ESTUDIO Y DISEÑO DEFINITIVO PARA LA VIA SIMON BOLIVAR-LORENZO DE GARAICOA, EN EL CANTON SIMON BOLIVAR DE LA PROVINCIA DE GUAYAS

CONSORCIO VIA SIMON BOLIVAR

INFORME DE DISEÑO DE PAVIMENTO

Elaborado por:

Ing. Fernando Cornejo
Especialista Geotécnico

Marzo del 2025

CONTENIDO

1. ANTECEDENTES 6

2. INTRODUCCIÓN 6

3. OBJETIVOS 7

3.1. Objetivo General 7
3.2. Objetivos Específicos 7

4. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA 8

4.1 Calicatas 8

5. ENSAYOS DE LABORATORIO 10

6. DESCRIPCIÓN DE LOS ESTRATOS DE SUELO 11

6.1 TRAMO 1 y TRAMO 2 12
6.2 TRAMO 3 13

7. ESTUDIO DE TRÁFICO 15

8. METODOLOGÍA DE DISEÑO DE PAVIMENTO 15

8.1 Método de diseño AASHTO-93 15
8.2 Método de diseño AASHTO-93 16
8.3 Confiabilidad 17
8.4 Desviación Global 17
8.5 Índice de Servicio 18
8.6 Modulo Resiliente 18
8.6.1 Subbase y Mejoramiento 18
8.6.2 Base Granular 19
8.6.3 Base Mejorada con Asfalto 19
8.6.4 Base Mejorada con pavimento asfáltico reciclado (RAP) y estabilizada con Emulsión Asfáltica 20
8.6.5 Coeficiente de Drenaje 20

9. DISEÑO MÉTODO AASHTO-93 21

9.1 Análisis de Tránsito 21
9.2 Alternativa 1 (Estructura convencional) 23
9.3 Alternativa 2 (Pavimento Reciclado – RAP y Emulsión Asfáltica) 26
9.4 Alternativa 3 (Base Asfalto) 29

10. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA DE PAVIMENTO 31

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 34

11.1 Conclusiones 34

11.2 Recomendaciones 35

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del proyecto 7

Figura 2. Registro Fotográfico Ejecución de las calicatas 9

Figura 3. Distribución en planta de los sondeos a ejecutar. 10

Figura 4. Distribución en planta de calicatas Tramo 1 y 2 14

Figura 5. Distribución en planta de calicatas Tramo 3 14

Figura 6. Ábaco para determinar los parámetros de diseño de la subbase y mejoramiento granular 18

Figura 7. Ábaco para determinar los parámetros de diseño de la base granular 19

Figura 8. Ábaco para determinar los parámetros de diseño de la base mejorada con asfalto 19

Figura 9. a) Estructura de pavimento inicial b) Estructura de pavimento luego de la rehabilitación Alternativa 1 – Tramo 1 25

Figura 10. a) Estructura de pavimento inicial b) Estructura de pavimento luego de la rehabilitación Alternativa 1 – Tramo 2 26

Figura 11. a) Estructura de pavimento inicial b) Estructura de pavimento luego de la rehabilitación Alternativa 2 – Tramo 1 28

Figura 12. a) Estructura de pavimento inicial b) Estructura de pavimento luego de la rehabilitación Alternativa 2 – Tramo 2 28

Figura 13. a) Estructura de pavimento inicial b) Estructura de pavimento luego de la rehabilitación Alternativa 3 – Tramo 1 31

Figura 14. a) Estructura de pavimento inicial b) Estructura de pavimento luego de la rehabilitación Alternativa 3 – Tramo 2 31

Figura 15. Estructura de pavimento para el Tramo 1 a) Inicial b) Rehabilitada 35

Figura 16. Estructura de pavimento para el Tramo 2 a) Inicial b) Rehabilitada 35

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de Proyecto (UTM WGS84) 6

Tabla 2. Ubicación y profundidad de calicatas ejecutadas 8

Tabla 3. Porcentaje máximo del contenido de finos 12

Tabla 4. Porcentaje permitidos para los límites líquido y plástico 12

Tabla 5. Resultados de los promedios de los parámetros geotécnicos para el Tramo 1 y Tramo 2 12

Tabla 6. Resultados de los promedios de los parámetros geotécnicos para el Tramo 3 . 13

Tabla 7. Proyección del Tráfico (Informe de Tráfico) 15

Tabla 8. Factor de distribución por carril 17

Tabla 9. Valores de confiabilidad, según su funcionalidad 17

Tabla 10. Coeficiente de drenaje 20

Tabla 11. Factor de daño equivalente 22

Tabla 12. Determinación de los ESAL's para 10 y 20 años 23

Tabla 13. Parámetros de diseño de la Alternativa 1 – Tramo 1 24

Tabla 14. Determinación de espesores de pavimento Alternativa 1 – Tramo 1 – 10 años 24

Tabla 15. Determinación de espesores de pavimento Alternativa 1 – Tramo 1 – 20 años 24

Tabla 16. Parámetros de diseño de la Alternativa 1 – Tramo 2 24

Tabla 17. Determinación de espesores de pavimento Alternativa 1 – Tramo 2 – 10 años 25

Tabla 18. Determinación de espesores de pavimento Alternativa 1 – Tramo 2 – 20 años 25

Tabla 19. Parámetros de diseño de la Alternativa 2 – Tramo 1 26

Tabla 20. Determinación de espesores de pavimento Alternativa 2 – Tramo 1 – 10 años 27

Tabla 21. Determinación de espesores de pavimento Alternativa 2 – Tramo 1 – 20 años 27

Tabla 22. Parámetros de diseño de la Alternativa 2 – Tramo 2 27

Tabla 23. Determinación de espesores de pavimento Alternativa 2 – Tramo 2 – 10 años 27

Tabla 24. Determinación de espesores de pavimento Alternativa 2 – Tramo 2 – 20 años 28

Tabla 25. Parámetros de diseño de la Alternativa 3 – Tramo 1 29

Tabla 26. Determinación de espesores de pavimento Alternativa 3 – Tramo 1 – 10 años 29

Tabla 27. Determinación de espesores de pavimento Alternativa 3 – Tramo 1 – 20 años 30

Tabla 28. Parámetros de diseño de la Alternativa 3 – Tramo 2 30

Tabla 29. Determinación de espesores de pavimento Alternativa 3 – Tramo 2 – 10 años 30

Tabla 30. Determinación de espesores de pavimento Alternativa 3 – Tramo 2 – 20 años 30

Tabla 31. Costo por metro lineal – Alternativa 1 – Tramo 1 32

Tabla 32. Costo por metro lineal – Alternativa 1 – Tramo 2 32

Tabla 33. Costo por metro lineal – Alternativa 2 – Tramo 1 32

Tabla 34. Costo por metro lineal – Alternativa 2 – Tramo 2 32

Tabla 35. Costo por metro lineal – Alternativa 3 – Tramo 1 33

Tabla 36. Costo por metro lineal – Alternativa 3 – Tramo 2 33

Tabla 37. Parámetros de selección de alternativas 33

1. ANTECEDENTES

El Gobierno Provincial del Guayas, ante la necesidad de mejorar la red vial de la provincia, requiere realizar los estudios para la rehabilitación de la vía Simón Bolívar – Lorenzo de Garaicoa, ubicada en el cantón Simón Bolívar, Provincia del Guayas.

El alcance del presente estudio tiene como finalidad presentar todos los diseños que sean necesarios para la rehabilitación de la vía, en la que destacan el diseño geotécnico de la cimentación de obras de arte mayor y menor, estabilidad de taludes y riberas, diseño de pavimentos y selección de fuentes de materiales. En el siguiente documento se describe en detalle las alternativas de pavimento y la selección de la alternativa óptima para el tiempo de vida útil.

2. INTRODUCCIÓN

El proyecto se ubica en la provincia del Guayas, cantón Simón Bolívar, actualmente la vía cuenta con una longitud de 9.17km y conecta la Cabecera Cantonal de Simón Bolívar con la Cabecera Parroquial de Lorenzo de Garaicoa.

La vía posee una calzada tipo pavimiento asfáltico, está compuesta por dos carriles (1 en cada sentido) y en la actualidad el mismo se encuentra en malas condiciones. Hacia el final de la vía se encuentra un puente que cruza el subafluente del río Los Amarillos, este posee una longitud aproximada de 13.00 m y un ancho total de 7.50 m, de los cuales 6.10 m son de calzada para la circulación vehicular, y a los costados cuenta con 0.70 m de acera la circulación de peatones. La ubicación del proyecto se puede apreciar en la Figura 1 y en la Tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas de Proyecto (UTM WGS84)

Descripción		**Coordenadas**		**Abscisa**
		Este	**Norte**	
Vía Simón Bolívar – Lorenzo de Garaicoa				
Vía	Inicio	669145,499	9’778.524,009	0+000
	Fin	674470,468	9’772.140,571	9+172.17
Puente Los Amarillos	Inicio	674.635	9’772.317	8+928
	Fin	674.627	9’772.307	8+940

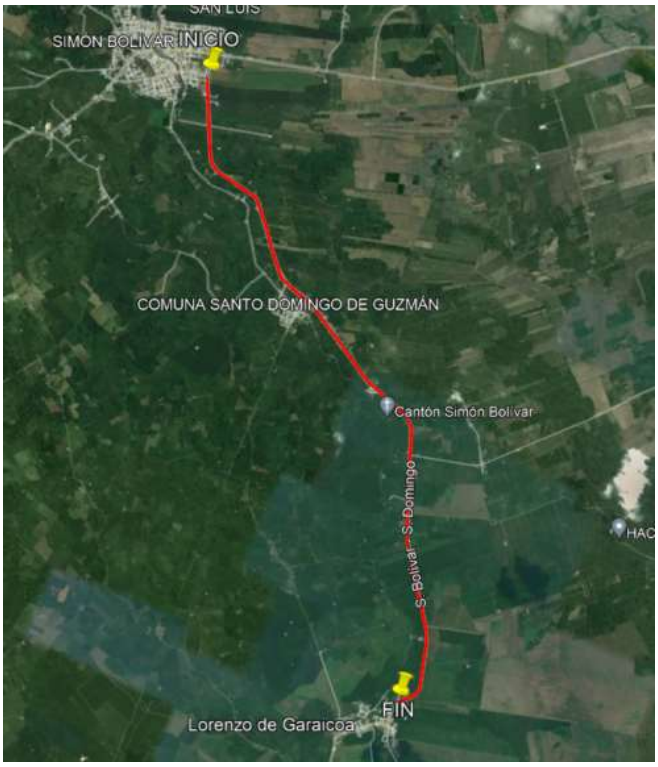


Figura 1. Ubicación del proyecto

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

- Diseñar la estructura de pavimento óptima para la zona de estudio con un periodo de vida útil de 10 años y luego de una intervención en la capa de rodadura se extienda a 20 años, tomando en cuenta criterios técnicos, económicos y constructivos.

