material asfáltico, mezclados en caliente en una planta central; se colocará sobre una base debidamente preparada o un pavimento existente, de acuerdo con lo establecido en los documentos contractuales.

El tipo y grado del material asfáltico que deberá emplearse en la mezcla estará determinado en el contrato y será mayormente cemento asfáltico con un grado de penetración 60 - 70. En caso de vías que serán sometidas a un tráfico liviano o medio se permitirá el empleo de cemento asfáltico 85 – 100; para vías o carriles especiales donde se espere el paso de un tráfico muy pesado, se admitirá el empleo de cementos asfálticos mejorados. A continuación se detalla ciertas normas que se deben cumplir en función del tipo de tráfico.

Tipo de tráfico	muy pesado		pesado		medio		liviano	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
No. de golpes/cara	75		75		50		50	
Estabilidad (libras)	2200		1800		1200		1000	2400
Flujo (pulgada/100)	8	14	8	14	8	16	8	16
% de vacíos en mezcla								
capa de rodadura	3	5	3	5	3	5	3	5
capa intermedia	3	8	3	8	3	8	3	8
capa de base	3	9	3	9	3	9	3	9
relación filler/betún	0,8	1,2	0,8	1,2				
capa de rodadura	70		70					
Intermedia o base	60		60					

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013). Norma Ecuatoriana Vial NEVI - 12 – MTOP. Quito – Ecuador.

Los agregados que se emplearán en el hormigón asfáltico en planta podrán estar constituidos por roca o grava triturada total o parcialmente, materiales fragmentados naturalmente, arenas y relleno mineral; los agregados estarán compuestos en todos los casos por fragmentos limpios, sólidos y resistentes, de uniformidad razonable,

exentos de polvo, arcilla u otras materias extrañas; para la mezcla asfáltica deberán emplearse una de las granulometrías indicadas en la siguiente tabla:

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	¾ in	½ in	3/8 in	Nº 4
1 in (25,4 mm)	100			
¾ in (19 mm)	90-100	100		
½ in (12,7 mm)		90-100	100	
3/8 in (9,50 mm)	56-80		90-100	100
Nº 4 (4,75 mm)	35-65	44-74	55-85	80-100
Nº 8 (2,36 mm)	23-49	28-58	32-67	65-100
Nº 16 (1,18 mm)				40-80
Nº 30 (0,60 mm)				25-65
Nº 50 (0,30 mm)	5-19	5-21	7-23	7-40
Nº 100 (0,15 mm)				3-20
Nº 200 (0,075 mm)	2-8	2-10	2-10	2-10

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013). Norma Ecuatoriana Vial NEVI - 12 – MTOP. Quito - Ecuador

Se realizará una serie de 3 extracciones de núcleos como mínimo cada 10 000 m² o por cada 1 000 toneladas de mezcla para la carpeta de rodadura con vista a comprobar la densidad en el sitio. Se harán por lo menos 15 determinaciones de densidades por medio de un densímetro nuclear cada 10 000 m² o por cada 1 000 toneladas de carpeta de rodadura. Los puntos específicos donde se realizarán estas evaluaciones deberán determinarse previamente por métodos estadísticos empleando una tabla de números aleatorios.

Dosificación y Mezclado.- Los agregados para la preparación de las mezclas de hormigón asfáltico deberán almacenarse separadamente en tolvas individuales, antes de entrar a la planta; la separación de las diferentes fracciones de los agregados será sometida por el contratista a la aprobación del fiscalizador. Los agregados se secarán en el horno por el tiempo y a la temperatura necesaria para reducir la humedad a un máximo de 1%; al momento de efectuar la mezcla, deberá comprobarse que los núcleos de los agregados cumplan este requisito

a) Dosificación: El contratista deberá disponer del número de tolvas que considere necesarias para obtener una granulometría que cumpla con todos los

requerimientos según el tipo de mezcla asfáltica especificada para el respectivo proyecto.

b) Mezclado: La mezcla de los agregados y el asfalto será efectuada en una planta central de mezcla continua o por paradas, según el caso, serán dosificados por volumen o al peso.

La temperatura del cemento asfáltico, al momento de la mezcla, estará entre los 135 °C y 160 °C, y la temperatura de los agregados, al momento de recibir el asfalto, deberá estar entre 120 °C y 160 °C; en ningún caso se introducirá en la mezcladora el árido a una temperatura mayor en más de 10 °C que la temperatura del asfalto. El tiempo de mezclado de una carga se medirá desde que el cajón de pesaje comience a descargar los agregados en la mezcladora, hasta que se descargue la mezcla.

Distribución:

La distribución del hormigón asfáltico deberá efectuarse sobre una base preparada, de acuerdo con los requerimientos contractuales, imprimada, limpia y seca, o sobre un pavimento existente; esta distribución no se iniciará si no se dispone en la obra de todos los medios suficientes de transporte, distribución, compactación, etc., para lograr un trabajo eficiente y sin demoras que afecten a la obra.

Una vez transportada la mezcla asfáltica al sitio, será vertida por los camiones en la máquina terminadora, la cual esparcirá el hormigón asfáltico sobre la superficie seca y preparada. Para evitar el desperdicio de la mezcla debido a lluvias repentinas, el contratista deberá disponer de un equipo de comunicación confiable, entre la planta de preparación de la mezcla y el sitio de distribución en la vía.

La colocación de la carpeta deberá realizarse siempre bajo una buena iluminación natural o artificial. La distribución que se efectúe con las terminadoras deberá guardar los requisitos de continuidad, uniformidad, ancho, espesor, textura, pendientes, especificados en el contrato.

El fiscalizador determinará el espesor para la distribución de la mezcla, a fin de lograr el espesor compactado especificado. Las juntas longitudinales de la capa superior de una carpeta deberán ubicarse en la unión de dos carriles de tránsito; en

las capas inferiores se colocarán a unos 15 cm de la unión de los carriles en forma alternada, a fin de formar un traslapo.

Compactación:

La mejor temperatura para empezar a compactar la mezcla recién extendida, dentro del margen posible va de 163 a 85 °C. Con la compactación inicial deberá alcanzarse casi la totalidad de la densidad en obra y la misma se realizará con rodillos lisos de ruedas de acero vibratorios, continuándose con compactadores de neumáticos con presión elevada. Con la compactación intermedia se sigue densificando la mezcla antes que la misma se enfríe por debajo de 85 °C y se va sellando la superficie. Con la compactación final se deberá mejorar estéticamente la superficie, eliminando las posibles marcas dejadas en la compactación intermedia, se realizará cuando la mezcla esté aún caliente empleando rodillos lisos metálicos estáticos o vibratorios.

A menos que se indique lo contrario, la compactación tiene que comenzar en los costados y proceder longitudinalmente paralelo a la línea central del camino, recubriendo cada recorrido la mitad del ancho de la compactadora, progresando gradualmente hacia el coronamiento del camino. Cuando la compactación se realice en forma escalonada o cuando límite con una vía colocada anteriormente, la junta longitudinal tiene que ser primeramente compactada, siguiendo con el procedimiento normal. En curvas peraltadas se tiene que comenzar en el lado inferior y progresar hacia el lado superior, superponiendo recorridos longitudinales paralelos a la línea central.

En los lugares inaccesibles a los rodillos se deberá efectuar la compactación de la mezcla con pisones mecánicos, hasta obtener la densidad y acabado especificados.

Medición y forma de pago:

Las cantidades a pagarse de hormigón asfáltico mezclado en planta, serán los metros cuadrados de material efectivamente usado para la construcción de la carpeta de acuerdo con los planos, especificaciones y más estipulaciones contractuales.

El precio y pago incluye la compensación total por el suministro de los agregados y el asfalto, la preparación en planta en caliente del hormigón asfáltico, el transporte, la distribución, terminado, compactación de la mezcla, la limpieza de la superficie que recibirá el hormigón asfáltico; así como por la mano de obra, equipo, herramientas y materiales.

PAVIMENTO RÍGIDO:

- **Encofrado metálico para losa**

Consiste en la dotación y colocación de encofrados metálicos para el vertido del hormigón; antes que se coloquen los moldes metálicos, la calzada deberá ser debidamente compactada y conformada de acuerdo a los perfiles longitudinales y transversales establecidos en los planos respectivos, todos los pozos de revisión y otras obras de arte tendrán que haber sido alineados convenientemente a la pendiente adecuada.

Será responsabilidad del contratista, el chequeo de los pozos y de otras obras de infraestructura, así como de las pendientes longitudinales y transversales que quedarán a la entera satisfacción del fiscalizador.

Acondicionamiento de la calzada

La calzada deberá ser examinada para su corrección conveniente y se aceptarán variaciones de 1,5 cm en exceso o en defecto. Todas las depresiones que sean mayores a un centímetro y medio deberán llenarse convenientemente utilizando material aprobado que se compacte en dichos lugares o concreto integral con la losa de pavimento.

