

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS



PROYECTO DE APLICACIÓN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

1. **FECHA DE LA PRESENTACIÓN DE LA OPCIÓN DE GRADO: 07/12/ 2018**
2. **DESCRIPCIÓN DE LA OPCIÓN DE GRADO**

TÍTULO DE LA PROPUESTA:
“ANÁLISIS PRESUPUESTAL - CONSTRUCTIVO ENTRE DOS METODOLOGÍAS DE DISEÑO PARA UNA VÍA EN EL MUNICIPIO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER.”
LINEA:
DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

3. **PROPONENTES**

No	Código	Nombre	Cédula	Teléfono	E-mail
1	610310	JAVIER GONZALEZ	1090397138	3105809387	jgiogonzalez@gmail.com

FIRMA ESTUDIANTE

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA ESPECIALIZACIÓN EN
INGENIERÍA DE PAVIMENTOS**



**ANÁLISIS PRESUPUESTAL - CONSTRUCTIVO ENTRE DOS
METODOLOGÍAS DE DISEÑO PARA UNA VÍA EN EL MUNICIPIO DE
PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER.**

JAVIER GIOVANNI GONZALEZ TARAZONA

PROYECTO DE APLICACIÓN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

Director de trabajo de grado:

ING. JOSE LUIS MERCADO PEREZ, MSC, ESP

Título profesional Obtenido

ESPECIALISTA EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL – INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

BOGOTÁ

2018

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS



**ANÁLISIS PRESUPUESTAL - CONSTRUCTIVO ENTRE DOS METODOLOGÍAS DE
DISEÑO PARA UNA VÍA EN EL MUNICIPIO DE PAMPLONA, NORTE DE
SANTANDER.**

**BUDGET - CONSTRUCTIVE ANALYSIS BETWEEN TWO METHODOLOGIES OF
DESIGN FOR A ROAD IN PAMPLONA TOWN, NORTE DE SANTANDER.**

BOGOTA D.C. 2018

Resumen

El presente trabajo contiene un análisis comparativo, tanto presupuestal como constructivo de dos alternativas de diseño, realizadas por el método AASHTO. Donde se pretende mostrar la opción más viable, tomando como base parámetros como la economía y manejo constructivo.

En el mismo sentido, en las alternativas de diseño se pretende utilizar base estabilizada con cemento en una de ellas y seguido de un diseño con materiales pétreos; donde se realizará un balance con los respectivos costos de cada alternativa. Adicionalmente se presentan las ventajas y desventajas para cada una de las metodologías.

Los diseños descritos anteriormente, son para una vía ubicada en la calle 3 entre carreras 12 y 14, del barrio Cristo Rey en el municipio de Pamplona, perteneciente al departamento de Norte de Santander.

Abstract

The present work contains a comparative analysis, budgetary and constructive of two design alternatives, made by the AASHTO method. Where it is intended to show the most viable option, based on parameters such as economy and constructive management.

In the same way, as alternatives of design it is tried to use stabilized base with cement in one of them and followed by a design with stony materials; where a balance will be made with the respective costs of each alternative. Additionally, the advantages and disadvantages for each of the methodologies are presented.

The designs described above are for a road located on 3rd street between Avenues 12 and 14, Cristo Rey neighborhood, Pamplona Town, department of Norte de Santander.

Tabla de Contenido

	Pág.
Lista de Tablas	8
Introducción	11
1. Título.....	12
2. Formulación Del Problema	13
2.1 Justificación	14
3. Objetivos.....	15
3.1 Objetivo general.....	15
3.2 Objetivos específicos	15
4. Marco Teórico.....	16
4.1 Estabilización de suelos con cemento	16
4.2 Factores que afectan la mezcla de Suelo - Cemento.....	17
4.2.1. El tipo de suelo.....	17
4.2.2. La cantidad de cemento.....	17
4.2.3. La cantidad de agua que se agrega a la mezcla.....	19
4.2.4. La compactación de la mezcla.....	19
4.2.5. Curado de la mezcla compactada.....	20
5. Metodologías de Diseño para Pavimentos Flexibles	20
5.1 Método ASSHTO.....	20
5.1.1. Parámetros de diseño.....	20
5.1.2 Tránsito de diseño.....	21

5.1.3 Módulo resiliente de la subrasante, Mr	22
5.1.4. Coeficientes estructurales y módulos dinámicos de las capas.	23
5.1.5 Coeficiente de drenaje.	26
5.1.6. Nivel de confiabilidad, R.....	27
5.1.7 Error normal combinado, So.	28
5.1.8 Nivel de serviciabilidad.	29
5.1.9. Número estructural del pavimento. SN.	29
6. Metodología del trabajo	32
6.1 Tránsito de diseño	32
6.2 CBR de diseño	32
6.3 Módulo resiliente de la subrasante	33
6.4 Coeficientes estructurales y módulos dinámicos de las capas.	33
6.4.1 Mezcla densa en caliente.	33
6.4.2 Base granular.	33
6.4.3 Sub Base granular.	33
6.5 Coeficiente de drenaje.....	34
6.6 Nivel De Confiabilidad	34
6.7 Error normal combinado. So.....	34
6.8 Nivel de serviciabilidad.	34
6.9 Número estructural del pavimento.	34
7. Análisis y diseños	36
7.1 Alternativa con materiales pétreos	36
7.2 Alternativa de base estabilizada con cemento.....	37

7.3 Análisis Presupuestal	38
7.4. Alternativa con materiales pétreos	38
7.5 Alternativa de base estabilizada con cemento.....	39
7.6 Análisis Constructivo	40
7.6.1 Transporte para cada alternativa de diseño.....	40
8. Conclusiones	43
9. Recomendaciones	44
12. Referencias Bibliográficas	45

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Factores de equivalencia de carga por tipo de vehículo obtenidos a nivel nacional en el año de 1996.....	21
Tabla 2. Factores de deterioro para diferentes tipos de vehículos	21
Tabla 3. Calculo de factores y ejes equivalentes	22
Tabla 4 Espesores mínimos para evitar propagación de grietas.	24
Tabla 5. Carta Para estimar coeficientes estructurales.....	25
Tabla 6. Tabla para estimar coeficiente de drenaje.....	26
Tabla 7. Valores del coeficiente de drenaje	26
Tabla 8. Tabla para el cálculo del nivel de confiabilidad	27
Tabla 9. Desviación normal estándar, Z_r	27
Tabla 10 Desviación normal estándar, Z_r	28
Tabla 11. Servicialidad inicial	29
Tabla 12. Servicialidad inicial	29
Tabla 13. Tabla de recomendación de percentil según el Instituto del Asfalto para tomar el CBR de diseño.	32
Tabla 14. Parámetros de diseño	36
Tabla 15. Estructura final de parámetros de diseño	36
Tabla 16. Parámetros de diseño	37
Tabla 17. Estructura final de Parámetros de diseño.....	38
Tabla 18. Cuadro de presupuesto de la alternativa 1.	38