3.2. Objetivos Específicos

- Definir la demanda vehicular que tendrá que soportar la estructura de pavimento tomando en cuenta el informe de tránsito.
- Por medio de la campaña de exploración realizada definir las características de la subrasante en la que se asentará la estructura de pavimento.
- Diseñar 3 alternativas de estructura de pavimento, considerando una con estructura convencional y dos con base mejoradas con cemento o asfalto, por medio del Método AASHTO-93.
- Seleccionar la mejor alternativa de diseño, tomando en cuenta aspectos técnicos, económicos y constructivos.
- Realizar recomendaciones constructivas.

4. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

En el informe de estudio de suelo se describe a detalle los trabajos de campo y laboratorio realizados en la zona del proyecto, sin embargo, se presenta un pequeño resumen de la campaña de exploración que servirán para los análisis y diseños que son concernientes al presente informe

4.1 Calicatas

Para realizar la investigación del subsuelo del área de estudio se emplearon métodos de exploración directa mediante calicatas de por lo menos 1.50 m de profundidad. En cada calicata se tomaron muestras representativas de los materiales y para determinar en campo el módulo de elasticidad de los geomateriales se empleó el uso del Geoguage, para las mediciones se emplearon valores de Poisson variables de acuerdo al tipo de suelo (entre 0.25 a 0.45). Este tipo de excavación tiene como ventaja que permite una visualización directa del contacto entre materiales. En la próxima tabla se muestra la ubicación de las calicatas realizadas.

Tabla 2. Ubicación y profundidad de calicatas ejecutadas

Calicata	Sitio de Ejecución	Coordenadas		Prof. Nivel freático [m]	Prof. Calicata [m]
		Este	Norte		
Calicatas realizadas para la vía Simón Bolívar – Lorenzo de Garaicoa					
C-01	Vía	669.133	9’778.553	*	1.85
C-02	Vía	669.338	9’778.100	*	1.85
C-03	Terreno natural	669.587	9’777.618	*	1.70
C-04	Vía	670.070	9’777.432	*	1.60
C-05	Vía	670.435	9’777.260	*	1.60
C-06	Terreno natural	670.737	9’776.865	*	1.70
C-07	Vía	671.111	9’776.529	*	1.65
C-08	Vía	671.568	9’776.374	*	1.66
C-09	Terreno natural	672.033	9’776.101	*	1.57
C-10	Vía	672.425	9’775.853	*	1.60
C-11	Vía	672.885	9’775.676	*	1.62
C-12	Terreno natural	673.290	9’775.411	*	1.70
C-13	Vía	673.484	9’774.951	*	1.60
C-14	Vía	673.654	9’774.381	*	1.57
C-15	Terreno natural	673.860	9’774.021	*	1.60
C-16	Vía	674.153	9’773.616	*	1.65
C-17	Vía	674.450	9’773.216	*	1.67
C-18	Terreno natural	674.626	9’772.775	*	1.65
C-19	Vía	674.602	9’772.268	*	1.72

*: No se registró

En las siguientes fotos es posible apreciar la evidencia de las calicatas ejecutadas.

Figura 2. Registro Fotográfico Ejecución de las calicatas

En la Figura 3 se puede observar la distribución vista en planta de los sondeos a realizados en el área del proyecto, de color amarillo se encuentran las calicatas y de color azul las perforaciones

Figura 3. Distribución en planta de los sondeos a ejecutar.

5. ENSAYOS DE LABORATORIO

Las muestras recuperadas de las calicatas se llevaron al Laboratorio de Suelos, en donde se desarrollan pruebas para la identificación y clasificación, tales como:

- Humedad Natural
- Gradación por Tamices
- Límites de Atterberg

Las Normas utilizadas para la ejecución de los ensayos son las siguientes:

- D1140-00(2006) Standard Test Methods for Amount of Material in Soils Finer than No. 200 (75-m) Sieve
- D4318-05 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
- D2487-06 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)
- D420-98(2003) Standard Guide to Site Characterization for Engineering, Design, and Construction Purposes.
- D5434-03 Standard Guide for Field Logging of Subsurface Explorations of Soil and Rock.

6. DESCRIPCIÓN DE LOS ESTRATOS DE SUELO

Una vez obtenidos los resultados de laboratorio se procede a realizar la descripción de los estratos de suelo del sitio explorado.

Inicialmente, se realizó un reconocimiento de la estructura del asfalto a partir de las calicatas ejecutadas, a continuación, se describen los estratos encontrados en el subsuelo desde la calicata C-01 (669.133 E, 9’778.553 N) hasta la C-06 (670.737 E, 9’776.865 N):

- Se identificó una capa de rodadura de pavimento asfáltico con espesores que varían entre 4 cm y 7 cm.

- Se identifica un material gravoso de color gris con espesores que oscilan entre 0.15 m y 0.19 m el cual forma parte de la base del pavimento, tiene un Módulo de Young (Y) que toma valores desde 36 MPa hasta 53 MPa.

- Continuando en profundidad se empieza a distinguir la subrasante desde los 0.30 m hasta los 1.85 m. Este material es una arcilla color café cuenta con un Módulo de Young promedio (Y) que oscila entre los valores de 20 MPa y 37 MPa.

Continuando en longitud desde la calicata C-07 (671.111 E, 9’776.529 N) hasta la C-19 (674.602 E, 9’772.268 N) se distinguieron las siguientes capas de materiales:

- Se identificó una capa de rodadura de pavimento asfáltico con espesores que varían entre 4 cm y 10 cm.

- De manera superficial (base) se identifica una grava con un espesor promedio de 0.45 m de profundidad la cual posee un Módulo de Young (Y) cuyo valor ronda entre los 80 MPa y 110 MPa.

- Como parte de la subrasante se identifica un material arcilloso (CH). Esta capa presenta un Módulo de Young promedio (Y) que tiene valores variables entre 30 MPa y 60 MPa.

El material existente bajo la capa de rodadura se lo analizará comparando los parámetros de Porcentaje de finos, Límite Líquido e Índice Plástico con los valores indicados en las Especificaciones del MTOP para materiales de Base, Subbase y material de mejoramiento con suelo seleccionado.

Los máximos porcentajes permitidos para cumplir con las especificaciones técnicas nacionales para la construcción de vías para las diferentes capas de pavimentos con respecto al porcentaje de finos en la Tabla 3 y con respecto al límite líquido y plástico se indican en la Tabla 4.

Tabla 3. Porcentaje máximo del contenido de finos

Estructura de Pavimento	Contenido de Finos
Base	12%-15%
Subbase	15%-20%
Material de Mejoramiento	20%

Tabla 4. Porcentaje permitidos para los límites líquido y plástico

Estructura de Pavimento	Límite Líquido	Índice Plástico
Base	25%	6%
Subbase	25%	6%
Material de Mejoramiento	35%	9%

6.1 TRAMO 1 y TRAMO 2

El tramo 1 comprende desde el inicio del proyecto en la abscisa 0+000 hasta el 1+900 el tramo 2 desde el 1+900 hasta antes de llegar a la intersección en la abscisa 2+940, para caracterizar este tramo se utilizó la información desde la calicata 1 hasta la calicata 6 debido a que se identificó una variación considerable entre los datos obtenidos de este conjunto de calicatas con las otras. En este conjunto de calicatas se obtuvo la siguiente información:

Tabla 5. Resultados de los promedios de los parámetros geotécnicos para el Tramo 1 y Tramo 2

Calicata	SUCS	Estrato	Espesor [m]	Contenido de finos	Límite Líquido	Índice Plástico	E [MPa]
C-01	GP-GM	Estrato 1	0.14	8.1	N.P.	N.P.	53
	CH	Estrato 2	1.61	98.9	64	40	36
C-02	GW-GM	Estrato 1	0.15	7.5	N.P.	N.P.	45
	CH	Estrato 2	1.60	98.8	65	42	33
C-03	CH	Estrato 1	0.30	97.6	75	47	25
	SC	Estrato 2	1.00	42.4	38	18	33
	CH	Estrato 3	0.40	85.4	65	42	50
C-04	SP-SM	Estrato 1	0.16	9.0	N.P.	N.P.	36
	CH	Estrato 2	1.40	98.8	70	37	31
C-05	GP	Estrato 1	0.21	3.9	N.P.	N.P.	50
	CH	Estrato 2	1.35	98.5	73	43	20
C-06	SM	Estrato 1	0.25	40.7	38	10	27
	SP	Estrato 2	1.45	3.8	N.P.	N.P.	40

Para el estrato 1 o estrato superficial el cual se encuentra bajo la capa de rodadura, de acuerdo con los resultados de laboratorio se encontró que es un material gravoso mal graduado con finos (GP-GM) no plástico con un contenido de finos inferior al 10% con un

espesor promedio de 0.15 m, por lo que por estos parámetros el material cumple para cualquier material de la estructura de pavimento. Sin embargo, el Módulo de Young (Y) oscilan entre valores de 35 y 53 MPa teniendo de promedio un valor de 46 MPa (6672 psi) el cual es inferior al requerido para un material de mejoramiento el cual corresponde a 90 MPa (13000 psi), por lo que este material no cumple con los criterios mínimos de material de mejoramiento.