Colocación de los moldes:

Los moldes se colocarán a una distancia de por lo menos 30 m por delante del punto donde se esté vertiendo el hormigón de tal manera que puedan ser comprobados sus niveles. Los moldes se fijarán en el lugar por medio de los elementos metálicos, 3 como mínimo para una longitud de cofre de 3 m de largo, debiendo colocarse uno de estos elementos cerca de cada extremo de los cofres.

Los moldes no podrán desviarse en ningún punto, más de 1 cm de su alineamiento correspondiente; serán limpiados y lubricados antes de colocar el hormigón. Los moldes no podrán ser retirados hasta que el hormigón colocado haya fraguado durante por lo menos 12 horas. Al retirar los moldes, se deberá proceder con cuidado para evitar daños al pavimento.

Medición y forma de pago:

La cantidad a pagarse para la colocación de encofrado metálico será por m medido en el lugar de la obra.

- **Hormigón losa de pavimento ($f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$)**

Este rubro consiste en la elaboración y vertido de hormigón hidráulico, elaborado en planta central o en concreteira; el espesor, barras de fijación y los hierros de transmisión de carga colocados respectivamente en cada una de las juntas, serán de acuerdo al diseño especificado.

Materiales para el hormigón:

Los agregados finos y gruesos serán provenientes de canteras o minas que tengan buena calidad y deberán cumplir con las siguientes especificaciones:

Agregados finos:

Los agregados finos para el hormigón estarán constituidos por arenas naturales o arenas obtenidas por trituración, mezcladas con ciertos porcentajes de arena natural, de tal forma que se garantice una trabajabilidad y consistencia adecuada del hormigón, los porcentajes en la mezcla deberán ser aprobados por la fiscalización. Los materiales finos no podrán tener sustancias perjudiciales que excedan de los siguientes porcentajes:

- Partículas desmenuzables1,00%
- Materiales que pasan por malla N° 200 5,00%
- Partículas ligeras que floten en un líquido cuyo peso específico sea 2 1,00%
- Impurezas orgánicas.- se rechazará el material que al someterle a la prueba ASTM C 40, produzca un color más oscuro que el estándar.

Estos agregados deberán cumplir los siguientes requerimientos de graduación:

Tamiz	% acumulado que pasa
3/8	100
N° 4	95 - 100
N° 8	80 - 100
N° 16	50 - 85
N° 30	25 - 60
N° 50	10 - 30
N° 100	2 - 10

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013). Norma Ecuatoriana Vial NEVI - 12 – MTOP. Quito – Ecuador.

Agregados gruesos:

Los agregados gruesos se compondrán de gravas trituradas o naturales con superficies limpias y no podrán contener sustancias perjudiciales que excedan de los siguientes porcentajes:

- Partículas desmenuzables 0,25%
- Material que pasa el tamiz N° 200 1,00%
- Piezas planas y alargadas, longitud mayor que 5 veces su espesor 10,00%
- Resistencia al sulfato de sodio que no exceda al 2,00%
- Porcentaje de desgaste norma ASTM C 131 40,00%

Especificaciones para graduación:

Tamiz	% acumulado que pasa	
	opción 1	opción 2
2 in	100	100
1 ½ in	95-100	100
1 in		95-100
¾ in	35-70	
½ in		25-60
3/8 in	10-30	
N° 4	0-5	0-10
N° 8		0-5

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013). Norma Ecuatoriana Vial NEVI - 12 – MTOP. Quito – Ecuador.

Agua.- Toda el agua utilizada en el mezclado deberá ser aprobada por el fiscalizador y carecerá de aceites, ácidos, álcalis, sustancias vegetales, azúcar e impurezas.

Cemento:

El cemento a utilizarse para la producción de hormigón, será cemento portland ordinario, tipo I o tipo II el mismo que deberá cumplir con las especificaciones INEN. Las bolsas de cemento que por cualquier circunstancia hayan fraguado parcialmente o que contengan terrones de cemento aglutinado deberán ser rechazadas. Se permitirá el uso de cemento tanto en bolsas como a granel.

Aditivos:

Podrán utilizarse aditivos para modificar las propiedades del hormigón, con la finalidad de que este resulte adecuado para un determinado propósito, los mismos deberán cumplir las normas ASTM C 494.

Dosificación:

La dosificación para la producción del concreto, se la hará a peso en planta, y en volumen o peso para el caso de concretera. La relación agua - cemento, expresada en peso no deberá exceder de 0,50.

-Dosificación en planta:

a) Cemento Portland: el cemento en bolsa no necesita ser pesado, si cumple con el promedio de 50 kg. al ser pesadas 10 fundas. Todo cemento usado a granel deberá pesarse en un dispositivo aprobado.

b) Agua: El agua será medida por volumen mediante calibración o por peso, la precisión de los equipos de medición del agua deberán encontrarse dentro del 1% de las cantidades establecidas.

c) Agregados: los agregados finos y gruesos se acopiarán, medirán, dosificarán o transportarán hasta la mezcladora de una manera aprobada por el fiscalizador.

Colocación del hormigón:

El hormigón deberá colocarse sobre una calzada preparada en la forma especificada, no se deberá colocar hormigón alrededor de los pozos de revisión y

otras obras de infraestructura hasta que estas hayan sido colocadas a la pendiente y alineamiento exigido.

El hormigón deberá consolidarse perfectamente contra y a lo largo de las caras de los moldes, por medio de vibradores en él introducidos. No se permitirá que dichos vibradores entren en contacto con: los hierros de una junta, la base o un molde lateral. En ningún caso un vibrador será accionado por un tiempo superior a los 30 segundos en un mismo lugar, tratando de evitar el surgimiento de la lechada de cemento y la acumulación de una exagerada proporción de finos en la superficie.

La terminación de las superficies se hará transversalmente al eje de la vía, puede ser mecánico o manual, de tal forma que la superficie, de rodadura presente el confort y la seguridad necesaria contra el deslizamiento. En caso de que una porción de hormigón fresco caiga en una losa ya construida tales materiales serán retirados de inmediato.

Prueba de resistencia:

La resistencia del hormigón a la compresión en obra, se probará en probetas cilíndricas de 152 mm de diámetro por 305 mm de altura, confeccionadas en obra y curadas en laboratorio. La resistencia a la compresión será de 300 kg/cm²; la resistencia a la tracción en flexión será de 45 kg/cm² determinada en vigas tipo estándar. Estas dos últimas resistencias deberán cumplirse al haber transcurrido 28 días con relación a la fecha del fraguado del hormigón.

Las muestras para las pruebas de resistencia del concreto colocado, deben tomarse por lo menos dos veces al día, de tal manera que proporcionen como mínimo 6 muestras por cada frente de trabajo. El nivel de resistencia del hormigón será considerado satisfactorio si cumple con los dos requisitos siguientes:

- a) El promedio de toda la serie de tres pruebas de resistencia consecutiva, es igual o superior a la $f'c$ requerida.
- b) Ningún resultado individual de la prueba de resistencia debe ser menor que $f'c$ por más de 15 kg/cm²

Cuando no se cumpla con cualquiera de los dos requisitos anotados, el contratista debe hacer los cambios correctivos necesarios en el diseño. El control de calidad

del hormigón hidráulico se realizará en base a cumplir todas las exigencias técnicas previstas en la norma N° 94 del ASTM.

Terminado de la superficie del pavimento:

Cuando no se pueda obtener del mismo hormigón la cantidad suficiente de mortero para el terminado de las losas, el mortero faltante se lo realizará mediante mezclado mecánico y tendrá una dosificación similar al mortero del hormigón que se esté utilizando, con una cantidad de agua para que este sea trabajable.

Se tendrá un especial cuidado en el terminado de las losas, de tal forma que las superficies no presenten fisuras y que las pendientes sean las especificadas en los planos del proyecto.

Medición y forma de pago:

El pago del hormigón se lo efectuará por metro cúbico, sin incluir los costos que demande el curado, hierro de las juntas y sellado de juntas; de acuerdo a los precios unitarios establecidos para este objeto y en función de los espesores de las losas.

- **Acero de refuerzo ($f'y=4200 \text{ kg/cm}^2$)**

Este trabajo consiste en el suministro y colocación de acero de refuerzo en barras de sujeción y en barras de transmisión de esfuerzo, tiene que ser corrugado y en general debe cumplir con las especificaciones para "Acero de Refuerzo" dadas en el ACI 318-89 sección 3.5. El límite de fluencia $f'y$ que se especifica es de $4\ 200 \text{ kg/cm}^2$.

- **Barras de sujeción**

Las barras de sujeción serán varillas corrugadas que satisfagan los requisitos de las especificaciones para varillas de refuerzo.