Tabla 19. Cuadro de presupuesto de la alternativa 2.	39
Tabla 20. Material a transportar para cada alternativa de estructura.	40

Tabla de Figuras

	Pág.
Figura 1. Cálculo de módulo Resiliente: AASHTO T193 – The California Bearing Ratio	22
Figura 2. Carta para estimar el coeficiente de aporte de concretos asfálticos. AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993. Cap 2.	23
Figura 3. Carta para estimar módulos de bases granulares. AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993. Cap 2	24
Figura 4. Carta para estimar módulos de sub bases granulares. AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993. Cap 2	26
Figura 5. Fórmula para el Cálculo del Número estructural. AASHTO 1993	30
Figura 6. Programa para el cálculo del número estructural. AASHTO 1993. LUIS RICARDO VASQUEZ VARELA.....	31
Figura 7. Programa para el cálculo del número estructural. AASHTO 1993. LUIS RICARDO VASQUEZ VARELA.....	31
Figura 8. Cálculo de coeficiente de variación: RUIS MUÑOZ Y SANCHEZ SÁNCHEZ 2006 – Coeficiente de variación de Pearson	32
Figura 9. Variables y procedimiento para el cálculo de número estructural y diseño del pavimento.....	35
Figura 10. Cálculo de número estructural mediante programa. LUIS RICARDO VASQUEZ VARELA	37
Figura 11. Cálculo de número estructural mediante programa. LUIS RICARDO	38

Introducción

Este trabajo está constituido en su primera parte por una descripción teórica detallada de la metodología a utilizar y el procedimiento en el cual se basan las dos alternativas de diseño.

Seguidamente se desarrolla la metodología AASHTO, donde se calculan espesores de materiales granulares y carpeta asfáltica, a través de una evaluación geotécnica, variables de tránsito evaluado en ejes equivalentes, coeficiente de drenaje, serviciabilidad y nivel de confiabilidad.

Para terminar, se realiza el análisis de los presupuestos de obra de las dos alternativas de diseño obtenidas de la metodología relacionada anteriormente. Con el fin de analizar la alternativa más viable. También se presentan los alcances y limitaciones que se pueden obtener en campo y las conclusiones finales que se llegan a partir de los diseños de las estructuras de pavimento.

1. Título

Análisis Presupuestal - Constructivo entre dos Metodologías de Diseño para una Vía en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.

2. Descripción Del Problema

En la actualidad es muy común el empleo de métodos de diseño con materiales pétreos. Sin embargo, hay lugares donde por su ubicación geográfica, diseño geométrico, y pendientes elevadas pueden ser de difícil acceso para el transporte tanto del material granular, como de mezcla asfáltica. Lo que dificulta la fase constructiva de la estructura del pavimento.

De acuerdo con lo anterior, hay lugares donde es necesario emplear diseños no convencionales, como lo es el diseño utilizando base estabilizada con cemento, donde a través de este método se obtienen menores espesores, tanto de materiales granulares como de carpeta asfáltica, y así, de esta forma, facilitar el transporte y recibo de materiales para la construcción de dicha estructura.

Pregunta Problema. ¿Puede un diseño de base estabilizada con cemento disminuir los costos generales y facilitar la fase constructiva del proyecto en comparación con un diseño con materiales pétreos?

2.1 Justificación

Durante la ejecución o construcción de un proyecto de infraestructura vial, se pueden presentar distintas problemáticas de diferente índole.

Debido a la ubicación geográfica y a las altas pendientes que se deben recorrer para llegar al barrio Cristo Rey en el municipio de Pamplona, que es el lugar de ejecución de los trabajos, pueden presentarse diferentes problemas de tipo operativo que pueden llegar a causar retrasos o inconvenientes en materia de transporte.

El presente proyecto de aplicación pretende demostrar que usando una metodología diferente de diseño, como lo es la de base estabilizada con cemento, se puede llegar a una optimización económica y constructiva del proyecto en mención, facilitando de esta forma el recibo de materiales y los tiempos en los cuales se debe ejecutar cada actividad.

De acuerdo con lo anterior, Este trabajo muestra en su fase inicial dos metodologías para una estructura de pavimento, en el lugar mencionado anteriormente. Posteriormente se efectúa su respectivo cuadro de presupuestos, para corroborar que tan viable resulta cada método. De esta forma se realiza un análisis detallado, a partir de la problemática de accesos al lugar del proyecto, para recomendar la mejor opción y tener una puesta en servicio y funcionalidad óptima.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general.

Analizar dos alternativas de diseño, por la metodología AASHTO.

3.2 Objetivos específicos

1. Recolectar información de tránsito y demás variables requeridas.
2. Realizar evaluación geotécnica que permita obtener información de la subrasante y materiales granulares.
3. Diseñar alternativa para estructura con materiales pétreos.
4. Diseñar alternativa para estructura empleando base estabilizada con cemento.

4. Marco Teórico

4.1 Estabilización de suelos con cemento

La acción estabilizadora del cemento consta de varias etapas, la primera de las cuales es la acción de la naturaleza fibrosa del silicato de calcio que se forma cuando los granos del cemento entran en contacto con el agua. Debido a esa reacción se forman masas de fibras minúsculas que se traban fuertemente unas con otras y con otros cuerpos. La solución formada por la mezcla cemento y agua reacciona con las partículas del suelo, reacción en las que los iones de calcio tienden a agrupar las partículas de suelo cargadas negativamente produciéndose su floculación por acción de la gravedad.

Por último, si se compacta la mezcla, se produce una reacción del calcio con la sílice y la alúmina de tamaños coloidales produciéndose complejos compuestos de silicatos y aluminatos que aumentan lentamente la resistencia de la mezcla con el tiempo. A esta acción se le llama puzzolánica.

La reacción favorable Suelo – Cemento se ve muy impedida o nulificada cuando el primero contiene materia orgánica, pues los ácidos orgánicos contienen gran avidez por los iones de calcio que libera la reacción original del cemento y los capta, dificultando la acción aglutinante del propio cemento en los suelos gruesos o la estabilización de las partículas laminares en las arcillas. Por esta razón, las especificaciones de casi todos los países exigen que el contenido de materia orgánica en un suelo no sobrepase 1 a 2%, en peso, si ha de ser considerado apropiado para ser estabilizado con cemento.