El material de la subrasante (estrato 2) está conformada en su mayoría por una arcilla de alta plasticidad (CH), con un contenido de finos superior al 90%, límite líquido aproximado del 70% y un índice plástico promedio del 40%. El módulo de Young (Y) se encuentra en el orden de 20 MPa a 37 MPa con un valor promedio de 32MPa.

6.2 TRAMO 3

El tramo 3 comprende desde la intersección en la abscisa 2+940 hasta el final de la vía en la abscisa 9+172, para caracterizar este tramo se utilizó la información desde la calicata 7 hasta la calicata 19. En este conjunto de calicatas se obtuvo la siguiente información:

Tabla 6. Resultados de los promedios de los parámetros geotécnicos para el Tramo 3

Calicata	SUCS	Estrato	Espesor [m]	Contenido de finos	Límite Líquido	Índice Plástico	E [MPa]
C-07	GW-GM	Estrato 1	0.37	5.3	N.P.	N.P.	98
	CH	Estrato 2	0.60	95.4	71	33	52
	SM	Estrato 3	0.60	14.5	N.P.	N.P.	51
C-08	GP-GM	Estrato 1	0.32	5.8	N.P.	N.P.	104
	CH	Estrato 2	0.47	93.5	68	38	68
	MH	Estrato 3	0.81	80.4	60	29	41
C-09	GW-GM	Estrato 1	0.50	6.5	N.P.	N.P.	46
	MH	Estrato 2	0.97	87.8	59	29	39
C-10	GP-GM	Estrato 1	0.66	5.8	N.P.	N.P.	99
	CH	Estrato 2	0.58	96.1	70	41	46
C-11	GP-GM	Estrato 1	0.44	16.5	N.P.	N.P.	94
	CH	Estrato 2	1.13	92.6	67	40	42
C-12	GP-GM	Estrato 1	0.65	4.8	N.P.	N.P.	95
	CH	Estrato 2	1.05	96.7	88	56	32
C-13	GP	Estrato 1	0.39	3.5	N.P.	N.P.	88
	CH	Estrato 2	1.17	99.2	76	48	47
C-14	GM	Estrato 1	0.50	22.2	N.P.	N.P.	98
	CH	Estrato 2	1.02	95.6	61	35	44
C-15	CH	Estrato 1	1.60	93.6	68	41	31
C-16	GM-GP	Estrato 1	0.36	6.3	N.P.	N.P.	92
	SM	Estrato 2	1.23	21.1	N.P.	N.P.	60
C-17	GM-GW	Estrato 1	0.37	8.7	N.P.	N.P.	113
	CH	Estrato 2	1.25	97.8	72	44	44
C-18	GM	Estrato 1	0.57	12.3	N.P.	N.P.	32
	CH	Estrato 2	1.06	97.5	73	45	43
C-19	GP	Estrato 1	0.39	2.7	N.P.	N.P.	78

	CH	Estrato 2	1.23	98.8	75	43	45

Para el estrato 1 o estrato superficial el cual se encuentra bajo la capa de rodadura, de acuerdo con los resultados de laboratorio se encontró que es un material gravoso mal graduado con finos (GP-GM) no plástico con un contenido de finos inferior al 10% a excepción de la calicata 11 y calicata 14 en las cuales presentan un porcentaje de 16.5% y 22.2% respectivamente, este estrato tiene un espesor promedio de 0.45 m. Si vemos la Tabla de parámetros mínimos vemos que en la calicata 14 se está excediendo solo un 2.2% del límite de porcentaje de fino. El Módulo de Young (Y) oscilan entre valores de 75 MPa a 110 MPa teniendo de promedio un valor de 94.3 MPa (13.674 psi), el cual es superior al requerido para un material de mejoramiento, por lo que este material se considera que cumple con los criterios mínimos para ser considerado como material de préstamo importado.

El material de la subrasante (estrato 2) está conformada en su mayoría por una arcilla de alta plasticidad (CH), con un contenido de finos superior al 90%, límite líquido que oscila entre valores de 59% y 88% y un índice plástico entre valores de 29% y 56%. El módulo de Young (Y) se encuentra en el orden de 31 MPa a 60 MPa con un valor promedio de 44.1MPa.

Figura 4. Distribución en planta de calicatas Tramo 1 y 2

Figura 5. Distribución en planta de calicatas Tramo 3

7. ESTUDIO DE TRÁFICO

En conformidad con el Estudio de Tráfico en el que se estimó la proyección del mismo para un periodo de 10 y 20 años para el proyecto en mención se muestran en la Tabla 7. Los detalles de la estimación de las tasas de crecimiento y cálculos del TPDA actual se encuentran en el informe de Tráfico del estudio.

Tabla 7. Proyección del Tráfico (Informe de Tráfico)

AÑO	No	LIVIANOS	Crec. (%)	BUSES	Crec. (%)	CAMIONES	Crec. (%)	TOTAL
2024	0	809	3,87%	27	1,73%	203	0,80%	1040
2025	1	840	3,76%	28	1,70%	207	2,40%	1075
2026	2	871	3,65%	28	1,67%	211	1,90%	1110
2027	3	902	3,54%	29	1,64%	214	1,80%	1145
2028	4	934	3,44%	29	1,62%	217	1,68%	1180
2029	5	965	3,34%	30	1,59%	220	1,68%	1215
2030	6	997	3,24%	30	1,57%	224	1,68%	1250
2031	7	1028	3,14%	30	1,54%	227	1,68%	1286
2032	8	1060	3,05%	31	1,52%	230	1,68%	1321
2033	9	1092	2,96%	31	1,50%	234	1,68%	1357
2034	**10**	1123	2,87%	32	1,47%	237	1,68%	1393
2035	11	1155	2,79%	32	1,45%	241	1,68%	1428
2036	12	1187	2,70%	33	1,43%	245	1,68%	1464
2037	13	1218	2,63%	33	1,41%	248	1,68%	1500
2038	14	1250	2,55%	34	1,39%	252	1,68%	1535
2039	15	1281	2,47%	34	1,37%	256	1,68%	1571
2040	16	1312	2,40%	35	1,35%	260	1,68%	1606
2041	17	1343	2,33%	35	1,34%	264	1,68%	1642
2042	18	1374	2,27%	36	1,32%	267	1,68%	1677
2043	19	1404	2,20%	36	1,30%	272	1,68%	1712
2044	**20**	1435	2,14%	37	1,28%	276	1,68%	1747

8. METODOLOGÍA DE DISEÑO DE PAVIMENTO

8.1 Método de diseño AASHTO-93

El procedimiento actual de diseño AASHTO-93, versión 1993, que está basado en la ecuación original de la AASHTO que data de 1961, producto de las pruebas en Ottawa, Illinois, con tramos a escala natural y para todo tipo de pavimentos. La versión de 1986 y la actual de 1993 se han modificado para incluir factores o parámetros de diseño que no habían sido considerados y que son producto de la experiencia adquirida por ese organismo entre el método original y su versión más moderna.

El diseño se basa primordialmente en identificar o encontrar un “número estructural SN” para el pavimento flexible que pueda soportar el nivel de carga solicitado. Para determinar el número estructural SN requerido, el método proporciona la ecuación general que involucra los siguientes parámetros.

$$log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_O + 9,36 * log_{10}(SN + 1) - 0.20 + log_{10}\left(\frac{\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}}{\frac{0.40 + 1094}{(SN+1)^{5.19}}}\right) + 2,32. - log_{10}(M_R) - 8.07$$

Donde:

W_{18} = Tránsito en ejes equivalentes para el periodo de diseño seleccionado.

Z_R = Parámetro de confiabilidad acorde a la clasificación funcional de la vía.

S_O = Desviación estándar global.

SN = Número estructural.

ΔPSI = La variación entre los índices de serviciabilidad inicial y final.

M_R = Módulo de resiliencia efectivo del material usado para la subrasante.

Para la obtención de los ESAL's de diseño se empleó el Método de Riguroso, el mismo que requiere el uso de los factores camión para cada clase individual de vehículos, para lo cual se utilizará el método de la cuarta potencia. Con los datos del Tráfico promedio diario y la distribución de pesos determinados por la NEVI 12 del MTOP, se obtendrán los ESAL's diarios correspondientes para el año 2033 y el año 2043.

8.2 Método de diseño AASHTO-93

Para el cálculo del tránsito, el método actual contempla los ejes equivalentes sencillos de 8.2 ton. Acumulados durante el período de diseño, por lo que no ha habido grandes cambios con respecto a la metodología original de AASHTO. Solamente se aconseja que para fines de diseño en "etapas o fases" se dibuje una gráfica donde se muestre año con año, el crecimiento de los ejes acumulados (ESAL's) vs tiempo, en años, hasta llegar al fin del período de diseño o primera vida útil del pavimento. La ecuación siguiente puede ser usada para calcular el parámetro del tránsito W18 en el carril de diseño.

$$W_{18} = D_D * D_L * W_{18}$$

Donde:

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

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

Tabla 8. Factor de distribución por carril

N° CARILLES EN CADA SENTIDO	% DE W_{18} EN EL CARRIL DE DISEÑO
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4 o más	50 – 75

Para el proyecto en estudio, se ha considerado un factor de distribución direccional del 50% y un factor de distribución por carril del 100%.