- **Barras de transmisión de esfuerzo**

Los pasajuntas deben ser varillas lisas, no deben tener rebabas, asperezas o perder su redondez, de manera que no afecte su deslizamiento dentro del concreto.

Se emplearán varillas lubricadas en una de sus mitades. Las características de los pasadores constan en el diseño.

Todas las barras especificadas para las diferentes juntas serán colocadas en la mitad del espesor de la losa y permanecerán en su sitio mediante una estructura diseñada para tal efecto, la misma que servirá para evitar deformaciones o desplazamientos de las barras antes o durante la colocación del concreto. Para mantener estos pasadores a la altura conveniente se asentarán sobre soportes de hierro de 9 mm de diámetro.

Las especificaciones dadas por los hierros de transmisión de esfuerzos y barras de unión, se aplicarán en los diferentes espesores de losas obtenidas en el diseño.

Medición y Forma de Pago:

El pago por el suministro y colocación de acero de refuerzo se hará por kg medido en obra, de acuerdo al precio unitario establecido para este rubro.

- **Curado de superficie**

Este trabajo consiste en realizar el proceso que exige el hormigón a fin de alcanzar los requisitos mínimos indispensables para cumplir la resistencia de diseño.

El curado tiene una influencia decisiva en la resistencia del hormigón, de allí que este debe realizarse de la mejor manera posible; existen dos opciones: por humedecimiento con agua o por aplicación de membranas impermeables pigmentadas.

- Curado por humedecimiento con agua.- el agua deberá ser de buena calidad. Todas las superficies de hormigón serán mantenidas húmedas por lo menos por 7 días luego de su fundición, o de lo contrario cuando se demuestre que el hormigón ha alcanzado el 70% de la resistencia de cálculo. Los encofrados que estuvieren en contacto con hormigón fresco, también deberán ser mantenidos húmedos. El curado debe iniciarse inmediatamente después del fraguado inicial, o tan pronto como se realice el acabado de la superficie.
- Curado por medio de membranas impermeables.- son aquellas que se rocían sobre las superficies de hormigón fresco y que forman una fina

membrana retardando la pérdida de agua durante el primer período de endurecimiento. Estas membranas podrán usarse en el curado inicial del hormigón y también después del desencofrado o después de un curado inicial por humedad.

Medición y Forma de Pago:

El pago del curado de superficie se hará por metro cuadrado de calzada medida en obra de acuerdo al precio unitario establecido para este efecto.

- **Sellado de las juntas**

Este trabajo consiste en el llenado de juntas transversales con material asfáltico; antes de que el pavimento sea abierto al tránsito y lo más pronto posible del periodo de curado, todas las juntas transversales serán llenadas con el material asfáltico aprobado para su uso como sellado.

Las caras de las juntas deberán estar limpias y sus superficies secas cuando se aplique el sellado. El mortero asfáltico, deberá mezclarse suficientemente durante el calentamiento para evitar que se produzca su sobrecalentamiento localizado. El material que se empleará para el sellado de las juntas se lo fabricará mediante una mezcla de arena y asfalto, misma que será aprobada por el fiscalizador.

Medición y Forma de Pago:

El pago de sellado de juntas se hará por metro lineal (m) medido en obra de acuerdo al precio unitario establecido para este efecto.

PAVIMENTO ARTICULADO:

- **Base de suelo – cemento**

Este rubro consiste en la construcción de una capa de base compuesta por una mezcla de suelo, cemento portland y agua, que puede ser fabricado en planta o en obra; esta capa se coloca sobre una sub-base granular previamente construida y aprobada.

Materiales:

Los suelos que se utilicen podrán ser limo-arcillosos puros o mezclados con arenas o gravas, que cumplan los requisitos de calidad y cuya granulometría se encuentre dentro de los límites indicados en la siguiente tabla:

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	Mezcla en sitio	Mezcla en planta
¾ in (19 mm)	100	100
Nº 4 (4,75 mm)		40 - 75
Nº 10 (2 mm)	30 - 70	30 - 50
Nº 40 (0,425 mm)		15 - 35
Nº 200 (0,075 mm)	5 - 25	5 - 15

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013). Norma Ecuatoriana Vial NEVI - 12 – MTOP. Quito – Ecuador.

El cemento que se utilice para la mezcla será Portland tipo I o tipo II. El agua que se utilice, tanto para la hidratación de la mezcla, como para mantener la humedad del curado, deberá cumplir con los requisitos de calidad establecidos en la norma.

Equipo:

El contratista deberá disponer del equipo mínimo necesario, que constará de motoniveladoras con escarificador, mezcladoras móviles o planta mezcladora central, distribuidores mecánicos para la mezcla preparada en planta, tanqueros para agua, volquetas, y rodillos lisos.

Ensayos:

La calidad de la construcción deberá ser controlada por medio de los siguientes ensayos:

- Densidad máxima y humedad óptima: Ensayo AASHTO T-134.
- Densidad de campo: Ensayo AASHTO T-147, AASHTO T-191, AASHTO T-205 o usando equipo nuclear debidamente calibrado.
- Contenido de cemento en la mezcla: Ensayo AASHTO T-144.
- Ensayo de compresión en cilindros, para determinar un mínimo valor de resistencia a la compresión simple de 18 kg/cm².

Las cotas de la superficie terminada no podrán variar en más de 1,5 cm de las cotas establecidas. Luego de la compactación final de la base, el Fiscalizador

comprobará el espesor y la densidad de la misma a intervalos de aproximadamente 100 m, a cada lado del eje del camino.

Mezcla:

La mezcla se la podrá realizar en obra o en planta, la cantidad de cemento, suelo y agua estará determinada por la fórmula que establezca el contratista previamente aprobada por el fiscalizador.

Compactación:

Cuando se haya logrado una mezcla uniforme con el contenido de cemento especificado y la humedad óptima, el material deberá ser conformado y compactado hasta que se obtenga la densidad estipulada y una superficie uniforme con las alineaciones, pendientes y secciones transversales típicas especificadas.

Para obtener un óptimo curado, la distribución y compactación deberá efectuarse en capas de espesor máximo 15 cm. La compactación inicial se realizará con compactadoras tipo pata de cabra, excepto en suelos granulares, seguidas por rodillos lisos.

La compactación deberá continuarse hasta obtener por lo menos el 95% de la máxima densidad obtenida según el ensayo AASHTO T-134, de la mezcla suelo-cemento. Al final de cada jornada, se deberá hacer una junta de construcción vertical en todo el espesor de la capa compactada, perpendicular al eje del camino.

Curado:

Una vez que la base haya sido terminada de acuerdo a lo previsto en los documentos contractuales, será protegida contra el secamiento prematuro utilizando un curado por tierra o un curado con material asfáltico.

Durante el tiempo de curado indicado quedará totalmente prohibida la circulación de vehículos o equipos, a excepción de los tanqueros o distribuidores necesarios para la hidratación o sellado de la superficie.

Medición y forma de pago:

Las cantidades a pagarse por este rubro se encuentran en metros cúbicos (m³), determinadas en función de mediciones realizadas en obra en base a los datos del proyecto.

El precio incluye la compensación total por la mezcla, compactación, curado de la base de suelo - cemento; considerando también la mano de obra, equipo, herramientas y materiales.

- **Suministro y colocación de adoquín de concreto vibropresado**

Este rubro consiste en el suministro y colocación de adoquín de concreto sobre una capa de base suelo–cemento previamente construida y aprobada, el tipo de adoquín a utilizarse cumplirá las siguientes especificaciones:

- Adoquín de concreto vibropresado.
- La resistencia será de 400 kg/cm²
- El espesor será de 8 cm normado por INEC.
- Un metro cuadrado lo conformaran 20 unidades.
- Serán uniformes.

Los adoquines serán escogidos por la fiscalización del banco de acuerdo a un muestreo, los mismos que se someterán a la prueba de resistencia de compresión. Para el pago del último desembolso el constructor presentará los resultados de las pruebas de resistencia de los adoquines, cumpliendo las especificaciones antes mencionadas.

Colocación del adoquín de concreto:

Los adoquines se colocaran en sentido transversal a la vía en los lugares especificados del contrato, los mismos que en conjunto estarán sobre una cama de arena de espesor $e = 3$ cm; sobre esta capa se asentarán los bloques maestros para continuar, en base a ellos, la colocación del resto de adoquines nivelados y alineados utilizando hilos guías que se ubicarán en sentido longitudinal y transversal, posteriormente serán igualados con un compactador mecánico - manual a fin de nivelarlos, una vez realizado este proceso se procede al costureo

con mortero seco, cemento arena en proporciones 1 a 4. La vía tendrá un bombeo desde el eje de la misma de 3 - 4% a la contra huella.