Es también nociva la presencia de sulfatos u otras materias ávidas de agua por cuanto privan al cemento de la humedad necesaria para el cumplimiento de sus funciones. Pero salvo estos dos inconvenientes, los demás suelos pueden tratarse con cemento para mejorar su comportamiento

mecánico, siendo la principal limitación la dificultad que puede presentarse para obtener un buen mezclado con las arcillas, motivo por el cual, en este caso, algunos recomiendan añadir previamente al suelo una pequeña cantidad de cal que facilite su manejo y pulverización y permita la posterior incorporación del cemento sin dificultad (Montejo, 2002, p. 112).

4.2 Factores que afectan la mezcla de Suelo - Cemento.

4.2.1. El tipo de suelo.

Tiene influencia principalmente por su composición química y su granulometría. Los suelos que pueden ser tratados con cemento, con fines viales para obtener una estabilización económica se obtiene cuando el suelo no contiene partículas mayores de 7,5 cms o de un tercio del espesor de la capa tratada, menos del 50% de él pasa por el tamiz de 0,0074 mm, el límite líquido es inferior a 40 y el índice plástico menor a 18.

Algunas arcillas muy plásticas, que se salen de los límites anteriores, han sido exitosamente tratadas con cemento después de un tratamiento previo con 2 o 3% del mismo cemento o de cal hidratada, con el que se logra dar al suelo mayor trabajabilidad y abatir su plasticidad. El tiempo de curado para este tratamiento previo no suele exceder de 2 o 3 días (Montejo, 2002, p 12).

4.2.2. La cantidad de cemento.

La dosificación de las mezclas de Suelo – cemento viene a ser a fin de cuentas la cuestión fundamental, pues el cemento, es el elemento más costoso y fijar su proporción determina la factibilidad técnica de la estabilización, aparte de que las propiedades que se logren para la mezcla dependen también esencialmente de la cantidad de cemento que se emplee.

El diseño de la mezcla se hace en el laboratorio, siendo los ensayos que más se utilizan para ello, el de durabilidad, llamado también de humedecimiento y secado y la compresión simple sobre probetas compactadas bajo condiciones especificadas. Con relación al primero las especificaciones fijan los valores aceptables en función del tipo de suelo que se establezca, mientras que, con respecto al segundo fueron los ingleses quienes establecieron el ensayo de compresión para el diseño, luego de encontrar que para su medio ambiente, una resistencia a la compresión de 17,5 Kg/cm² sobre probetas curadas a 15°C durante 7 días, equivalía a los resultados del ensayo de humedecimiento y secado.

En Colombia no se ha encontrado una relación consistente entre los resultados de los dos ensayos y se fija un valor mínimo de 21 Kg/cm² cuando se diseña con base a compresión. De otra parte, no debe olvidarse que la resistencia de una mezcla de suelo – cemento se ve favorecida por el aumento de temperatura, lo que es benéfico en áreas tropicales, donde las temperaturas de curado suelen ser superiores a las recomendadas por las normas utilizadas por países ubicadas en zonas templadas.

Teniendo en cuenta que al fabricar mezclas de suelo – cemento, se llegan a obtener altas resistencias a la compresión (70 Kg/cm² o más), las cuales no son convenientes por su susceptibilidad al agrietamiento, pues, finalmente se reflejan en la capa de rodadura; en la actualidad se fija un límite superior de 56 Kg/cm², valor hasta el cual se considera que el suelo – cemento presenta un comportamiento acorde con las exigencias de un pavimento flexible.

Si la mezcla de suelo – cemento se diseña mediante el ensayo de humedecimiento secado (norma de ensayo INVE-807), el contenido de cemento debe ser tal, que la pérdida de peso de la mezcla compactada, al ser sometida al ensayo de durabilidad (humedecimiento - secado), no

supere los siguientes límites de acuerdo con la clasificación que presente el suelo por estabilizar (Montejo, 2002, p. 12).

4.2.3. La cantidad de agua que se agrega a la mezcla.

La incidencia de la humedad en calidad de la mezcla tiene su mayor importancia durante la compactación. Una buena compactación, debe obtenerse para una alta densidad seca y ella sólo se obtiene cuando el suelo tiene la humedad óptima. En los diseños de suelo – cemento se usa generalmente como ensayo de control de próctor normal en lugar del modificado, por cuanto aquel tiene una humedad óptima mayor, que proporciona la cantidad de agua adecuada para la correcta hidratación del cemento. Además, como la densidad máxima del ensayo normal es menor, se evita el riesgo de obtener compactaciones muy elevadas y resistencias demasiado altas que, como ya se indicó, resultan también inconvenientes (Montejo, 2002, p. 112).

4.2.4. La compactación de la mezcla.

Una mezcla satisfactoria de suelo – cemento sólo puede obtenerse si se compacta adecuadamente.

Las demoras entre las mezclas y la compactación producen también una disminución de la densidad que puede alcanzarse al compactar la mezcla y por tanto de su resistencia. Por este motivo, en casi todos los países se prohíbe que pasen más de 2 horas entre la mezcla y la compactación.

Debe tenerse presente que las mezclas de laboratorio presentan una resistencia mucho mayor que las que se elaboran en la obra. El TRRL ha encontrado valores de resistencia a la compresión

del orden de 40 a 60% para mezclas elaboradas con equipo agrícola y de 60 a 80% al emplear un mezclador de tipo rotativo (Montejo, 2002, p. 112).

4.2.5. Curado de la mezcla compactada.

La resistencia a la compresión de la mezcla de suelo – cemento, también se ve influida por su tiempo de curado. Experiencias de laboratorio indican que esta aumenta cuando crece el tiempo de curado a que se somete la mezcla después de ser compactada (Montejo, 2002, p.112).

5. Metodologías de Diseño para Pavimentos Flexibles

5.1 Método ASSHTO.

5.1.1. Parámetros de diseño.

El método de la “American Association of State Highway Transportation Officials” (AASHTO) considera los siguientes parámetros de cálculo:

- a. El tránsito de diseño.
- b. El módulo resiliente de la subrasante.
- c. Coeficientes estructurales y módulos dinámicos de las capas.
- d. Coeficiente de drenaje.
- e. Nivel de confiabilidad
- f. El error normal combinado.
- g. El nivel de serviciabilidad.
- h. El número estructural del pavimento.

5.1.2 Tránsito de diseño.

Tabla 1.

Factores de equivalencia de carga por tipo de vehículo obtenidos a nivel nacional en el año de 1996

TIPO DE VEHÍCULO		FACTOS DE EQUIVALENCIA PARA PAVIMENTO FLEXIBLE
BUSES	Bus	0.40
	Bus metropolitano	1.00
C2P	C2P	1.14
C2G	C2G	3.44
C3 – C4 (3.74 promedio)	C3	3.76
	C2-S1	3.37
	C4	6.73
	C3-S1	2.22
	C2-S2	3.42
C5	C3-S2	4.40
>C5	>C5	4.72

Nota. Tomada de Invias (1998).