8.3 Confiabilidad

A través del parámetro de Confiabilidad “R”, se trata de llegar a cierto grado de certeza con el método de diseño, para asegurar que las diversas alternativas de la sección estructural que se obtengan, durarán como mínimo el período de diseño. Se consideran posibles variaciones en las predicciones del tránsito en ejes acumulados y en el comportamiento de la sección diseñada.

El actual método AASHTO para el diseño de la sección estructural de pavimentos flexibles, recomienda valores desde 50 y hasta 99.9 para el parámetro “R” de confiabilidad, con diferentes clasificaciones funcionales, notándose que los niveles más altos corresponden a obras que estarán sujetas a un uso intensivo, mientras que los niveles más bajos corresponden caminos locales y secundarios.

Tabla 9. Valores de confiabilidad, según su funcionalidad

CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	NIVEL RECOMENDADO POR AASHTO
Carretera Interestatal o Autopista	80 – 99.9
Red Principal o Federal	75 – 95
Red Secundaría o Estatal	75 – 95
Red Rural o Local	50 – 80

Para el proyecto en estudio, se ha considerado un nivel de confiabilidad del **85%**, por tratarse de una red secundario con un alto tránsito vehicular.

8.4 Desviación Global

Parámetro ligado con la Confiabilidad (R), descrita en la Tabla 9; habiéndolo determinado, en este paso deberá seleccionarse un valor SO “Desviación Estándar Global”, representativo de condiciones locales particulares, que considera posibles variaciones en el comportamiento del pavimento y en la predicción del tránsito.

Valores de “SO” en los tramos de prueba de AASHTO no incluyeron errores en la estimación del tránsito; sin embargo, el error en la predicción del comportamiento de las secciones en tales tramos fue de 0,25 para pavimentos rígidos y 0.35 para los flexibles, lo

que corresponde a valores de la desviación estándar total debidos al tránsito de 0.35 y 0.45 para pavimentos rígidos y flexibles respectivamente.

8.5 Índice de Servicio

El Índice de Suficiencia de un pavimento se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. Así se tiene un Índice de Suficiencia presente PSI mediante el cual el pavimento es calificado entre 0 y 5. En el diseño de pavimento se debe elegir el índice de servicio inicial (Po) y final (Pt), Po, Es función del diseño de pavimento y de la calidad de construcción; Pt, Es función de la categoría del camino y es adaptada a ésta y al criterio del proyectista.

Índice de Servicio Inicial (Po)

Po = 4.2 para Pavimentos Flexibles

Índice de Servicio Final (Pt)

Pt = 2.00 a 2.5 Donde: 2.5 Para Pavimento Flexible

Por lo tanto, tomamos un PSI inicial de acuerdo a lo establecido por la normativa AASHTO que es de Po=4.2 y un valor PSI final de Pt=2.5 por ser una vía que se proyecta tendrá un valor alto de tráfico destinada a la construcción. Teniendo un valor de ΔPSI igual a 1.7.

8.6 Modulo Resiliente

8.6.1 Subbase y Mejoramiento

Para la subbase y el mejoramiento se empleó el siguiente ábaco, considerando un CBR del orden del 30% para la subbase y de 20% para el mejoramiento.

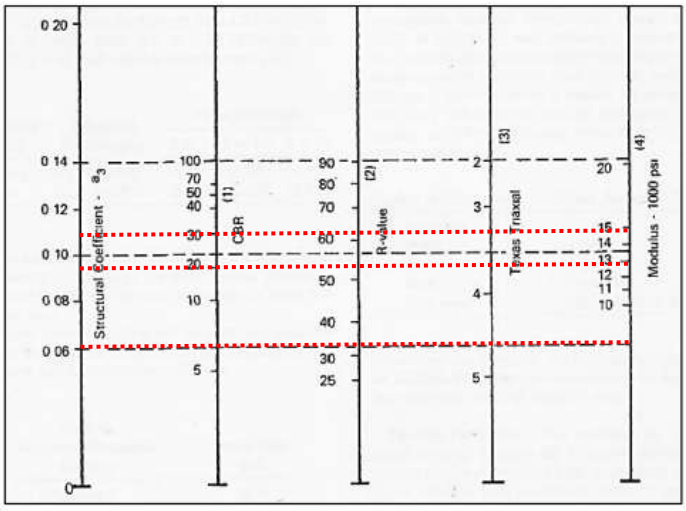


Figura 6. Ábaco para determinar los parámetros de diseño de la subbase y mejoramiento granular

8.6.2 Base Granular

Para determinar el coeficiente de capa y el módulo resiliente de la base granular se emplea el siguiente ábaco, la consideración es que se utilice un material de base clase 1A con CBR del orden >= a 0 80% que son los valores que se obtendrían a nivel local.

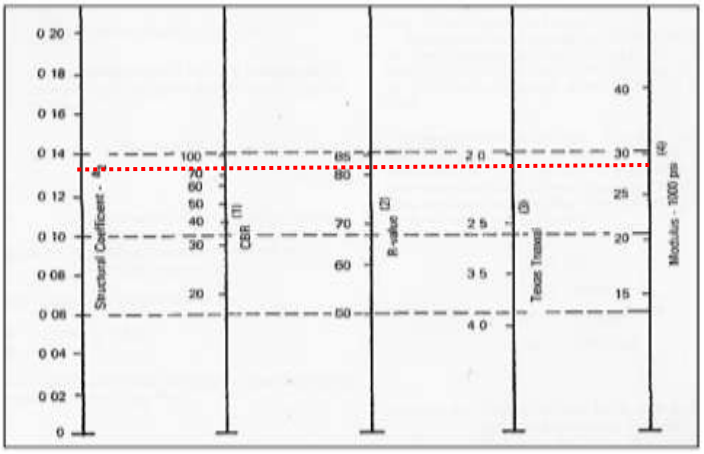


Figura 7. Ábaco para determinar los parámetros de diseño de la base granular

8.6.3 Base Mejorada con Asfalto

Para determinar el coeficiente de capa y el módulo resiliente de la base mejorada con asfalto se emplea el siguiente ábaco, la consideración es que esta mezcla tenga una estabilidad Marshall mínima de 700 lb.

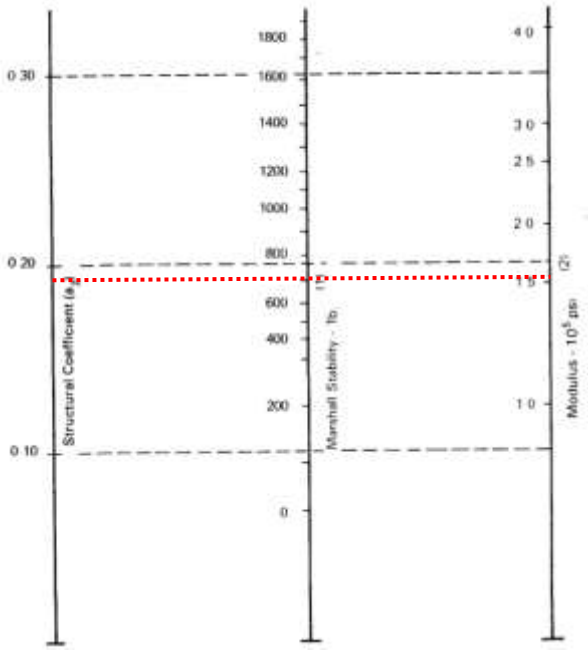


Figura 8. Ábaco para determinar los parámetros de diseño de la base mejorada con asfalto

8.6.4 Base Mejorada con pavimento asfáltico reciclado (RAP) y estabilizada con Emulsión Asfáltica

Comprende una mezcla en frio con el material reciclado (RAP) y una base granular en una proporción 70/30 respectivamente, con un 2% de emulsión asfáltica y agua para facilitar el proceso de compactación, para determinar el coeficiente de capa y el módulo resiliente de la base mejorada con pavimento asfáltico reciclado (RAP), se toma el mismo criterio utilizado para la base mejorada con cemento asfáltico tal como lo recomiendo la Guía de Diseño AASTHO-93

8.6.5 Coeficiente de Drenaje

En la evaluación del coeficiente de drenaje se establece primeramente la calidad de drenaje que se tendrá por las características de la base, realizando estudios de permeabilidad y calculando entonces el tiempo requerido para drenar el 50% del agua de la capa. El tiempo asumido por la calidad de la base es de una semana por lo que se califica como buen drenaje según la metodología AASHTO.

Luego se estimó el porcentaje de tiempo que la estructura estará expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación, obteniéndose el factor de drenaje a partir de los cuadros que se muestran a continuación:

Tabla 10. Coeficiente de drenaje

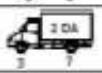
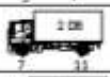
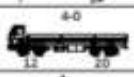
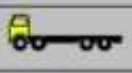
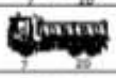
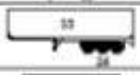
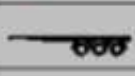
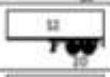
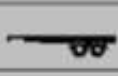
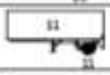
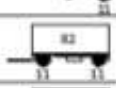
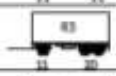
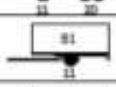
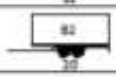
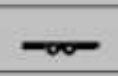
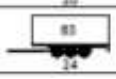
CARACTERÍSTICAS DEL DRENAJE	AGUA EVACUADA EN (TIEMPO)	PORCENTAJE DE TIEMPO EN EL AÑO, QUE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ESTA EXPUESTA A UN NIVEL DE HUMEDAD			
		< 1%	1% - 5%	5% - 25%	>25%
EXCELENTE	2 HORAS	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
BUENO	1 DÍA	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
REGULAR	1 SEMANA	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
POBRE	1 MES	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
MUY MALO	NO DRENA	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

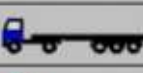
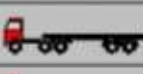
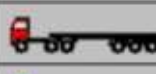
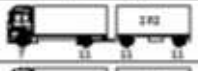
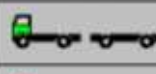
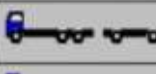
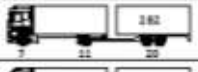
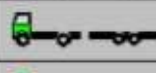
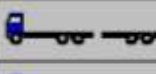
El factor de drenaje para la estructura será 0.80 por analizar la calidad de drenaje de > 25% del sector el cual es regular, excluyendo la base debido a que se encuentra muy por encima del nivel de inundación máximo.