Todos los espacios mayores al 25% del área de un adoquín deberán ser ocupados por fracciones cortadas; las áreas inferiores al 25% podrán ser rellenas con hormigón de 300 kg/cm². Las irregularidades mayores que las tolerancias admitidas deberán ser corregidas levantando los adoquines en la sección afectada, nivelando la capa de asiento o cambiando los mismos, a satisfacción del Fiscalizador, y a costa del Contratista.

Medición y forma de pago:

Las cantidades a pagarse por la construcción de la superficie adoquinada serán los metros cuadrados debidamente ejecutados y aceptados por el Fiscalizador, medidos como la proyección de la superficie en un plano horizontal, dentro de este rubro consta también la colocación de la cama de arena de 3 cm de espesor.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Análisis general de resultados

Al finalizar los diseños de las diferentes estructuras de pavimento con los métodos propuestos en el presente estudio y luego del análisis económico para cada una de las diferentes propuestas se tiene como resumen general los siguientes resultados:

Pavimento flexible:

- Calle Paseo Tres de Noviembre

Método AASHTO.	
Carpeta asfáltica	7,62 cm
Base	30 cm
Sub-base	40 cm

Costo: \$ 48 355,4

Método Instituto del Asfalto	
Carpeta asfáltica	21,25 cm
Base	22,5 cm
Sub-base	22,5 cm

Costo: \$ 68 160,5

- Calle Colombia

Método AASHTO.	
Carpeta asfáltica	7,62 cm
Base	10 cm
Sub-base	15cm

Costo: \$ 47 756,7

Método Instituto del Asfalto	
Carpeta asfáltica	10 cm
Base	15 cm
Sub-base	15 cm

Costo: \$ 59 925,7

Pavimento rígido:

- Calle Paseo Tres de Noviembre

Método AASHTO.	
Losa de hormigón	18 cm
Sub-base	15 cm

Costo: \$ 53 522,7

Método PCA.	
Losa de hormigón	17,5 cm
Sub-base	15 cm

Costo: \$ 52 426,9

- Calle Colombia

Método AASHTO.	
Losa de hormigón	14 cm
Sub-base	15 cm

Costo: \$ 67 820,7

Método PCA.	
Losa de hormigón	15 cm
Sub-base	15 cm

Costo: \$ 71 298,6

Pavimento articulado:

- Calle Paseo Tres de Noviembre

Método AASHTO.	
Adoquín	8 cm
Cama de arena	3 cm
Base suelo cemento	27 cm
Sub-base	40 cm

Costo: \$ 82 427,8

Método TRRL.	
Adoquín	8 cm
Cama de arena	3 cm
Base suelo cemento	13 cm
Sub-base	15 cm
Subrasante mejorada	40 cm

Costo: \$ 71 041,9

- Calle Colombia

Método AASHTO.	
Adoquín	8 cm
Cama de arena	3 cm
Base suelo cemento	10 cm
Sub-base	13,5 cm

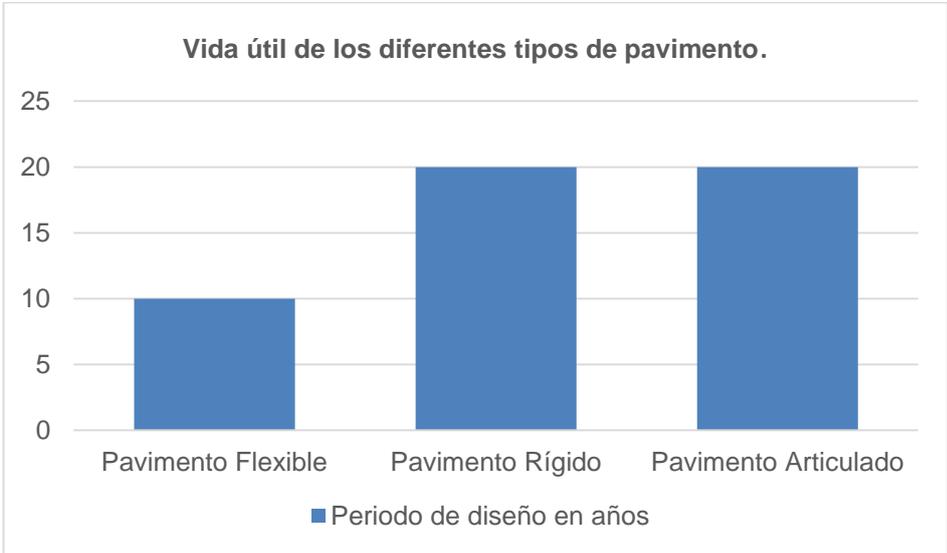
Costo: \$ 84 554,5

Método TRRL.	
Adoquín	8 cm
Cama de arena	3 cm
Base suelo cemento	10 cm
Sub-base	15 cm

Costo: \$ 85 389,9

3.2 Comparación de vida útil de los diferentes tipos de pavimento

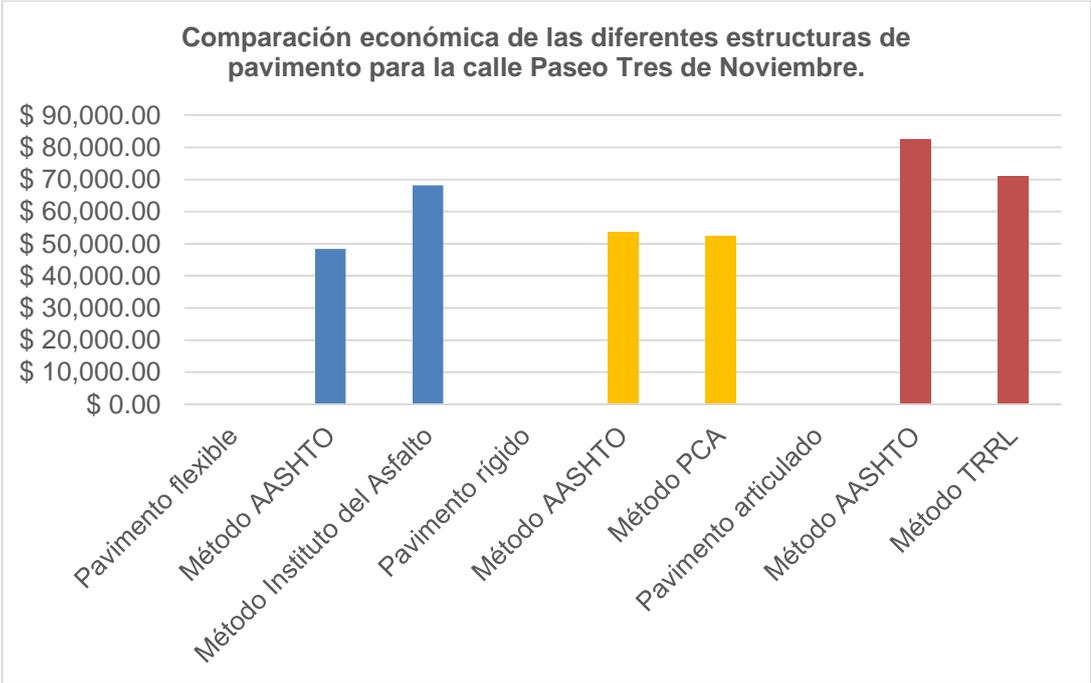
Figura 27: Comparación de vida útil de los diferentes tipos de pavimento



3.3 Comparación económica de los diferentes diseños de la estructura de pavimento para cada una de las calles

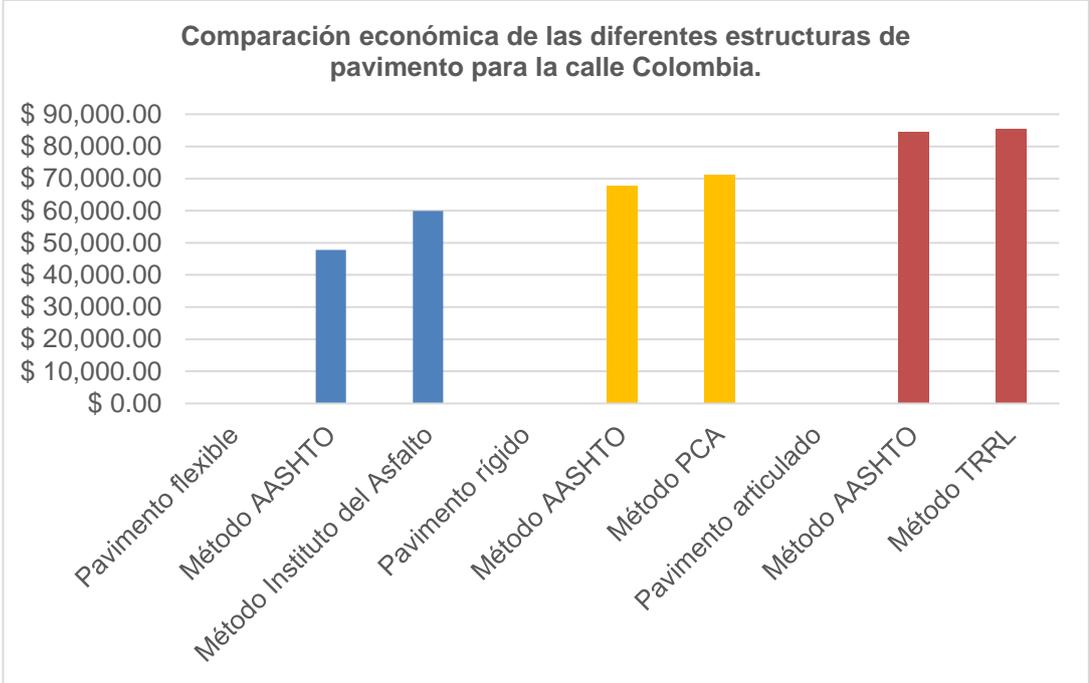
Calle Paseo Tres de Noviembre:

Figura 28 : Comparación económica de las diferentes estructuras de pavimento para la calle Paseo Tres de Noviembre



Calle Colombia:

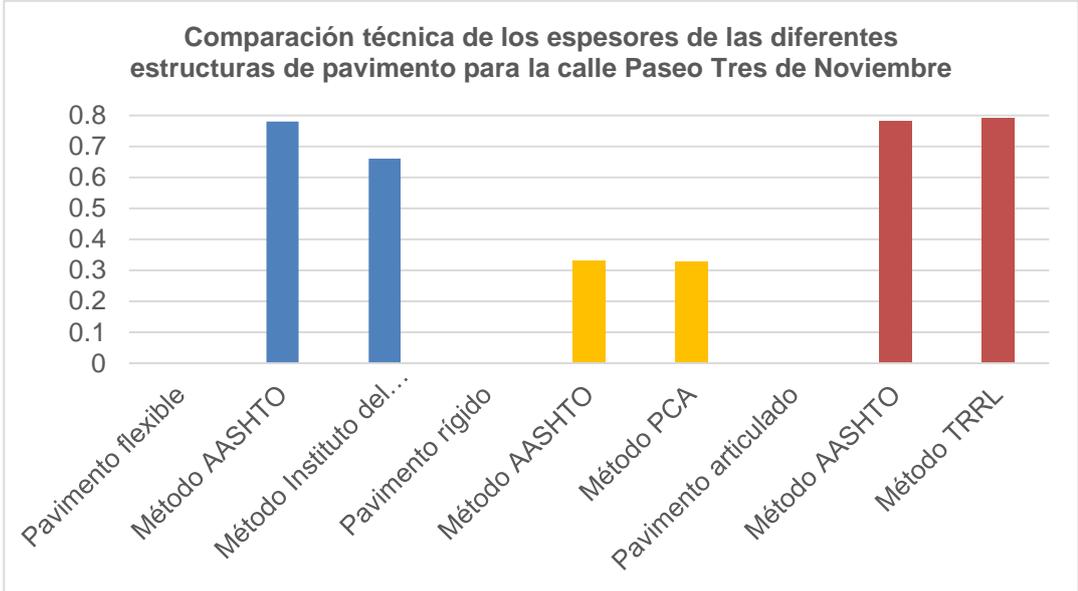
Figura 29 : Comparación económica de las diferentes estructuras de pavimento para la calle Colombia



3.4 Comparación técnica de los diferentes espesores de las estructuras de pavimento para cada una de las calles

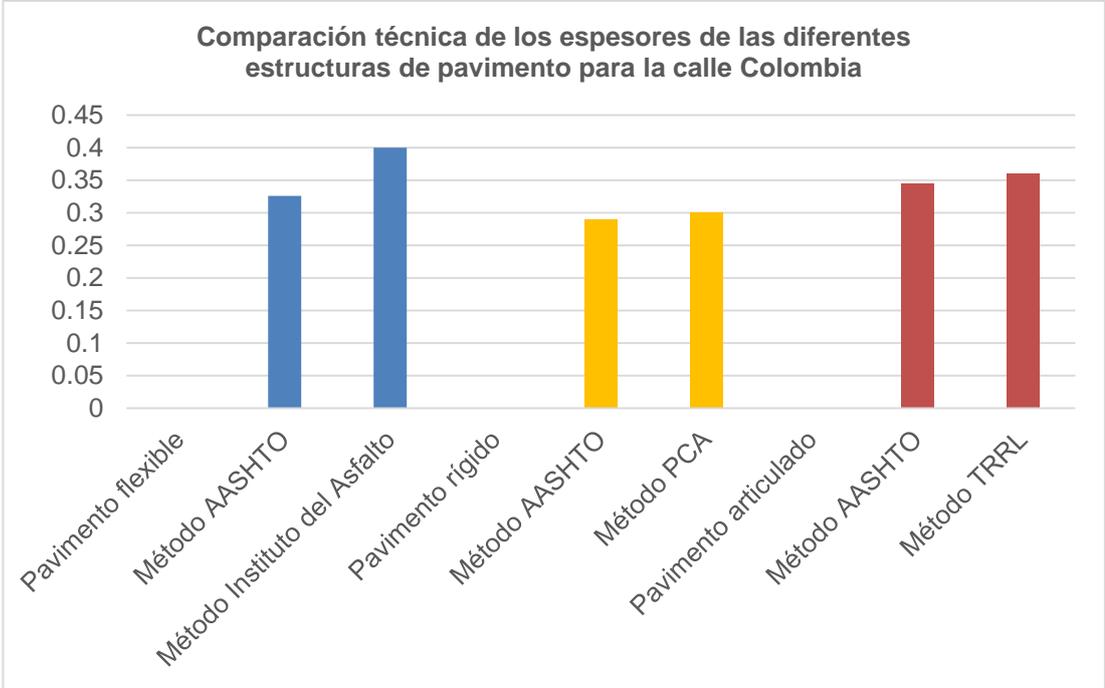
Calle Paseo Tres de Noviembre:

Figura 30: Comparación técnica de los espesores de las diferentes estructuras de pavimento para la calle Paseo Tres de Noviembre



Calle Colombia:

Figura 31: Comparación técnica de los espesores de las diferentes estructuras de pavimento para la calle Colombia



CONCLUSIONES

Al finalizar el análisis del presente estudio se establece las siguientes conclusiones:

El diseño de una estructura de pavimento varía en función del método que se utilice, ya que cada uno posee características propias, las mismas que influyen en el cálculo de los espesores de las capas de la estructura, en mayor o menor grado, dependiendo del tipo de pavimento.

Para el caso del pavimento flexible tenemos la siguiente variación:

Calle Paseo Tres de Noviembre:

	AASHTO	Inst. Asfalto
Capa de rodadura	100%	279%
Base	100%	75%
Sub-base	100%	56%

Calle Colombia:

	AASHTO	Inst. Asfalto
Capa de rodadura	100%	131%
Base	100%	150%
Sub-base	100%	100%

Como se puede observar en las tablas, existe una diferencia significativa en el espesor de cada una de las capas de la estructura entre un método y otro, especialmente en la capa de rodadura que se incrementa en un 179% entre el método del Instituto del Asfalto con respecto al de la AASHTO para la calle Paseo 3 de Noviembre y en un 31% para la calle Colombia; esto se debe a que el Instituto del Asfalto utiliza factores especiales de mayoración de cargas vehiculares, además que incluye nomogramas de diseño preestablecidos con materiales (bases de emulsión asfáltica) que no son utilizados en nuestro país para las capas, lo cual le permite disminuir su estructura, por lo que al utilizar materiales granulares incrementa de manera excesiva el espesor de la carpeta asfáltica, apreciándose en mayor medida en la calle Paseo 3 de Noviembre debido a que posee un CBR bajo (1,7%) con condiciones inapropiadas.

Para el caso del pavimento rígido tenemos la siguiente variación:

Calle Paseo Tres de Noviembre:

	AASHTO	PCA
Losa de hormigón	100%	97%
Sub-base	100%	100%

Calle Colombia:

	AASHTO	PCA
Losa de hormigón	100%	107%
Sub-base	100%	100%

Como se puede observar en este tipo de pavimento existe una variación mínima entre un método y otro, en un 3% para la calle Paseo 3 de noviembre y en un 7% para la calle Colombia, debido a que ambos poseen factores y parámetros generales para cualquier condición y tipo de vía, concluyendo que no existe una diferencia significativa al utilizar uno u otro método.