Para este caso se tiene la siguiente estimación de tránsito considerando solo vehículos tipo autos, busetas y camiones pequeños:

Tabla 2.

Factores de deterioro para diferentes tipos de vehículos:

TIPO DE CAMION	FACTOR VEHICULAR DE DETERIORO EJES SIMPLES DE 80 KN			
	MOPT 1992	INVIAS 1996	INVIAS 2000	DATOS USA
C2 SENCILLO	2,16	3,44	2,15	0,21
C3 DOBLE TROQUE	4,34	3,76	3,15	1,59
C2 S1 ARTICULADO		3,37	3,13	
C3 S1 ARTICULADO		2,22	2,33	
C2 S2 ARTICULADO		3,42	2,7	1,32
C3 S2 ARTICULADO	4,21	4,40	4,21	1,39
C3 S3 ARTICULADO	4,42	4,72	5,31	1,36

Nota. Datos obtenidos en aforo vehicular.

Con un máximo de volumen estimado, teniendo en cuenta el tránsito actual, la conectividad de la vía proyectada se tiene un número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el periodo de diseño, así:

Tabla 3.

Calculo de factores y ejes equivalentes

TIPO DE VEHICULO	FACTOR INVIAS	TOTAL VEHÍCULOS	EJES EQUIVALENTES DE 82 KN
AUTOS	0,01	4.500.000	45.000
BUSETAS	0,4	80.000	32.000
C2	2,15	4.500	9.675
C3	3,15	0	0
C2 S1	3,13	0	0
TOTAL EJES EQUIVALENTES			86.675

Nota. Calculo final de ejes equivalentes.

5.1.3 Módulo resiliente de la subrasante, M_r

El módulo resiliente es propiedad que caracteriza los materiales de subrasante en el método AASHTO. Este se considera como una medida de las propiedades elásticas del suelo que presenta ciertas características no lineales. El módulo resiliente de la subrasante se puede obtener por medio de retro cálculo utilizando las deflexiones obtenidas con el deflectómetro de impacto, ensayos de módulos resilientes o con ayuda de las correlaciones con otras pruebas.

Para el presente trabajo usaremos la siguiente ecuación:

$$M_R = 2555 * (CBR)^{0.64} \quad M_r \text{ en PSI}$$

Figura 1. Cálculo de módulo Resiliente: AASHTO T193 – The California Bearing Ratio

5.1.4. Coeficientes estructurales y módulos dinámicos de las capas.

La estructura se plantea, según requisitos del solicitante o probabilidad de obtener materiales en la zona del proyecto y cercanía de plantas productoras de mezclas asfálticas.

Mezcla densa en caliente.

Se ha empleado un aporte estructural de 0.44 para la mezcla asfáltica, teniendo en cuenta las recomendaciones AASHTO.

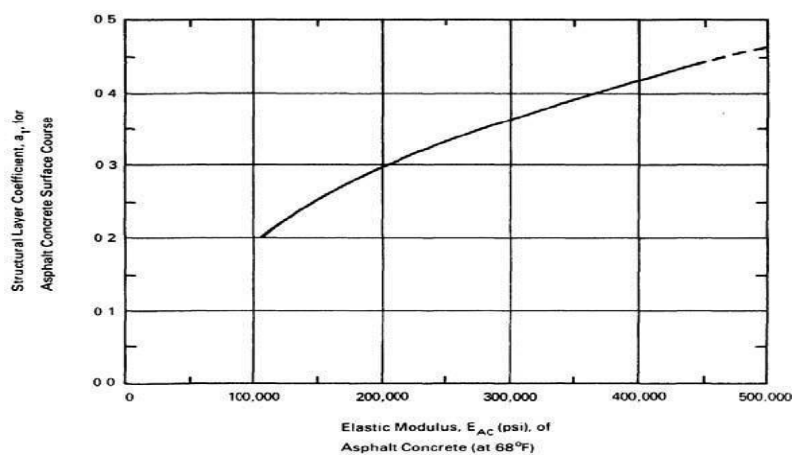


Figura 2. Carta para estimar el coeficiente de aporte de concretos asfálticos. AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993. Cap 2.

Base granular.

Para un coeficiente de aporte de 0,14 y de acuerdo con la figura II- 2.6 de la guía AASHTO de 1993. Dicha relación de soporte teóricamente se asocia a un módulo resiliente de 32.000 PSI.

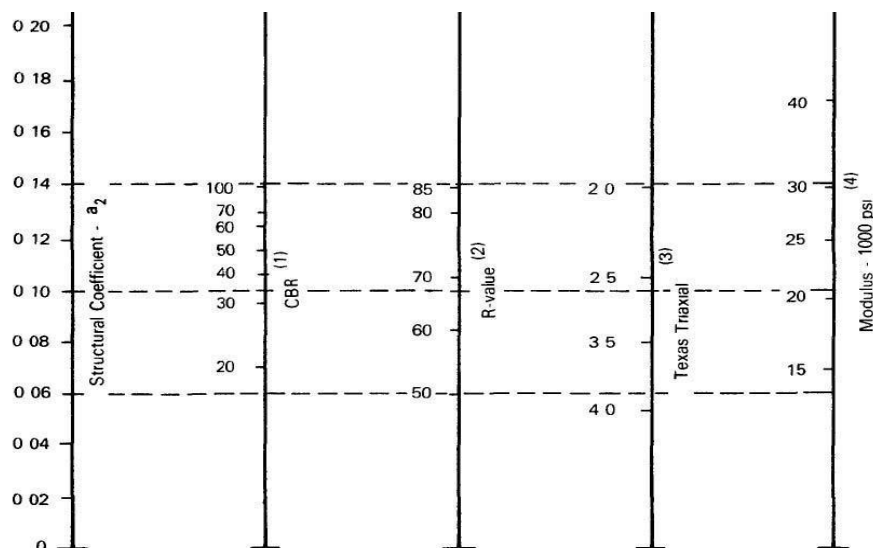


Figura 3. Carta para estimar módulos de bases granulares. AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993. Cap 2

Base estabilizada con cemento.

Para la base estabilizada con cemento se trabaja con un coeficiente de aporte estructural de 0,23 según bibliografía de pavement design guide michigan Carolina del norte 2008 y un módulo elástico típico para bases deterioradas o fisuradas de 100.000 PSI. Ya que una vez fraguada la base granular, las fisuras ocasionadas por la acumulación de esfuerzos causan que el módulo disminuya. También con el fin de ser conservador y garantizar la estabilidad de la estructura.

Tabla 4.