9. DISEÑO MÉTODO AASHTO-93

9.1 Análisis de Tránsito

Los pesos y dimensiones máximas permitidas de los vehículos pesados son tomados de las normas NEVI 12 del MTOP.

CUADRO DEMOSTRATIVO DE TIPO DE VEHICULOS MOTORIZADOS REMOLQUES Y SEMIREMOLQUES							
TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN		PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
					Largo	Ancho	Alto
2 D			CAMIÓN DE 2 EJES PEQUEÑO	7	5,00	2,60	3,00
2DA			CAMIÓN DE 2 EJES MEDIANOS	10	7,50	2,60	3,50
2DB			CAMIÓN DE 2 EJES GRANDES	18	12,20	2,60	4,10
3-A			CAMIÓN DE 3 EJES	27	12,20	2,60	4,10
4-C			CAMIÓN DE 4 EJES	31	12,20	2,60	4,10
4-D			CAMIÓN CON TANDEM DIRECCIONAL Y TANDEM POSTERIOR	32	12,20	2,60	4,10
V2DB			VOLQUETA DE DOS EJES 8 m³	18	12,20	2,60	4,10
V3A			VOLQUETA DE TRES EJES 10-14 m³	27	12,20	2,60	4,10
V2S			VOLQUETA 2S DE 3 EJES 16 m³	27	12,20	2,60	4,10
T2			TRACTO CAMIÓN DE 2 EJES	18	8,50	2,60	4,10
T3			TRACTO CAMIÓN DE 3 EJES	27	8,50	2,60	4,10
S3			SEMIREMOLQUE DE 3 EJES	24	13,00	3.00	4,30
S2			SEMIREMOLQUE DE 2 EJES	20	13,00	3.00	4,30
S1			SEMIREMOLQUE DE 1 EJE	11	13,00	3.00	4,30
R2			REMOLQUE DE 2 EJES	22	10,00	3.00	4,30
R3			REMOLQUE DE 3 EJES	31	10,00	3.00	4,30
B1			REMOLQUE BALANCEADO DE 1 EJE	11	10,00	3.00	4,30
B2			REMOLQUE BALANCEADO DE 2 EJES	20	10,00	3.00	4,30
B3			REMOLQUE BALANCEADO DE 3 EJES	24	10,00	3.00	4,30

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN		PESO BRUTO VEHICULAR MÁXIMO PERMITIDO (toneladas)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
					Largo	Ancho	Alto
2S1			TRACTO CAMIÓN DE 2 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 1 EJE	29	20,50	2,60	4,30
2S2			TRACTO CAMIÓN DE 2 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 2 EJES	38	20,50	2,60	4,30
2S3			TRACTO CAMIÓN DE 2 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 3 EJES	42	20,50	2,60	4,30
3S1			TRACTO CAMIÓN DE 3 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 1 EJE	38	20,50	2,60	4,30
3S2			TRACTO CAMIÓN DE 3 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 2 EJES	47	20,50	2,60	4,30
3S3			TRACTO CAMIÓN DE 3 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 3 EJES	48	20,50	2,60	4,30
2R2			CAMIÓN REMOLCADOR DE 2 EJES Y REMOLQUE DE 2 EJES	40	20,50	2,60	4,30
2R3			CAMIÓN REMOLCADOR DE 2 EJES Y REMOLQUE DE 3 EJES	48	20,50	2,60	4,30
3R2			CAMIÓN REMOLCADOR DE 3 EJES Y REMOLQUE DE 2 EJES	48	20,50	2,60	4,30
3R3			CAMIÓN REMOLCADOR DE 3 EJES Y REMOLQUE DE 3 EJES	48	20,50	2,60	4,30
2B1			CAMIÓN REMOLCADOR DE 2 EJES Y REMOLQUE BALANCEADO DE 1 EJES	29	20,50	2,60	4,30
2B2			CAMIÓN REMOLCADOR DE 2 EJES Y REMOLQUE BALANCEADO DE 2 EJES	38	20,50	2,60	4,30
2B3			CAMIÓN REMOLCADOR DE 2 EJES Y REMOLQUE BALANCEADO DE 3 EJES	42	20,50	2,60	4,30
3B1			CAMIÓN REMOLCADOR DE 3 EJES Y REMOLQUE BALANCEADO DE 1 EJES	38	20,50	2,60	4,30
3B2			CAMIÓN REMOLCADOR DE 3 EJES Y REMOLQUE BALANCEADO DE 2 EJES	47	20,50	2,60	4,30
3B3			CAMIÓN REMOLCADOR DE 3 EJES Y REMOLQUE BALANCEADO DE 3 EJES	48	>20,50	3.00	4,30

Con los pesos obtenidos de la NEVI-12 del MTOP, y aplicando el riguroso y el de la cuarta potencia se obtiene el daño equivalente, para la tipología de tráfico existente en la zona del proyecto, lo cual nos ayudará a determinar el número de ESAL's para el diseño de la estructura de pavimento. En el Anexo 1 se presentan la hoja de cálculo utilizada para el Diseño de la Estructura de Pavimento.

Tabla 11. Factor de daño equivalente

VEHÍCULO	CAP. CRÍTICA VEHÍCULO (Ton)	Distribución crítica de carga por eje (Ton)			Factor Daño Equivalente			TPDA TOTAL	FACTOR DAÑO	PORC.	DAÑO EQUIVALENTE
Liviano	7	3,0	4,0	-	0,0243	0,0731	-	809	0,097	77,94%	0,076
Buses	18	7,0	11,0	-	0,5642	3,2117	-	27	3,776	2,60%	0,098
Camión 2E	18	7,0	11,0	-	0,5642	3,2117	-	177	3,776	17,05%	0,644
Camión 3E	27	7,0	20,0	-	0,5642	3,0025	-	16	3,567	1,54%	0,055
Camión 4E	31	7,0	24,0	-	0,5642	1,5289	-	4	2,093	0,39%	0,008
Camión 5E+	38	7,0	11,0	20,0	0,5642	3,2117	3,0025	5	6,778	0,48%	0,033

Tabla 12. Determinación de los ESAL's para 10 y 20 años

AÑO	TASA DE CRECIMIENTO			TRANSITO PROMEDIO DIARIO							EJES ESAL'S (W18)	
	INCREMENTO LIVIANO	INCREMENTO BUSES	INCREMENTO CAMIONES	TOTAL	LIVIANO	BUS	CAMION 2E	CAMION 3E	CAMION 4E	CAMION 5E+	ANUAL	ACUMULADO
2024	3,87%	1,73%	0,80%	1040	809	27	177	16	4	5	346827	346827
2025	3,76%	1,70%	2,40%	1075	840	28	181	16	4	5	358448	705275
2026	3,65%	1,67%	1,90%	1110	871	28	185	16	4	5	370150	1075425
2027	3,54%	1,64%	1,80%	1145	902	29	188	16	4	5	381829	1457254
2028	3,44%	1,62%	1,68%	1180	934	29	191	16	4	5	393512	1850766
2029	3,34%	1,59%	1,68%	1215	965	30	194	16	4	5	405242	2256008
2030	3,24%	1,57%	1,68%	1250	997	30	198	16	4	5	417024	2673032
2031	3,14%	1,54%	1,68%	1286	1028	30	201	16	4	5	428846	3101878
2032	3,05%	1,52%	1,68%	1321	1060	31	204	16	4	5	440701	3542579
2033	2,96%	1,50%	1,68%	1357	1092	31	208	16	4	5	452577	3995156
2034	2,87%	1,47%	1,68%	**1393**	**1123**	**32**	**211**	**16**	**4**	**5**	**464467**	**4459622**
2035	2,79%	1,45%	1,68%	1428	1155	32	215	16	4	5	476361	4935984
2036	2,70%	1,43%	1,68%	1464	1187	33	218	16	4	5	488253	5424237
2037	2,63%	1,41%	1,68%	1500	1218	33	222	16	4	5	500135	5924372
2038	2,55%	1,39%	1,68%	1535	1250	34	226	16	4	5	512001	6436374
2039	2,47%	1,37%	1,68%	1571	1281	34	230	16	4	5	523845	6960219
2040	2,40%	1,35%	1,68%	1606	1312	35	234	16	4	5	535661	7495879
2041	2,33%	1,34%	1,68%	1642	1343	35	237	16	4	5	547445	8043324
2042	2,27%	1,32%	1,68%	1677	1374	36	241	16	4	5	559192	8602516
2043	2,20%	1,30%	1,68%	1712	1404	36	246	16	4	5	570899	9173415
2044	2,14%	1,28%	1,68%	**1747**	**1435**	**37**	**250**	**16**	**4**	**5**	**582563**	**9755978**
											DL	1,00
											DD	0,50
											W18 (10 años)	**2229811**
											W18 (20 años)	**4877989**

9.2 Alternativa 1 (Estructura convencional)

Esta alternativa se basará en la utilización de materiales tradicionales. Es decir, base granular, subbase granular, mejoramiento y el aprovechamiento del material de sitio. De acuerdo con las exploraciones realizadas para el Tramo 1 y 2 tenemos una capa de material gravoso mal graduado con finos con un espesor de 0.15 m y un Módulo de Young promedio (Y) de 46 MPa (6672 psi) y para el Tramo 3 tenemos una capa de material gravoso mal graduado con finos con un espesor de 0.45 m el cual se lo considerará como mejoramiento. Para el material de la subrasante en base a las exploraciones realizadas se considerará un valor promedio para todo el proyecto el cual corresponde a un valor de 40.3 MPa (5845 psi).