En el análisis económico se pudo determinar que debido a las diferencias existentes en los espesores de las capas de la estructura de cada tipo de pavimento diseñado con diferentes métodos, existen variaciones en el costo total del proyecto mismas que se detallan a continuación:

- Pavimento flexible:

Calle Paseo Tres de Noviembre:

	AASHTO	Inst. Asfalto
Costo total	100%	141%

Calle Colombia:

	AASHTO	Inst. Asfalto
Costo total	100%	125%

Como se puede observar en la tabla existe un aumento significativo en el costo total al realizar el diseño por el método del Instituto del Asfalto que por el método AASHTO, teniendo una diferencia del 41% para la calle Paseo 3 de Noviembre y de un 25% para la calle Colombia, esto debido a que en la estructura de pavimento la carpeta asfáltica es mayor por lo explicado anteriormente.

- Pavimento rígido:

Calle Paseo Tres de Noviembre:

	AASHTO	PCA
Costo total	100%	98%

Calle Colombia:

	AASHTO	PCA
Costo total	100%	105%

Como se puede apreciar en la tabla anterior no existe una diferencia de gran magnitud al diseñar la estructura del pavimento rígido con el método AASHTO que con el PCA, siendo de un 2% para la calle Paseo 3 de Noviembre y de un 5% para la calle Colombia, concluyendo que el más óptimo es el método PCA para el caso de la Paseo 3 de Noviembre y para la Colombia es el AASHTO esto debido a la diferencia de magnitud de CBR de cada una al momento de realizar el diseño.

- Pavimento articulado:

Calle Paseo Tres de Noviembre:			Calle Colombia:		
	AASHTO	TRRL		AASHTO	TRRL
Costo total	100%	86%	Costo total	100%	101%

Para el caso del pavimento articulado debido a la variación que existe entre los costos totales se debe utilizar el método TRRL para la calle Paseo 3 de Noviembre ya que es un 14% más económico que el de la AASHTO pero para la calle Colombia se puede utilizar cualquiera de los 2 métodos ya que la diferencia es mínima (1%).

Finalmente como conclusión se establece que para la calle Paseo 3 de Noviembre, la estructura con menor costo es la de pavimento flexible que es un 8% más económica que el rígido y un 47% que el articulado; pero cabe indicar que al existir una diferencia pequeña entre el flexible y el rígido la solución más óptima a largo plazo y por las condiciones del suelo de la subrasante existentes (CBR < 2%) es la estructura de pavimento rígido la mejor opción.

Para el caso de la calle Colombia se establece que la estructura con menor costo es la de pavimento flexible que es un 42% mas económica que el rígido y un 77% que el articulado, en el caso de esta calle al existir una diferencia significativa entre los costos del pavimento flexible con el rígido y por poseer condiciones de suelo de subrasante buenas (CBR 8%), la solución más óptima para este tipo de calles es utilizar una estructura de pavimento flexible.

RECOMENDACIONES

En el diseño de la estructura de pavimento flexible se recomienda no utilizar el método del Instituto del Asfalto ya que su costo final es demasiado alto con respecto al de la AASHTO, por considerarse carpetas asfálticas de gran tamaño al no existir materiales de mejor calidad en nuestro país que disminuyan la misma, según lo que establece su metodología.

Se recomienda no utilizar estructura de pavimento articulado en calles de la ciudad de Cuenca dentro del proyecto "Barrio Solidario" ya que su costo final es elevado con respecto a los otros tipos de pavimento debido a que utiliza una estructura especial.

Para calles que tengan suelos con condiciones desfavorables se recomienda utilizar el pavimento rígido, ya que el mismo es la opción más óptima a largo plazo para este tipo de vías.

Para calles que tengan suelos con condiciones buenas la mejor opción y la más económica es la estructura de pavimento flexible, con el objetivo de disminuir los costos finales del proyecto, beneficiando a las personas que se encuentran dentro del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. Washington D.C.- USA: Author.
- Blázquez L. & García J. (2000). *Manual de Carreteras*, volumen I y II. España: Ortiz e hijos.
- Coronado Iturbide J. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. Guatemala: Secretaria de Integración Económica Centroamericana.
- Das Braja M. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México: Thomson Editores.
- Londoño C. (2004). *Diseño, Construcción y Mantenimiento de Pavimentos de Concreto* (3ra ed.). Medellín – Colombia: Editorial Piloto S.A.
- Minaya González S. & Ordóñez Huamán A. (2006). *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos* (2da ed.). Lima - Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013). *Norma Ecuatoriana Vial NEVI - 12 – MTOP*. Quito - Ecuador: Autor.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú. (2013). *Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima - Perú: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
- Montejo Fonseca A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras* (2da ed.). Bogotá – Colombia: Agora Editores.
- Portland Cement Association. (1984). *Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements*. USA: Author.
- Rico Rodríguez A., Téllez Gutiérrez R. & Garnica Anguas P. (1998). *Pavimentos Flexibles Problemática, Metodologías de Diseño y Tendencias*. México: Instituto Mexicano del Transporte.
- Salazar Rodríguez A. (1997). *Guía para el Diseño y Construcción de Pavimentos rígidos*. México: IMCYC.
- Thenoux G., Halles F. & González A. (2002). *Guía de Diseño Estructural de Pavimentos para Caminos de Bajo Volumen de Tránsito*. Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.

ANEXO

-Análisis detallado de precios unitarios para cada uno de los rubros que conforman los diferentes presupuestos elaborados en el presente estudio

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: Replanteo y nivelación en vías UNIDAD: m

DETALLE:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
estación total (2 prismas + trípode + bastón)	1	3,5	2,67	0,10	0,27
herramientas manuales (5% MO)	1				0,04
SUBTOTAL					0,31

MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
albañil	1	2,82	2,82	0,10	0,28
peón	1	2,78	2,78	0,10	0,28
topógrafo 1	1	3,02	3,02	0,10	0,30
SUBTOTAL					0,86

MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
Clavos multiuso sin cabeza 1'' a 2''	kg	0,05	2,48	0,12	
Tira de eucalipto 4x5 cm – 3 m	u	0,15	0,93	0,14	
SUBTOTAL					0,26

TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
				0,00	
SUBTOTAL					0,00
TOTAL COSTO DIRECTO					1,44
INDIRECTOS: 18 %					0,26
COSTO TOTAL DEL RUBRO					1,69

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: Excavación a máquina con retroexcavadora (en terreno sin clasificar) **UNIDAD:** m³

DETALLE:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
retroexcavadora	1,00	22,00	25,00	0,038	0,96
SUBTOTAL					0,96

MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
maestro de obra	1,00	2,54	2,54	0,015	0,04
ayudante de maquinaria	1,00	2,47	2,47	0,0385	0,10
peón	2,00	2,44	4,88	0,0385	0,19
operador de retroexcavadora	1,00	2,56	2,56	0,0385	0,10
SUBTOTAL					0,42

MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
				0,00	
SUBTOTAL					0,00

TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
				0,00	
SUBTOTAL					0,00
TOTAL COSTO DIRECTO					1,38
INDIRECTOS:18 %					0,25
COSTO TOTAL DEL RUBRO					1,63

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: Cargado de material con cargadora **UNIDAD:** m³

DETALLE:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
cargadora	1,00	30,00	30,00	0,03	0,90
SUBTOTAL					0,90
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/ HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
ayudante de maquinaria	1,00	2,47	2,47	0,03	0,07
operador de cargadora frontal	1,00	2,56	2,56	0,03	0,08
SUBTOTAL					0,15
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
				0,00	
SUBTOTAL					0,00
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
				0,00	
SUBTOTAL					0,00
TOTAL COSTO DIRECTO					1,05
INDIRECTOS: 18%					0,19
COSTO TOTAL DEL RUBRO					1,24

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: Transporte de materiales hasta 6 km, incluye pago en escombrera **UNIDAD:** m³

DETALLE:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
volqueta 8 m ³	1	15,00	25,00	0,04	1,00
SUBTOTAL					1,00

MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
chofer profesional tipo D	1,00	3,67	3,67	0,04	0,15
SUBTOTAL					0,15

MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
pago en escombrera	m ³	1,00	0,40	0,40	
SUBTOTAL					0,40

TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
				0,00	
SUBTOTAL					0,00
TOTAL COSTO DIRECTO					1,55
INDIRECTOS: 18 %					0,28
COSTO TOTAL DEL RUBRO					1,83

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: Sobreacarreo de materiales para desalojo, distancia > 6 km **UNIDAD:** m³-km

DETALLE:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
volqueta 8 m ³	1,00	25,00	25,00	0,007	0,18
SUBTOTAL					0,18

MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
chofer profesional tipo D	1,00	3,67	3,67	0,007	0,03
SUBTOTAL					0,03

MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
				0,00	
SUBTOTAL					0,00