Espesores mínimos para evitar propagación de grietas

País	Estados Unidos	España	Francia
Espesor mínimo de carpeta asfáltica recomendado (cm)	12	12-15	15-23

Material	<i>E típico, deteriorado, psi</i>
Agregados estabilizados con cemento	100.000

Nota. Tomado de Leiva (2005).

Tabla 5.

Carta Para estimar coeficientes estructurales

Coeficientes estructurales (ai)		Referencia
Mezclas asfálticas densas en caliente	0.44	AASHTO (1993)
Bases granulares	0.14	
Subbases granulares	0.11	
Mezclas asfálticas densas en frio	0.34	Manual INVIAS Bajos Volúmenes del tránsito (2007)
Bases tratadas con cemento	0.23	Pavement Design Guide Carolina del Norte (2008)
Bases tratados con emulsión	0.20	Pavement Design Guide Michigan (2012)
Afirmados	0.08	Manual INVIAS Bajos Volúmenes del tránsito (2007)

Nota. Tomado de Leiva (2005).

Sub Base granular.

Para un coeficiente de aporte de 0,11 y de acuerdo con la figura II- 2.7 de la guía AASHTO, dicha relación de soporte se asocia a un módulo resiliente de 16.000 PSI.

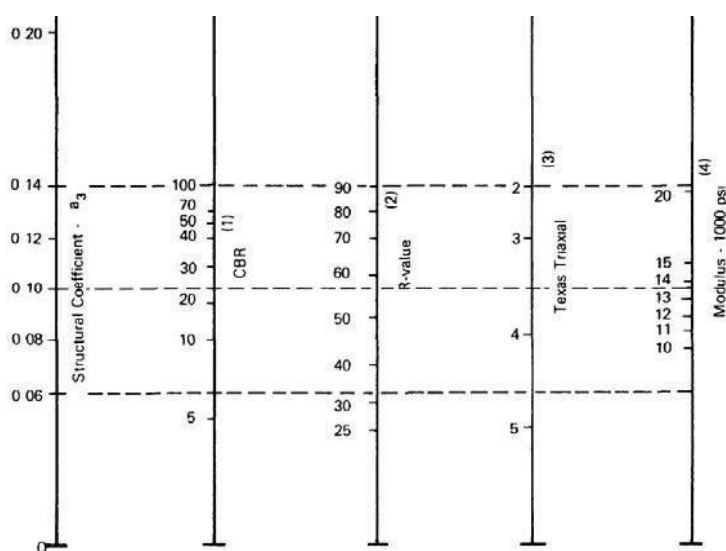


Figura 4. Carta para estimar módulos de sub bases granulares. AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993. Cap 2

5.1.5 Coeficiente de drenaje.

Los coeficientes de drenaje para las capas de base y subbase granular, se seleccionan de acuerdo con las características del material, la calidad del drenaje y el porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximas a la saturación.

Tabla 6.

Tabla para estimar coeficiente de drenaje

CALIDAD DEL DRENAJE	TIEMPO QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA
Excelente	2 Horas
Bueno	1 Día
Regular	1 Semana
Pobre	1 Mes
,Muy malo	El agua no evacua

Nota. Tomado de AASHTO (1993)

Para este caso usaremos:

Tabla 7.

Valores del coeficiente de drenaje

Material	Coeficiente de Drenaje
Mezcla densa en Caliente	1.00
Base granular	0.90
Sub base granular	0.90

Nota. Tomado de AASHTO (1993)

5.1.6. Nivel de confiabilidad, R.

Básicamente, es una medida de incluir algún grado seguridad en el proceso de diseño y que permite asegurar que las alternativas de diseño durarán el período de análisis. En el Cuadro se presentan niveles de confianza recomendados para diferentes tipos de carreteras, y con éste, se determina el valor de la desviación normal estándar (Z_r), con que se desea diseñar el pavimento.

Tabla 8.

Tabla para el cálculo del nivel de confiabilidad

TIPO DE CARRETERA	NIVEL DE CONFIABILIDAD, R (%)	
	Urbana	Interurbana
Autopistas y carreteras importantes	85.0 – 99.9	80.0 – 99.9
Arterias principales	80.0 – 99.0	75.0 – 95.0
Colectoras	80.0 – 95.0	75.0 – 95.0
Locales	50.0 – 80.0	50.0 – 80.0

Nota. Tomado de AASHTO (1993)

Para este caso usaremos:

Tabla 9.

Desviación normal estándar, Z_r .

CONFIABILIDAD. %	DESVIACIÓN NORMAL ESTANDAR, Z_r
50	0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645

96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Nota. Tomado de AASHTO (1993)

EL NIVEL DE CONFIABILIDAD: es del 90 %. A partir de este se determina el valor de la desviación normal estándar Z_r , con que se desea diseñar el pavimento. Para el presente trabajo es $Z_r = -1,282$.

5.1.7 Error normal combinado, S_o .

El error normal combinado, tiene en cuenta el error o desviación del diseño, la variación de las propiedades de los materiales, la variación de las propiedades de la subrasante, la variación en la estimación del tránsito, la variación de las condiciones climáticas y la variación en la calidad de la construcción.

Tabla 10.

Tabla para estimar Error normal combinado.

PROYECTO DE PAVIMENTO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR, S_o
Rango para pavimentos flexibles	0.40 - 0.50
Construcción nueva	0.45
Sobrecapas	0.50

Nota. Tomado de AASHTO (1993)

Para este caso usaremos $S_o = 0,45$

5.1.8 Nivel de serviciabilidad.

El índice de serviciabilidad presente (ΔIPS), tiene en cuenta el comportamiento del pavimento, y queda definido por una calificación de 1 a 5. Para este caso, se parte de un valor inicial de $P_o = 4.2$ y se determina el valor donde ocurre la falla funcional del pavimento $P_t 2.2$, es decir que la pérdida del índice de serviciabilidad es de $\Delta IPS = 4.2 - 2.2 = 2.0$.

Tabla 11.

Tabla para estimar Servicialidad inicial

TIPO PAVIMENTO	SERVICIABILIDAD INICIAL, P_o
Concreto	4.5
Asfalto	4.2

Nota. Tomado de AASHTO (1993)

Tabla 12.

Tabla para estimas Servicialidad final

TIPO DE VÍA	SERVICIABILIDAD FINAL, P_t
Autopista	2.5 – 3.0
Carreteras	2.0 – 2.5
Zonas industriales	
Pavimento urbano principal	1.5 – 2.0
Pavimento urbano secundario	1.5 – 2.0

Nota. Tomado de AASHTO (1993)

5.1.9. Número estructural del pavimento. SN.

El número estructural del pavimento es un número abstracto que representa la resistencia total de un pavimento para unas determinadas condiciones de subrasante, tránsito, índice de servicio y condiciones ambientales.