Los parámetros de diseño fueron determinados en el cuerpo de este informe, sin embargo, en la Tabla 13 y Tabla 16 se presenta un resumen de estos tanto para el Tramo 1 y 2 como para el Tramo 3 respectivamente. Los resultados de las estructuras requeridas para esta alternativa se muestran en la Tabla 14 y la Tabla 15 para el Tramo 1 y 2 y en la Tabla 17 y la Tabla 18 para el Tramo 3.

La rehabilitación de la estructura de pavimento consiste en un fresado de la capa de rodadura en un espesor aproximado de 1 pulgada y un recapeo de 2 pulgadas.

Tabla 13. Parámetros de diseño de la Alternativa 1 – Tramo 1 y 2

MATERIAL	CBR%	MODULO RESILIENTE M_R [psi]	COEFICIENTE ESTRUCTURAL a	COEFICIENTE DE DRENAJE m
Asfalto	Módulo mínimo 45000psi	-	0.430	-
Base	80%	28550	0.135	0.80
Subbase	30%	15000	0.110	0.80
Mejoramiento	20%	13000	0.095	0.80
Capa Granular	-	6672	0.060	0.80
Subrasante	-	5845	-	-

Tabla 14. Determinación de espesores de pavimento Alternativa 1 – Tramo 1 y 2 – 10 años

Diseño 1 para 10 años											
Material	**CBR**	**Mr [Psi]**	**Mr [MPa]**	**SN**	**Log(W18)**	**AASHTO**	**a**	**m**	**Requerido [pulg]**	**Efectivo [pulg]**	**SN Acum.**
Asfalto	-	-	-	2,274	6,348	6,348	0,430	1,00	5,29	5,00	2,150
Base	80,00	28550	-	2,916	6,348	6,348	0,135	0,80	7,09	6,00	2,798
Subbase	30,00	15000	-	3,081	6,348	6,348	0,110	0,80	3,21	8,00	3,502
Mejoramiento	20,00	13000	-	3,964	6,348	6,348	0,095	0,80	6,08	8,00	4,110
Capa Granular	-	6672	46,0	4,160	6,348	6,348	0,060	0,80	1.04	6,00	4,398
Subrasante	-	5845	40,3	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 15. Determinación de espesores de pavimento Alternativa 1 – Tramo 1 y 2 – 20 años

Rehabilitación para 20 años											
Material	**CBR**	**Mr [Psi]**	**Mr [MPa]**	**SN**	**Log(W18)**	**AASHTO**	**a**	**m**	**Requerido [pulg]**	**Efectivo [pulg]**	**SN Acum.**
Asfalto	-	-	-	2,591	6,688	6,688	0,430	1,00	6,03	6,00	2,580
Base	80,00	28550	-	3,319	6,688	6,688	0,135	0,80	6,84	6,00	3,228
Subbase	30,00	15000	-	3,505	6,688	6,688	0,110	0,80	3,15	8,00	3,932
Mejoramiento	20,00	13000	-	4,474	6,688	6,688	0,095	0,80	7,13	8,00	4,540
Capa Granular	-	6672	46,0	4,683	6,688	6,688	0,060	0,80	2.98	6,00	4.828
Subrasante	-	5845	44,1	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 16. Parámetros de diseño de la Alternativa 1 – Tramo 3

MATERIAL	CBR%	MODULO RESILIENTE M_R [psi]	COEFICIENTE ESTRUCTURAL a	COEFICIENTE DE DRENAJE m
Asfalto	Módulo mínimo 45000psi	-	0.430	-
Base	80%	28550	0.135	0.80
Subbase	30%	15000	0.110	0.80
Mejoramiento Existente	20%	13000	0.095	0.80
Subrasante	-	5845	-	-

Tabla 17. Determinación de espesores de pavimento Alternativa 1 – Tramo 3 – 10 años

Diseño 1 para 10 años											
Material	**CBR**	**Mr [Psi]**	**Mr [MPa]**	**SN**	**Log(W18)**	**AASHTO**	**a**	**m**	**Requerido [pulg]**	**Efectivo [pulg]**	**SN Acum.**
Asfalto	-	-	-	2,274	6,348	6,348	0,430	1,00	5,29	5,00	2,150
Base	80,00	28550	-	2,916	6,348	6,348	0,135	0,80	7,09	6,00	2,798
Subbase	30,00	15000	-	3,081	6,348	6,348	0,110	0,80	3,21	8,00	3,502
Mejoramiento Existente	20,00	13000	-	4,160	6,348	6,348	0,095	0,80	8,66	18,00	4,870
Subrasante	-	5845	40,3	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 18. Determinación de espesores de pavimento Alternativa 1 – Tramo 3 – 20 años

Rehabilitación para 20 años											
Material	**CBR**	**Mr [Psi]**	**Mr [MPa]**	**SN**	**Log(W18)**	**AASHTO**	**a**	**m**	**Requerido [pulg]**	**Efectivo [pulg]**	**SN Acum.**
Asfalto	-	-	-	2,591	6,688	6,688	0,430	1,00	6,03	6,00	2,580
Base	80,00	28550	-	3,319	6,688	6,688	0,135	0,80	6,84	6,00	3,228
Subbase	30,00	15000	-	3,505	6,688	6,688	0,110	0,80	3,15	8,00	3,932
Mejoramiento Existente	20,00	13000	-	4,683	6,688	6,688	0,095	0,80	9,88	18,00	5,300
Subrasante	-	5845	40,3	-	-	-	-	-	-	-	-

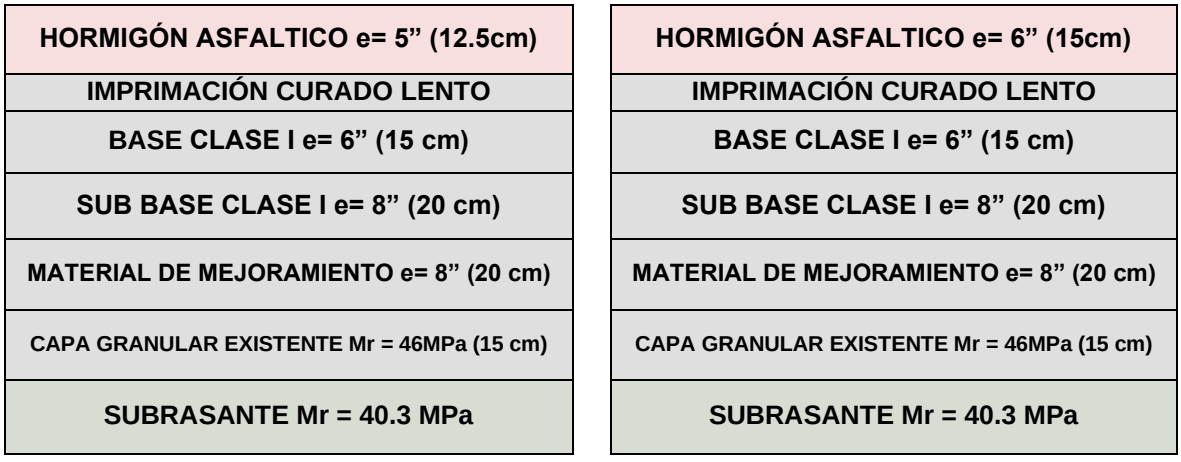


Figura 9. a) Estructura de pavimento inicial b) Estructura de pavimento luego de la rehabilitación Alternativa 1 – Tramo 1 y 2

HORMIGÓN ASFALTICO e= 5” (12.5cm)
IMPRIMACIÓN CURADO LENTO
BASE CLASE I e= 6” (15 cm)
SUB BASE CLASE I e= 8” (20 cm)
MEJORAMIENTO EXISTENTE e= 18” (45 cm)
SUBRASANTE Mr = 40.3 MPa

HORMIGÓN ASFALTICO e= 6” (15cm)
IMPRIMACIÓN CURADO LENTO
BASE CLASE I e= 6” (15 cm)
SUB BASE CLASE I e= 8” (20 cm)
MEJORAMIENTO EXISTENTE e= 18” (45 cm)
SUBRASANTE Mr = 40.3 MPa

Figura 10. a) Estructura de pavimento inicial b) Estructura de pavimento luego de la rehabilitación Alternativa 1 – Tramo 3

9.3 Alternativa 2 (Pavimento Reciclado – RAP y Emulsión Asfáltica)

Esta alternativa se basará en mejorar la base granular con pavimento asfáltico reciclado (RAP) y emulsión asfáltica, con el propósito de disminuir el espesor de la capa de rodadura. De acuerdo con las exploraciones realizadas para el Tramo 1 y 2 tenemos una capa de material gravoso mal graduado con finos con un espesor de 0.15 m y un Módulo de Young promedio (Y) de 46 MPa (6672 psi) y para el Tramo 3 tenemos una capa de material gravoso mal graduado con finos con un espesor de 0.45 m el cual se lo considerará como de mejoramiento de un espesor. Para el material de la subrasante en base a las exploraciones realizadas se considerará un valor promedio para todo el proyecto el cual corresponde a un valor de 40.3 MPa (5845 psi).

Los parámetros de diseño fueron determinados en el cuerpo de este informe, sin embargo, en la Tabla 19 y Tabla 22 se presenta un pequeño resumen de estos tanto para el Tramo 1 como para el Tramo 2 respectivamente. Los resultados de las estructuras requeridas para esta alternativa se muestran en la Tabla 20 y la Tabla 21 para el Tramo 1 y en la Tabla 23 y la **Tabla 24** para el Tramo 3.