TRANSPORTE				
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
				0,00
SUBTOTAL				0,00
TOTAL COSTO DIRECTO				0,20
INDIRECTOS: 18%				0,04
COSTO TOTAL DEL RUBRO				0,24

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: Subrasante conformación y compactación con equipo pesado

UNIDAD: m²

DETALLE:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Motoniveladora	1,00	50,00	50,00	0,009	0,43
Rodillo vibratorio	1,00	35,00	35,00	0,009	0,30
Tanquero de agua	1,00	20,00	20,00	0,009	0,17
SUBTOTAL					0,89

MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
chofer profesional tipo D	1,00	3,67	3,67	0,009	0,03
operador de motoniveladora	1,00	2,56	2,56	0,009	0,02
operador de rodillo autopropulsado	1,00	2,54	2,54	0,009	0,02
ayudante de maquinaria	1,00	2,47	2,47	0,009	0,02
peón	1,00	2,44	2,44	0,009	0,02
SUBTOTAL					0,12

MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
SUBTOTAL					0,00

TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
					0,00
SUBTOTAL					0,00

TOTAL COSTO DIRECTO	1,01
INDIRECTOS: 18 %	0,18
COSTO TOTAL DEL RUBRO	1,19

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: Sub - base conformación y compactación con equipo pesado **UNIDAD:** m³

DETALLE:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
herramientas varias	2,00	0,40	0,80	0,035	0,03
motoniveladora	1,00	50,00	50,00	0,035	1,75
rodillo vibratorio	1,00	35,00	35,00	0,015	0,53
tanquero de agua	1,00	20,00	20,00	0,015	0,30
SUBTOTAL					2,60

MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
chofer profesional tipo D	1,00	3,67	3,67	0,015	0,06
operador de motoniveladora	1,00	2,56	2,56	0,035	0,09
operador de rodillo autopropulsado	1,00	2,54	2,54	0,015	0,04
ayudante de maquinaria	3,00	2,47	7,41	0,015	0,11
peón	4,00	2,44	9,76	0,035	0,34
SUBTOTAL					0,64

MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
agua	lt	40,00	0,01	0,40	
sub - base puesta en obra	m ³	1,31	12,00	15,72	
SUBTOTAL					16,12

TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
				0,00	
SUBTOTAL					0,00

TOTAL COSTO DIRECTO	19,36
INDIRECTOS: 18%	3,48
COSTO TOTAL DEL RUBRO	22,84

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: Base conformación y compactación con equipo pesado **UNIDAD:** m³

DETALLE:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
herramientas varias	2,00	0,40	0,80	0,035	0,03
motoniveladora	1,00	50,00	50,00	0,035	1,75
rodillo vibratorio	1,00	35,00	35,00	0,015	0,53
tanquero de agua	1,00	20,00	20,00	0,015	0,30
SUBTOTAL					2,60

MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
chofer profesional tipo D	1,00	3,67	3,67	0,02	0,06
operador de motoniveladora	1,00	2,56	2,56	0,04	0,09
operador de rodillo autopropulsado	1,00	2,54	2,54	0,02	0,04
ayudante de maquinaria	3,00	2,47	7,41	0,02	0,11
peón	4,00	2,44	9,76	0,04	0,34
SUBTOTAL					0,64

MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
agua	lt	40,00	0,01	0,40	
base puesta en obra	m ³	1,32	13,50	17,82	
SUBTOTAL					18,22

TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
				0,00	
SUBTOTAL					0,00

TOTAL COSTO DIRECTO	21,46
INDIRECTOS: 18%	3,86
COSTO TOTAL DEL RUBRO	25,32

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: Imprimación asfáltica con barrido mecánico **UNIDAD:** m²

DETALLE:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
tanquero distribuidor de asfalto	1,00	27,68	27,68	0,003	0,07
escoba mecánica	1,00	8,93	8,93	0,003	0,02
SUBTOTAL					0,09

MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
operador de barredora autopropulsada	1,00	2,54	2,54	0,003	0,01
peón	4,00	2,44	9,76	0,003	0,02
operador de distribuidor de asfalto	1,00	2,54	2,54	0,003	0,01
SUBTOTAL					0,04

MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
asfalto	gl	0,35	1,55	0,54	
diesel	gl	0,15	1,04	0,16	
SUBTOTAL					0,70

TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
				0,00	
SUBTOTAL					0,00

TOTAL COSTO DIRECTO	0,83
INDIRECTOS: 18%	0,15
COSTO TOTAL DEL RUBRO	0,98

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: Carpeta asfáltica (e=3 in) Ho Asf.
mezclado en planta

UNIDAD: m²

DETALLE:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
cargadora	1,00	30,00	30,00	0,004	0,12
rodillo vibratorio	1,00	35,00	35,00	0,004	0,14
planta asfáltica	1,00	140,31	140,31	0,004	0,56
rodillo neumático	1,00	33,21	33,21	0,004	0,13
terminadora de asfalto	1,00	30,81	30,81	0,004	0,12
SUBTOTAL					1,08

MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
ayudante de operador de equipo	4,00	2,44	9,76	0,004	0,04
operador de rodillo autopropulsado	2,00	2,54	5,08	0,004	0,02
operador de acabadora de pavimento asfáltico	1,00	2,54	2,54	0,004	0,01
operador de cargadora frontal	1,00	2,56	2,56	0,004	0,01
operador responsable de la planta asfáltica	1,00	2,54	2,54	0,004	0,01
peón	8,00	2,44	19,52	0,004	0,08
SUBTOTAL					0,17

MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
asfalto	gl	3,30	1,55	5,12	
diesel	gl	0,69	1,04	0,72	
aditivo para carpetas asfálticas	gl	0,02	9,75	0,16	
material pétreo para agregado asfáltico	m ³	0,10	15,00	1,46	
SUBTOTAL					7,46

TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
transporte de mezcla asfáltica	m ³ /km	0,08	0,20	0,60	
SUBTOTAL					0,60
TOTAL COSTO DIRECTO					9,30
INDIRECTOS: 18%					1,67
COSTO TOTAL DEL RUBRO					10,98

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: Carpeta asfáltica (e=8,5 in) Ho Asf.
mezclado en planta

UNIDAD: m²

DETALLE:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
cargadora	1,00	30,00	30,00	0,010	0,30
rodillo vibratorio	1,00	35,00	35,00	0,010	0,35
planta asfáltica	1,00	140,31	140,31	0,010	1,40
rodillo neumático	1,00	33,21	33,21	0,010	0,33
terminadora de asfalto	1,00	30,81	30,81	0,010	0,31
SUBTOTAL					2,69

MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
ayudante de operador de equipo	4,00	2,44	9,76	0,010	0,10
operador de rodillo autopropulsado	2,00	2,54	5,08	0,010	0,05
operador de acabadora de pavimento asfáltico	1,00	2,54	2,54	0,010	0,03
operador de cargadora frontal	1,00	2,56	2,56	0,010	0,03
operador responsable de la planta asfáltica	1,00	2,54	2,54	0,010	0,03
peón	8,00	2,44	19,52	0,010	0,20
SUBTOTAL					0,42

MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
asfalto	gal	9,35	1,55	14,49	
diesel	gl	1,95	1,04	2,03	
aditivo para carpetas asfálticas	gl	0,06	9,75	0,59	
material pétreo para agregado asfáltico	m ³	0,28	15,00	4,20	
SUBTOTAL					21,31

TRANSPORTE				
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
transporte de mezcla asfáltica	m ³ /km	0,08	0,20	0,60
SUBTOTAL				0,60
TOTAL COSTO DIRECTO				25,02
INDIRECTOS: 18%				4,50
COSTO TOTAL DEL RUBRO				29,52

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: Carpeta asfáltica (e=4 in) Ho Asf.
mezclado en planta

UNIDAD: m²

DETALLE:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
cargadora	1,00	30,00	30,00	0,006	0,18
rodillo vibratorio	1,00	35,00	35,00	0,006	0,21
planta asfáltica	1,00	140,31	140,31	0,006	0,84
rodillo neumático	1,00	33,21	33,21	0,006	0,20
terminadora de asfalto	1,00	30,81	30,81	0,006	0,18
SUBTOTAL					1,62

MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
ayudante de operador de equipo	4,00	2,44	9,76	0,006	0,06
operador de rodillo autopropulsado	2,00	2,54	5,08	0,006	0,03
operador de acabadora de pavimento asfáltico	1,00	2,54	2,54	0,006	0,02
operador de cargadora frontal	1,00	2,56	2,56	0,006	0,02
operador responsable de la planta asfáltica	1,00	2,54	2,54	0,006	0,02
peón	8,00	2,44	19,52	0,006	0,12
SUBTOTAL					0,25

MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
asfalto	gal	4,40	1,55	6,82	
diesel	gl	0,92	1,04	0,96	
aditivo para carpetas asfálticas	gl	0,03	9,75	0,26	
material pétreo para agregado asfáltico	m ³	0,13	15,00	1,95	
SUBTOTAL					9,99

TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
transporte de mezcla asfáltica	m ³ /km	0,08	0,20	0,60	
SUBTOTAL					0,60
TOTAL COSTO DIRECTO					12,46
INDIRECTOS: 18%					2,24
COSTO TOTAL DEL RUBRO					14,70

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: Losa de pavimento hormigón
(f'c=300 kg/cm²) **UNIDAD:** m³

DETALLE:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
platina para juntas de hormigón herramientas varias	2,00	0,02	0,04	0,500	0,02
herramientas varias	7,00	0,40	2,80	0,500	1,40
vibrador	1,00	1,80	1,80	0,500	0,90
SUBTOTAL					2,32

MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/ HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
albañil	3,00	2,47	7,41	0,50	3,71
maestro de obra	1,00	2,54	2,54	0,35	0,89
peón	4,00	2,44	9,76	0,50	4,88
SUBTOTAL					9,47

MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
hormigón simple f'c=300 kg/cm ²	m ³	1,05	99,60	104,58	
SUBTOTAL					104,58

TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
				0,00	
SUBTOTAL					0,00
TOTAL COSTO DIRECTO					116,37
INDIRECTOS: 18%					20,95
COSTO TOTAL DEL RUBRO					137,32

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: Acero de refuerzo ($f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$) **UNIDAD:** kg

DETALLE:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
herramientas varias	2,00	0,40	0,80	0,030	0,02
SUBTOTAL					0,02

MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
ayudante de herrero	1,00	2,44	2,44	0,030	0,07
herrero	1,00	2,47	2,47	0,030	0,07
maestro de obra	1,00	2,54	2,54	0,009	0,02
peón	1,00	2,44	2,44	0,030	0,07
SUBTOTAL					0,24

MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo
varios	global	0,03	1,60	0,04
acero de varillas	kg	1,05	1,11	1,17
alambre de amarre	kg	0,05	2,05	0,10
SUBTOTAL				1,31

TRANSPORTE				
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
				0,00
SUBTOTAL				0,00
TOTAL COSTO DIRECTO				1,58
INDIRECTOS: 18%				0,28
COSTO TOTAL DEL RUBRO				1,86

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: Encofrado metálico para vías

UNIDAD: m

DETALLE:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
encofrado metálico para vías	2,00	0,10	0,20	1,000	0,20
herramientas varias	2,00	0,40	0,80	0,070	0,06
SUBTOTAL					0,26

MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/ HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
albañil	1,00	2,47	2,47	0,070	0,17
ayudante de albañil	1,00	2,44	2,44	0,070	0,17
maestro de obra	1,00	2,54	2,54	0,021	0,05
peón	1,00	2,44	2,44	0,070	0,17
SUBTOTAL					0,57

MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
clavos	kg	0,50	1,91	0,96	
estacas de madera	u	2,00	0,85	1,70	
SUBTOTAL					2,66

TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
SUBTOTAL					0,00
TOTAL COSTO DIRECTO					3,48
INDIRECTOS: 18%					0,63
COSTO TOTAL DEL RUBRO					4,11

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: Curado de superficie con aditivo

UNIDAD: m²

DETALLE:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
bomba de aspersión	1,00	1,50	1,50	0,011	0,02
SUBTOTAL					0,02

MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/ HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
maestro de obra	1,00	2,54	2,54	0,001	0,003
peón	1,00	2,44	2,44	0,011	0,03
SUBTOTAL					0,03

MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
aditivo químico para curado del hormigón	gal	0,03	13,53	0,45	
SUBTOTAL					0,45

TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
SUBTOTAL					0,00
TOTAL COSTO DIRECTO					0,49
INDIRECTOS: 18%					0,09
COSTO TOTAL DEL RUBRO					0,58

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: Corte y sellado de juntas con poliuretano

UNIDAD: m

DETALLE:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
herramientas varias	1,00	0,40	0,40	0,075	0,03
cortadora de disco de diamante	1,00	8,00	8,00	0,075	0,60
SUBTOTAL					0,63

MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
maestro de obra	1,00	2,54	2,54	0,008	0,02
peón	1,00	2,44	2,44	0,075	0,18
SUBTOTAL					0,20

MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
cordón para sellado de juntas	m	1,00	0,14	0,14	
imprimante para sello de juntas	m	1,00	0,15	0,15	
cartucho de poliuretano	u	0,15	13,54	2,03	
SUBTOTAL					2,32

TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
SUBTOTAL					0,00
TOTAL COSTO DIRECTO					3,15
INDIRECTOS: 18%					0,57
COSTO TOTAL DEL RUBRO					3,72

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: Junta de madera para losa de hormigón

UNIDAD: m

DETALLE:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
herramienta menor de carpintería	2,00	0,25	0,50	0,100	0,05
SUBTOTAL					0,05

MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
ayudante de carpintero	1,00	2,44	2,44	0,100	0,24
carpintero	1,00	2,47	2,47	0,100	0,25
SUBTOTAL					0,49

MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
clavos	kg	0,10	1,91	0,19	
tabla de encofrado 24x3x300 cm	u	0,33	1,90	0,63	
tiras de eucalipto 4x5x300 cm	u	0,16	1,08	0,17	
SUBTOTAL					0,99

TRANSPORTE				
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
SUBTOTAL				0,00
TOTAL COSTO DIRECTO				1,53
INDIRECTOS: 18%				0,28
COSTO TOTAL DEL RUBRO				1,81

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: Mejoramiento de la subrasante **UNIDAD:** m³

DETALLE:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
herramientas varias	2,00	0,40	0,80	0,035	0,03
motoniveladora	1,00	50,00	50,00	0,035	1,75
rodillo vibratorio	1,00	35,00	35,00	0,015	0,53
tanquero de agua	1,00	20,00	20,00	0,015	0,30
SUBTOTAL					2,60

MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
chofer profesional tipo D	1,00	3,67	3,67	0,015	0,06
operador de motoniveladora	1,00	2,56	2,56	0,035	0,09
operador de rodillo autopropulsado	1,00	2,54	2,54	0,015	0,04
ayudante de maquinaria	3,00	2,47	7,41	0,015	0,11
peón	4,00	2,44	9,76	0,035	0,34
SUBTOTAL					0,64

MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
agua	lt	40,00	0,01	0,40	
material de mejoramiento puesto en obra	m ³	1,25	10,00	12,50	
SUBTOTAL					12,90

TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
				0,00	
SUBTOTAL					0,00
TOTAL COSTO DIRECTO					16,14
INDIRECTOS: 18%					2,90
COSTO TOTAL DEL RUBRO					19,04

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: Base cemento mezclada con concretera, compactación con plancha vibratoria **UNIDAD:** m³

DETALLE:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
herramientas varias	1,00	0,40	0,40	0,500	0,20
concretera un saco	1,00	3,15	3,15	0,500	1,58
plancha vibratoria	1,00	4,50	4,50	0,500	2,25
SUBTOTAL					4,03

MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
albañil	1,00	2,47	2,47	0,50	1,24
ayudante de albañil	2,00	2,44	4,88	0,50	2,44
maestro de obra	1,00	2,54	2,54	0,45	1,14
peón	6,00	2,44	14,64	0,50	7,32
SUBTOTAL					12,14

MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
agua	lt	80,00	0,01	0,80	
cemento portland	saco	2,76	6,47	17,86	
base	m ³	1,38	13,50	18,63	
aditivo plastificante	lt	1,50	0,85	1,28	
SUBTOTAL					38,56

TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
				0,00	
SUBTOTAL					0,00

TOTAL COSTO DIRECTO	54,73
INDIRECTOS: 18%	9,85
COSTO TOTAL DEL RUBRO	64,58

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: Adoquín e=8 cm, suministro y colocación **UNIDAD:** m²

DETALLE:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
herramientas varias	1,00	0,40	0,40	0,020	0,01
plancha vibratoria	1,00	4,50	4,50	0,200	0,90
amoladora	1,00	0,19	0,19	0,200	0,04
SUBTOTAL					0,95

MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
albañil	1,00	2,47	2,47	0,200	0,49
maestro de obra	1,00	2,54	2,54	0,080	0,20
peón	3,00	2,44	7,32	0,200	1,46
SUBTOTAL					2,16

MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo
adoquín e= 8cm	m ²	1,00	14,74	14,74
arena puesta en obra	m ³	0,04	17,00	0,60
SUBTOTAL				15,34

TRANSPORTE				
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
transporte de adoquín de concreto	m ²	1,00	0,12	1,44
SUBTOTAL				1,44
TOTAL COSTO DIRECTO				19,88
INDIRECTOS: 18%				3,58
COSTO TOTAL DEL RUBRO				23,46