El número estructural se determina por medio de la expresión general o fórmula básica de la AASHTO, cuando se parte de conocimiento del tránsito de diseño, de las condiciones de

serviciabilidad, de las condiciones ambientales y de la resistencia de la subrasante. La ecuación básica de la AASHTO, para determinar el número estructural es:

Ecuación 1.

$$\log(N) = Z_r \times S_o + 9.36 \times \log(SN + 1) - 0.20 + \left[\frac{\log\left(\frac{\Delta IPS}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1,094}{(SN + 1)^{5.19}}\right)} \right] + 2.32 \times \log(M_r) - 8.07$$

Figura 5. Fórmula para el Cálculo del Número estructural. AASHTO 1993

Donde:

N: Número de ejes equivalentes de 18,000 libras (8.2 toneladas) en el carril de diseño durante el período de diseño.

Z_r: Desviación normal estándar.

S_o: Error normal combinado de la previsión del tránsito y del comportamiento.

IPS: Diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial P_o y final P_t.

M_r: Módulo resiliente de la subrasante (lb/pulg²).

SN: Número estructural indicativo del espesor total del pavimento.

El cálculo del número estructural como se menciona anteriormente, se realiza a través de la ecuación de la guía AASHTO 1993, que en el presente trabajo se estima mediante un programa desarrollado por el ingeniero LUIS RICARDO VASQUEZ VARELA, de la universidad Nacional de Manizales, el cual nos permite con más precisión y facilidad la obtención de dicha variable.

A continuación, se muestra el programa mediante el cual se desarrollaron los cálculos, con las variables obligatorias de ingreso, para que posteriormente nos arroje los valores del número estructural o del tránsito en ejes equivalentes, según lo necesitado por el diseñador.

Figura 6. Programa para el cálculo del número estructural. AASHTO 1993. LUIS RICARDO VASQUEZ VARELA

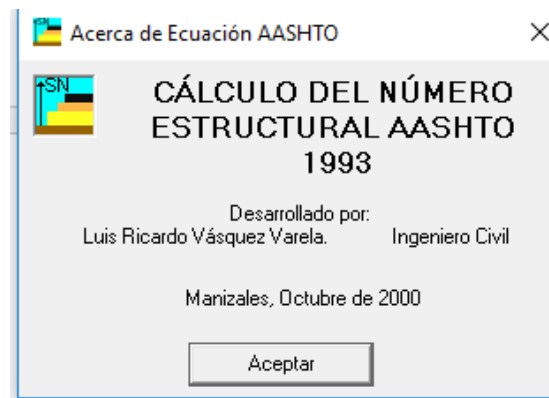


Figura 7. Programa para el cálculo del número estructural. AASHTO 1993. LUIS RICARDO VASQUEZ VARELA

6. Metodología del trabajo

6.1 Tránsito de diseño

Se calcula el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas proyectadas en el carril durante el periodo de diseño. Para este cálculo se realizaron aforos vehiculares.

Para dicha proyección del tránsito se calculó el factor de deterioro para autos, busetas y camiones pequeños obtenidos mediante los respectivos conteos, donde finalmente se obtiene el número de ejes equivalentes con el cual se procede a diseñar.

6.2 CBR de diseño

En el presente punto se realizó el respectivo análisis estadístico para la escogencia del CBR de diseño. Inicialmente se calculó el coeficiente de variación con los datos de CBR obtenidos en campo, con el fin de verificar que tan dispersos se encontraban dichos datos. Al tratarse de tan sólo dos datos de valor de CBR el diseñador decide trabajar con el promedio de los valores.

$$C.V = \frac{\sigma}{\text{PROMEDIO CBR}}$$

Figura 8. Cálculo de coeficiente de variación: RUIS MUÑOZ Y SANCHEZ SÁNCHEZ 2006 – Coeficiente de variación de Pearson

Tabla 13.

Tabla de recomendación de percentil según el Instituto del Asfalto para tomar el CBR de diseño.

Clase de Tránsito	Nivel de tránsito (N)	Valor de diseño %
Liviano	10 ⁴ o menos	60%
Mediano	10 ⁴ - 10 ⁶	75%
Pesado	mayor de 10 ⁶	87,5%

Nota. Capítulo 1 - Aspectos generales. Normas y especificaciones 2012 INVIAS

6.3 Módulo resiliente de la subrasante

Para el cálculo del módulo resiliente de la subrasante, se procedió a la correlación recomendada por AASHTO que se encuentra en función del CBR de la subrasante obtenido mediante el ensayo de laboratorio realizado en campo.

6.4 Coeficientes estructurales y módulos dinámicos de las capas.

6.4.1 Mezcla densa en caliente.

El coeficiente de aporte estructural trabajado se obtuvo teniendo en cuenta las referencias AASHTO. Con este dato entramos a la tabla AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993. Cap 2, donde nos permitió estimar el módulo dinámico.

6.4.2 Base granular.

El coeficiente de aporte estructural trabajado se obtuvo teniendo en cuenta las referencias AASHTO. Con este dato entramos a la Carta de bases granulares. AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993. Cap 2, donde nos permitió estimar el módulo dinámico.

6.4.3 Sub Base granular.

El coeficiente de aporte estructural trabajado se obtuvo teniendo en cuenta las referencias AASHTO. Con este dato entramos a la Carta de subbases granulares. AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993. Cap 2, donde nos permitió estimar el módulo dinámico.

6.5 Coeficiente de drenaje.

Se estimó de acuerdo con la capacidad o el tiempo en que demora la vía para evacuar el agua producto de la lluvia.

6.6 Nivel De Confiabilidad

Es un coeficiente de seguridad que se estimó de acuerdo al nivel de tránsito, que en nuestro caso se trató de un NT1.

6.7 Error normal combinado. So

Se estimó de con acuerdo a la recomendación de la guía AASHTO.

6.8 Nivel de serviciabilidad.

Se estimó de acuerdo a los valores de calificación dados por la guía AASHTO al final y al inicio de la vida útil de la estructura del pavimento.

6.9 Número estructural del pavimento.

Se estima por medio de la ecuación de la metodología AASHTO a partir de todas las variables anteriores. Y es el producto final de la etapa de diseño. A partir de este valor se inicia el cálculo de los espesores finales tanto de carpeta asfáltica como de materiales pétreos.

Esquema de metodología de diseño.