La rehabilitación de la estructura de pavimento consiste en un fresado de la capa de rodadura en un espesor aproximado de 1 pulgada y un recapeo de 2 pulgadas.

Tabla 19. Parámetros de diseño de la Alternativa 2 – Tramo 1 y 2

MATERIAL	CBR%	MODULO RESILIENTE M_R [psi]	COEFICIENTE ESTRUCTURAL a	COEFICIENTE DE DRENAJE m
Asfalto	Módulo mínimo 45000psi	-	0.430	-
Base RAP	-	150000	0.190	0.90
Subbase	30%	15000	0.110	0.80
Mejoramiento	20%	13000	0.095	0.80
Capa Granular	-	6672	0.060	0.80
Subrasante	-	5845	-	-

Tabla 20. Determinación de espesores de pavimento Alternativa 2 – Tramo 1 y 2 – 10 años

Diseño 1 para 10 años											
Material	**CBR**	**Mr [Psi]**	**Mr [MPa]**	**SN**	**Log(W18)**	**AASHTO**	**a**	**m**	**Requerido [pulg]**	**Efectivo [pulg]**	**SN Acum.**
Asfalto	-	-	-	1,136	6,348	6,348	0,430	1,00	2,64	2,00	0,860
Base RAP	-	150000	-	2,916	6,348	6,348	0,190	0,90	11,39	8,00	2,304
Subbase	30,00	15000	-	3,081	6,348	6,348	0,110	0,80	8,83	10,00	3,184
Mejoramiento	20,00	13000	-	3,964	6,348	6,348	0,095	0,80	10,27	12,00	4,096
Capa Granular	-	6672	46,0	4,160	6,348	6,348	0,060	0,80	1,33	6,00	4,384
Subrasante	-	5845	44,1	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 21. Determinación de espesores de pavimento Alternativa 2 – Tramo 1 y 2– 20 años

Rehabilitación para 20 años											
Material	**CBR**	**Mr [Psi]**	**Mr [MPa]**	**SN**	**Log(W18)**	**AASHTO**	**a**	**m**	**Requerido [pulg]**	**Efectivo [pulg]**	**SN Acum.**
Asfalto	-	-	-	1,326	6,688	6,688	0,430	1,00	3,08	3,00	1,290
Base RAP	-	150000	-	3,319	6,688	6,688	0,190	0,90	11,24	8,00	2,734
Subbase	30,00	15000	-	3,505	6,688	6,688	0,110	0,80	8,76	10,00	3,614
Mejoramiento	20,00	13000	-	4,474	6,688	6,688	0,095	0,80	11,31	12,00	4,526
Capa Granular	-	6672	46,0	4,683	6,688	6,688	0,060	0,80	3,27	6,00	4,814
Subrasante	-	5845	44,1	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 22. Parámetros de diseño de la Alternativa 2 – Tramo 3

MATERIAL	**CBR%**	**MODULO RESILIENTE M_R [psi]**	**COEFICIENTE ESTRUCTURAL a**	**COEFICIENTE DE DRENAJE m**
Asfalto	Módulo mínimo 45000psi	-	0.430	-
Base con RAP	-	150000	0.190	0.90
Subbase	30%	15000	0.110	0.80
Mejoramiento Existente	20%	13000	0.095	0.80
Subrasante	-	5845	-	-

Tabla 23. Determinación de espesores de pavimento Alternativa 2 – Tramo 3 – 10 años

Diseño 1 para 10 años											
Material	**CBR**	**Mr [Psi]**	**Mr [MPa]**	**SN**	**Log(W18)**	**AASHTO**	**a**	**m**	**Requerido [pulg]**	**Efectivo [pulg]**	**SN Acum.**
Asfalto	-	-	-	1,136	6,348	6,348	0,430	1,00	2,64	2,00	0,860
Base RAP	-	150000	-	2,916	6,348	6,348	0,190	0,90	12,02	8,00	2,228
Subbase	30,00	15000	-	3,081	6,348	6,348	0,110	0,80	9,69	10,00	3,108
Mejoramiento Existente	20,00	13000	-	4,160	6,348	6,348	0,095	0,80	13,84	18,00	4,476
Subrasante	-	5845	40,3	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 24. Determinación de espesores de pavimento Alternativa 2 – Tramo 3 – 20 años

Rehabilitación para 20 años											
Material	**CBR**	**Mr [Psi]**	**Mr [MPa]**	**SN**	**Log(W18)**	**AASHTO**	**a**	**m**	**Requerido [pulg]**	**Efectivo [pulg]**	**SN Acum.**
Asfalto	-	-	-	1,326	6,688	6,688	0,430	1,00	3,08	3,00	1,290
Base RAP	-	150000	-	3,319	6,688	6,688	0,190	0,90	11,87	8,00	2,658
Subbase	30,00	15000	-	3,505	6,688	6,688	0,110	0,80	9,62	10,00	3,538
Mejoramiento Existente	20,00	13000	-	4,683	6,688	6,688	0,095	0,80	15,07	18,00	4,906
Subrasante	-	5845	40,3	-	-	-	-	-	-	-	-

HORMIGÓN ASFALTICO e= 2” (5 cm)
IMPRIMACIÓN CURADO LENTO
BASE MEJORADA CON RAP Y EMULSIÓN ASFÁLTICA e= 8” (20 cm)
SUB BASE CLASE I e= 10” (25 cm)
MATERIAL DE MEJORAMIENTO e= 12” (30 cm)
CAPA GRANULAR EXISTENTE Mr= 46MPa (15 cm)
SUBRASANTE Mr= 40.3 MPa

HORMIGÓN ASFALTICO e= 3” (7.5 cm)
IMPRIMACIÓN CURADO LENTO
BASE MEJORADA CON RAP Y EMULSIÓN ASFÁLTICA e= 8” (20 cm)
SUB BASE CLASE I e= 10” (25 cm)
MATERIAL DE MEJORAMIENTO e= 12” (30 cm)
CAPA GRANULAR EXISTENTE Mr= 46MPa (15 cm)
SUBRASANTE Mr= 40.3 MPa

Figura 11. a) Estructura de pavimento inicial b) Estructura de pavimento luego de la rehabilitación Alternativa 2 – Tramo 1 y 2

HORMIGÓN ASFALTICO e= 2” (5 cm)
IMPRIMACIÓN CURADO LENTO
BASE MEJORADA CON RAP Y EMULSIÓN ASFÁLTICA e= 8” (20 cm)
SUB BASE CLASE I e= 10” (25 cm)
MEJORAMIENTO EXISTENTE e= 18” (45 cm)
SUBRASANTE Mr= 40.3 MPa

HORMIGÓN ASFALTICO e= 3” (7.5 cm)
IMPRIMACIÓN CURADO LENTO
BASE MEJORADA CON RAP Y EMULSIÓN ASFÁLTICA e= 8” (20 cm)
SUB BASE CLASE I e= 10” (25 cm)
MEJORAMIENTO EXISTENTE e= 18” (45 cm)
SUBRASANTE Mr= 40.3 MPa

Figura 12. a) Estructura de pavimento inicial b) Estructura de pavimento luego de la rehabilitación Alternativa 2 – Tramo 3

9.4 Alternativa 3 (Base Asfalto)

Esta alternativa considera mejorar con asfalto la capa de base con el propósito de disminuir el espesor de la capa de rodadura. De acuerdo con las exploraciones realizadas para el Tramo 1 y 2 tenemos una capa de material gravoso mal graduado con finos con un espesor de 0.15 m y un Módulo de Young promedio (Y) de 46 MPa (6672 psi) y para el Tramo 3 tenemos una capa de material gravoso mal graduado con finos con un espesor de 0.45 m el cual se lo considerará como de mejoramiento de un espesor. Para el material de la subrasante en base a las exploraciones realizadas se considerará un valor promedio para todo el proyecto el cual corresponde a un valor de 40.3 MPa (5845 psi).

Los parámetros de diseño fueron determinados en el cuerpo de este informe, sin embargo, en la Tabla 25 y Tabla 28 se presenta un pequeño resumen de estos tanto para el Tramo 1 y 2 como para el Tramo 3 respectivamente. Los resultados de las estructuras requeridas para esta alternativa se muestran en la Tabla 26 y la Tabla 27 para el Tramo 1 y 2 y en la Tabla 29 y la Tabla 30 para el Tramo 3.

La rehabilitación de la estructura de pavimento consiste en un fresado de la capa de rodadura en un espesor aproximado de 1 pulgada y un recapeo de 2 pulgadas.