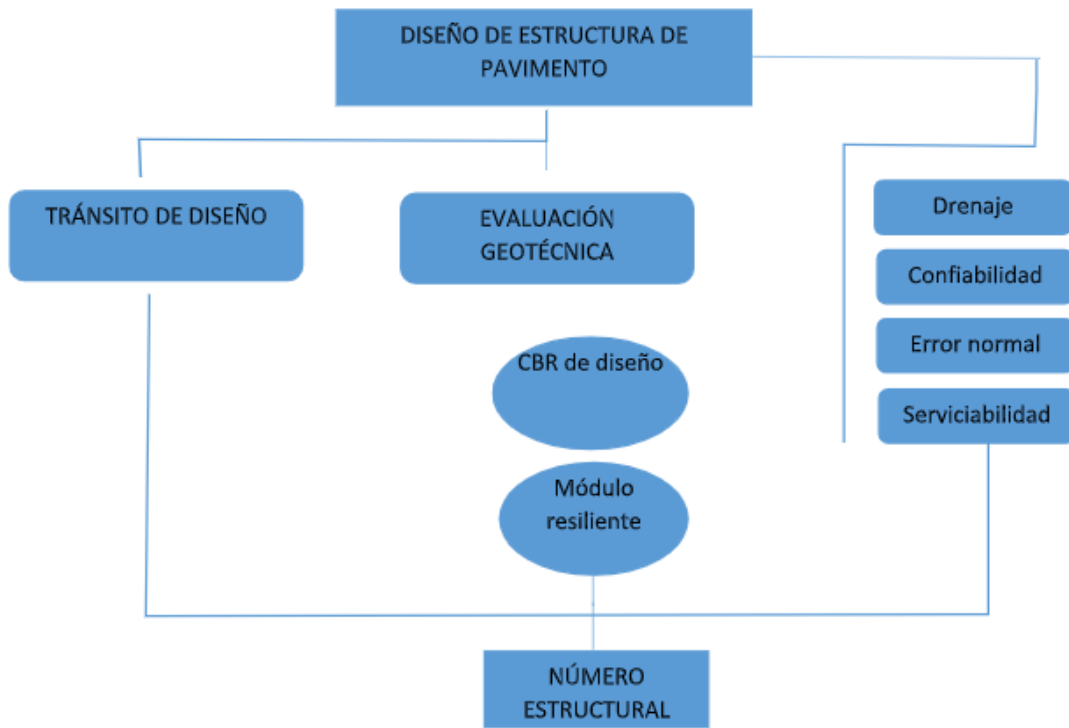


Figura 9. Variables y procedimiento para el cálculo de número estructural y diseño del pavimento

7. Análisis y diseños

7.1 Alternativa con materiales pétreos

Tabla 14.

Parámetros de diseño

Tránsito de diseño.	86.675 ejes
CBR de diseño	6 %
Módulo resiliente de la subrasante.	8043 psi
Módulo de la base granular.	32.000 psi
Módulo de la subbase granular.	16.000 psi
Coefficiente estructural mezcla asfáltica.	0,44
Coefficiente estructural de base granular.	0,14
Coefficiente estructural de subbase granular.	0,11
Coefficiente de drenaje mezcla asfáltica.	1
Coefficiente de drenaje de base granular.	0,9
Coefficiente de drenaje de subbase granular.	0,9
Nivel de confiabilidad	90 %
Error normal combinado.	0,45
Nivel de serviciabilidad.	4,2 – 2,2

Nota. Parámetros para el cálculo de la estructura de pavimento

Tabla 15.

Estructura final de parámetros de diseño

Carpeta asfáltica	8 cms
Base granular	15 cms
Subbase granular	15 cms

Nota. Valores del espesor de las capas de la estructura final.

Figura 10. Cálculo de número estructural mediante programa. LUIS RICARDO VASQUEZ VARELA

7.2 Alternativa de base estabilizada con cemento.

Tabla 16.

Parámetros de diseño

Tránsito de diseño.	86.675 ejes
CBR de diseño	6 %
Módulo resiliente de la subrasante.	8043 psi
Módulo de la base granular.	100.000 psi
Módulo de la subbase granular.	16.000 psi
Coeficiente estructural mezcla asfáltica.	0,44
Coeficiente estructural de base granular.	0,23
Coeficiente estructural de subbase granular.	0,11
Coeficiente de drenaje mezcla asfáltica.	1
Coeficiente de drenaje de base granular.	0,9
Coeficiente de drenaje de subbase granular.	0,9
Nivel de confiabilidad	90 %
Error normal combinado.	0,45
Nivel de serviciabilidad.	4,2 – 2,2

Nota. Parámetros para el cálculo de la estructura de pavimento.

Tabla 17.
Estructura final de Parámetros de diseño

Carpeta asfáltica	8 cms
Base estabilizada con cemento	15 cms

Nota. Valores del espesor de las capas de la estructura final.

Figura 11. Cálculo de número estructural mediante programa. LUIS RICARDO

7.3 Análisis Presupuestal

7.4. Alternativa con materiales pétreos.

Tabla 18.

Cuadro de presupuesto de la alternativa 1.

	SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA
	ANEXO No. 01 AL ACTA DE RECIBO No.
	01

CONDICIONES DEL CONTRATO					
ITEM	DESCRIPCION	UNID.	CANT.	V/R. UNIT.	VR/PARC.
1.	Localización y replanteo	M3	494.00	2,352.00	1,161,888.00
2.	Excavación mecánica	M3	187.72	21,210.00	3,981,541.20
3.	Retiro de sobrantes	M3-KM	244.04	30,671.00	7,484,828.16
4.	Conformación de la subrasante	M2	494.00	1,995.00	985,530.00
5.	Base granular compactada	M3	74.10	134,044.00	9,932,660.40
6.	Subbase granular compactada	M3	74.10	124,279.00	9,209,073.90
7.	Imprimación	M2	494.00	4,779.00	2,360,826.00
8.	Carpeta asfáltica compactada	M3	39.52	799,112.00	31,580,906.24
9.	Sardinél en concreto de 21 Mpa, H=0,40 mts, a=,18 mts	ML	260.00	67,272.00	17,490,720.00
COSTO DIRECTO					84,187,974.00
ADMINISTRACIÓN (20%)					16,837,595.00
IMPREVISTOS (5%)					841,880.00
UTILIDADES (10%)					8,418,797.00
COSTO AIU					26,098,272.00
COSTO TOTAL					110,286,246.00

Nota. Valor total de la construcción de la estructura.

7.5 Alternativa de base estabilizada con cemento.

Tabla 19.

Cuadro de presupuesto de la alternativa 2.

		SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA			
		ANEXO No. 01 AL ACTA DE RECIBO No. 01			
CONDICIONES DEL CONTRATO					
ITEM	DESCRIPCION	UNID.	CANT.	V/R. UNIT.	VR/PARC.

1.	Localización y replanteo	M3	494.00	2,352.00	1,161,888.00
2.	Excavación mecánica	M3	113.62	21,210.00	2,409,880.20
3.	Retiro de sobrantes	M3-KM	147.71	30,671.00	4,530,290.73
4.	Conformación de la subrasante	M2	494.00	1,995.00	985,530.00
5.	Base estabilizada con cemento al 5%	M3	74.10	192,103.00	14,234,832.30
6.	Imprimación	M2	494.00	4,779.00	2,360,826.00
7.	Carpeta asfáltica compactada	M3	39.52	799,112.00	31,580,906.24
8.	Sardinela en concreto de 21 Mpa, H=0,40 mts, a=,18 mts	ML	260.00	67,272.00	17,490,720.00
COSTO DIRECTO					74,754,873.00
ADMINISTRACIÓN (20%)					14,950,975.00
IMPREVISTOS (5%)					747,549.00
UTILIDADES (10%)					7,475,487.00
COSTO AIU					23,174,011.00
COSTO TOTAL					97,928,884.00

Nota. Valor total de la construcción de la estructura.

7.6 Análisis Constructivo

7.6.1 Transporte para cada alternativa de diseño

Tabla 20.

Material a transportar para cada alternativa de estructura.

ALTERNATIVA 1			
ITEM	DESCRIPCION	UNID.	CANT.
5	Base granular compactada	M3	74.10

6	Subbase granular compactada	M3	74.10
8	Carpeta asfáltica compactada	M3	39,52

TOTAL, MATERIAL A TRANSPORTAR	M3	148.20
--------------------------------------	-----------	---------------

ALTERNATIVA 2			
ITEM	DESCRIPCION	UNID.	CANT.
5	Base estabilizada con cemento al 5%	M3	74.10
8	Carpeta asfáltica compactada	M3	39,52

TOTAL, MATERIAL A TRANSPORTAR	M3	74.10
--------------------------------------	-----------	--------------

Teniendo en cuenta que es una vía de tres metros con ochenta centímetros de ancho (3,80 mts), y que geográficamente se encuentra situado en la periferia del municipio de Pamplona en el departamento de Norte de Santander, donde los accesos presentan grandes pendientes, podría implicar posibles problemas con el acarreo de los materiales, tanto de los pétreos como de carpeta asfáltica. De acuerdo a esto, este tipo de proyectos demanda una estrategia de diseño distinta, con el fin de facilitar el método constructivo, de tal manera se pueda poner en función rápidamente la estructura del pavimento.

Teniendo en cuenta que la alternativa 2, de base estabilizada con cemento requiere una cantidad menor de agregados, como se muestra en la tabla anterior, y a su vez presenta una disminución en

el costo total del proyecto. El diseñador, en este caso el estudiante, considera que esta alternativa se ajusta más a las necesidades del proyecto, lo cual optimiza la factibilidad y la fase operativa.

8. Conclusiones

1. La alternativa de base estabilizada con cemento presenta un costo de 97'928.854 y la alternativa convencional un costo de 110'286 246. Siendo la primera 12'357.392 más económica, ya que reduce los costos en un 7, 9%. Y a su vez más factible en cuanto a su fase constructiva.

2. La alternativa de base estabilizada con cemento tiene un total de 74,10 metros cúbicos para transportar al lugar de la obra. En relación con la alternativa 1, es un 50% menor, lo cual la hace más factible y de menos impacto para llevar a cabo su etapa de construcción.

3. En el diseño de la estructura con base estabilizada con cemento, se trabaja con un módulo elástico típico para bases deterioradas o fisuradas de 100.000 PSI. Ya que una vez fraguada la base granular, las fisuras ocasionadas por la acumulación de esfuerzos causan que el módulo disminuya. También con el fin de ser conservador y garantizar la estabilidad de la estructura

4. Las dos alternativas de diseño cumplen a cabalidad la condición del número estructural, lo cual, las dos opciones podrían ejecutarse.

5. Las dos alternativas de diseño se desarrollaron bajo la metodología AASHTO.

6. La alternativa que más se ajusta, teniendo en cuenta la ubicación y accesos del proyecto, es la de base estabilizada con cemento.

7. En las dos alternativas de diseño, Las estructuras formuladas cumplen con los requerimientos de carga y garantizan la disipación de esfuerzos sobre la sub-rasante.

9. Recomendaciones

1. Para la fase constructiva de la alternativa de diseño de base estabilizada con cemento, se recomienda un periodo de mínimo dos días de compactación con vibro compactador antes de ser instalada la carpeta asfáltica. Con el fin de acelerar la etapa de pre fisuración causada por la acumulación esfuerzos emitidos por el cemento, y de esta forma evitar o retardar la propagación de dichas fisuras en la carpeta asfáltica.

2. La mezcla de base tratada con cemento se diseñará con un contenido mínimo del 4% de la masa seca del material por estabilizar. De acuerdo a las especificaciones Invias 2013 Art.351 - Diseño de la mezcla 351.4.1.2

3. La construcción de la alternativa de base estabilizada con cemento debe llevarse a cabo bajo los parámetros establecidos en las especificaciones Invías, artículo 351 – 13.

4. Teniendo en cuenta el tránsito de diseño, se recomienda utilizar para las dos alternativas de diseño, una base granular tipo C. De acuerdo a las especificaciones Invías, artículo 330 – 13. Tabla 330 – 1.

5. Se recomienda garantizar la no afectación por humedad de la sub-rasante, ya que el agua podría alterar el comportamiento físico mecánico de la misma. Donde la estructura quede protegida de la humedad no se presentarán problemas por pérdida de soporte.

6. En toda la vía se debe implementar sistemas de drenaje que protejan la estructura del pavimento de la acción del agua, para de esta manera garantizar la estabilidad de la estructura.

7. Se le debe dar un adecuado confinamiento a cada una de las estructuras construidas para evitar un deterioro prematuro.

12. Referencias Bibliográficas

AASHTO. (1993). *Guide for design of pavement structures*. Washington D.C., Estados Unidos.

Alvares, J., Londoño, C., y otros. (1998)

Higuera, C. (2015). *Nociones sobre métodos de diseño de pavimentos para carreteras*. Boyacá, Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Leiva. (2005). *Pavement design guide michigan*. Carolina del Norte, Estados Unidos

Montejo, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Bogotá D.C., Colombia: Universidad Católica de Colombia.

INVIAS. (1998). *Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito*. Bogotá D.C., Colombia: Instituto Nacional de Vías.

.

PAVEMENT DESIGN GUIDE MICHIGAN Carolina del norte 2008.

Fuente. Datos para estimar el Módulo y espesores de bases granulares estabilizadas con cemento para evitar propagación de grietas. Leiva 2005.

Fuente. Datos para estimar el coeficiente de aporte de bases granulares estabilizadas con cemento. Leiva 2005. Pavement design guide michigan Carolina del norte 2008

RUIS MUÑOZ Y SANCHEZ SÁNCHEZ 2006 – Coeficiente de variación de Pearson