Tabla 25. Parámetros de diseño de la Alternativa 3 – Tramo 1 y 2

MATERIAL	CBR%	MODULO RESILIENTE M_R [psi]	COEFICIENTE ESTRUCTURAL a	COEFICIENTE DE DRENAJE m
Asfalto	Módulo mínimo 45000psi	-	0.430	-
Base Asfalto	Estabilidad Marshall 700	150000	0.190	1.00
Subbase	30%	15000	0.110	0.80
Mejoramiento	20%	13000	0.095	0.80
Capa Granular	-	6672	0.060	0.80
Subrasante	-	5845	-	-

Tabla 26. Determinación de espesores de pavimento Alternativa 3 – Tramo 1 y 2 – 10 años

Diseño 1 para 10 años											
Material	CBR	Mr [Psi]	Mr [MPa]	SN	Log(W18)	AASHTO	a	m	Requerido [pulg]	Efectivo [pulg]	SN Acum.
Asfalto	-	-	-	1,136	6,348	6,348	0,430	1,00	2,64	2,00	0,860
Base Asfalto	-	150000	-	2,916	6,348	6,348	0,190	1,00	10,82	8,00	2,380
Subbase	30,00	15000	-	3,081	6,348	6,348	0,110	0,80	7,96	10,00	3,260
Mejoramiento	20,00	13000	-	3,964	6,348	6,348	0,095	0,80	9,27	12,00	4,172
Capa Granular	-	6672	46,0	4,160	6,348	6,348	0,060	0,80	-0,25	6,00	4,460
Subrasante	-	5845	44,1	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 27. Determinación de espesores de pavimento Alternativa 3 – Tramo 1 y 2 – 20 años

Rehabilitación para 20 años											
Material	**CBR**	**Mr [Psi]**	**Mr [MPa]**	**SN**	**Log(W18)**	**AASHTO**	**a**	**m**	**Requerido [pulg]**	**Efectivo [pulg]**	**SN Acum.**
Asfalto	-	-	-	1,326	6,688	6,688	0,430	1,00	3,08	3,00	1,290
Base Asfalto		150000	-	3,319	6,688	6,688	0,190	1,00	10,68	8,00	2,810
Subbase	80,00	15000	-	3,505	6,688	6,688	0,110	0,80	7,90	10,00	3,690
Mejoramiento	20,00	13000	-	4,474	6,688	6,688	0,095	0,80	10,31	12,00	4,602
Capa Granular	-	6672	46,0	4,683	6,688	6,688	0,060	0,80	1,69	6,00	4,890
Subrasante	-	5845	44,1	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 28. Parámetros de diseño de la Alternativa 3 – Tramo 3

MATERIAL	**CBR%**	**MODULO RESILIENTE M_R [psi]**	**COEFICIENTE ESTRUCTURAL a**	**COEFICIENTE DE DRENAJE m**
Asfalto	Módulo mínimo 45000psi	-	0.430	-
Base Asfalto	Estabilidad Marshall 700	150000	0.190	1.00
Subbase	30%	15000	0.110	0.80
Mejoramiento Existente	20%	13000	0.095	0.80
Subrasante	-	5845	-	-

Tabla 29. Determinación de espesores de pavimento Alternativa 3 – Tramo 3 – 10 años

Diseño 1 para 10 años											
Material	**CBR**	**Mr [Psi]**	**Mr [MPa]**	**SN**	**Log(W18)**	**AASHTO**	**a**	**m**	**Requerido [pulg]**	**Efectivo [pulg]**	**SN Acum.**
Asfalto	-	-	-	1,136	6,348	6,348	0,430	1,00	2,64	2,00	0,860
Base Asfalto		150000	-	2,916	6,348	6,348	0,190	1,00	10,82	8,00	2,380
Subbase	30,00	15000	-	3,081	6,348	6,348	0,110	0,80	7,96	10,00	3,260
Mejoramiento Existente	20,00	13000	-	4,160	6,348	6,348	0,095	0,80	11,84	18,00	4,628
Subrasante	-	5845	40,3	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 30. Determinación de espesores de pavimento Alternativa 3 – Tramo 3 – 20 años

Rehabilitación para 20 años											
Material	**CBR**	**Mr [Psi]**	**Mr [MPa]**	**SN**	**Log(W18)**	**AASHTO**	**a**	**m**	**Requerido [pulg]**	**Efectivo [pulg]**	**SN Acum.**
Asfalto	-	-	-	1,326	6,688	6,688	0,430	1,00	3,08	3,00	1,290
Base Asfalto		150000	-	3,319	6,688	6,688	0,190	1,00	10,68	8,00	2,810
Sub-base	30,00	15000	-	3,505	6,688	6,688	0,110	0,80	7,90	10,00	3,690
Mejoramiento Existente	20,00	13000	-	4,683	6,688	6,688	0,095	0,80	13,07	18,00	5.058
Subrasante	-	5845	40,3	-	-	-	-	-	-	-	-

HORMIGÓN ASFALTICO e= 2” (5cm)
IMPRIMACIÓN CURADO LENTO
BASE AFALTO e= 8” (20 cm)
SUB BASE CLASE I e= 10” (25 cm)
MATERIAL DE MEJORAMIENTO e= 12” (30 cm)
CAPA GRANULAR EXISTENTE Mr = 46MPa (15 cm)
SUBRASANTE Mr = 40.3 MPa

HORMIGÓN ASFALTICO e= 3” (7.5cm)
IMPRIMACIÓN CURADO LENTO
BASE AFALTO e= 8” (20 cm)
SUB BASE CLASE I e= 10” (25 cm)
MATERIAL DE MEJORAMIENTO e= 12” (30 cm)
CAPA GRANULAR EXISTENTE Mr = 46MPa (15 cm)
SUBRASANTE Mr = 40.3 MPa

Figura 13. a) Estructura de pavimento inicial b) Estructura de pavimento luego de la rehabilitación Alternativa 3 – Tramo 1 y 2

HORMIGÓN ASFALTICO e= 2” (5cm)
IMPRIMACIÓN CURADO LENTO
BASE ASFALTO e= 8” (20 cm)
SUB BASE CLASE I e= 10” (25 cm)
MEJORAMIENTO EXISTENTE e= 18” (45 cm)
SUBRASANTE Mr = 40.3 MPa

HORMIGÓN ASFALTICO e= 3” (7.5cm)
IMPRIMACIÓN CURADO LENTO
BASE ASFALTO e= 8” (20 cm)
SUB BASE CLASE I e= 10” (25 cm)
MEJORAMIENTO EXISTENTE e= 18” (45 cm)
SUBRASANTE Mr = 40.3 MPa

Figura 14. a) Estructura de pavimento inicial b) Estructura de pavimento luego de la rehabilitación Alternativa 3 – Tramo 3

10. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA DE PAVIMENTO

En base a que las tres alternativas planteadas cumplen con el nivel de servicio, fatiga y deformación de acuerdo a lo presentado en el cuerpo del informe, en esta sección se realizará un análisis económico de las alternativas planteadas, que corresponde a una estructura de pavimento tradicional, una alternativa de pavimento reciclado con emulsión asfáltica y a una base mejorada con suelo-asfalto, con la finalidad de seleccionar la alternativa más conveniente para las características de la zona.

La alternativa 1 tiene un costo referencial de $207,61 para el Tramo 1 y 2 y de $194.55 para el Tramo 3 por metro lineal.

Tabla 31. Costo por metro lineal – Alternativa 1 – Tramo 1 y 2

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	ESPESOR [cm]	VOLUMEN [m3]	Costo/m3	Costo
CAPA DE RODADURA HORM. ASFALTICO	12,5	1,06	$122,88	$130,56
RIEGO DE LIGA				
BASE TIPO 1A	15	1,50	$24,98	$37,47
SUBBASE CLASE 1	20	2,00	$13,26	$26,52
MATERIAL DE MEJORAMIENTO	20	2,00	$6,53	$13,06
TOTAL				$207,61

Tabla 32. Costo por metro lineal – Alternativa 1 – Tramo 3

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	ESPESOR [cm]	VOLUMEN [m3]	Costo/m3	Costo
CAPA DE RODADURA HORM. ASFALTICO	12,5	1,06	$122,88	$130,56
RIEGO DE LIGA				
BASE TIPO 1A	15	1,50	$24,98	$37,47
SUBBASE CLASE 1	20	2,00	$13,26	$26,52
TOTAL				$194,55

La alternativa 2 tiene un costo referencial de $187.46 para el Tramo 1 y 2 y de $167.87 para el Tramo 3 por metro lineal.

Tabla 33. Costo por metro lineal – Alternativa 2 – Tramo 1 y 2

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	ESPESOR [cm]	VOLUMEN [m3]	Costo/m3	Costo
CAPA DE PAVIMENTO RECICLADO RAP	5	0,43	$122,88	$52,22
RIEGO DE LIGA				
BASE TIPO 1A	20	2,00	$41,25	$82,50
SUBBASE CLASE 1	25	2,50	$13,26	$33,15
MATERIAL DE MEJORAMIENTO	30	3,00	$6,53	$19,59
TOTAL				$187,46

Tabla 34. Costo por metro lineal – Alternativa 2 – Tramo 3

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	ESPESOR [cm]	VOLUMEN [m3]	Costo/m3	Costo
CAPA DE PAVIMENTO RECICLADO RAP	5	1,025	$122,88	$52,22
RIEGO DE LIGA				
BASE TIPO 1A	20	2,00	$41,25	$82,50
SUBBASE CLASE 1	25	2,50	$13,26	$33,15
TOTAL				$167,87

La alternativa 3 tiene un costo referencial de $234.76 para el Tramo 1 y 2 y de $215,17 para el Tramo 3 por metro lineal.

Tabla 35. Costo por metro lineal – Alternativa 3 – Tramo 1 y 2

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	ESPESOR [cm]	VOLUMEN [m3]	Costo/m3	Costo
CAPA DE RODADURA HORM. ASFALTICO	5	0,43	$122,88	$52,22
RIEGO DE LIGA				
BASE MEJORADA CON ASFALTO	20	2,00	$64,90	$129,80
SUBBASE CLASE 1	25	2,50	$13,26	$33,15
MATERIAL DE MEJORAMIENTO	30	3,00	$6,53	$19,59
TOTAL				$234,76

Tabla 36. Costo por metro lineal – Alternativa 3 – Tramo 3

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	ESPESOR [cm]	VOLUMEN [m3]	Costo/m3	Costo
CAPA DE RODADURA HORM. ASFALTICO	5	0,43	$122,88	$52,22
RIEGO DE LIGA				
BASE MEJORADA CON ASFALTO	20	2,00	$64,90	$129,80
SUBBASE CLASE 1	25	2,50	$13,26	$33,15
TOTAL				$215,17

Se presenta una matriz de toma de decisiones en función a los siguientes parámetros:

a) Cumple con los criterios de serviciabilidad
b) Menor Costo
c) Mayor experiencia constructiva en el medio

Tabla 37. Parámetros de selección de alternativas

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	PARÁMETROS			RECOMENDADO
	a	b	c	
Alternativa 1	SI	NO	SI	**NO**
Alternativa 2	SI	SI	SI	**SI**
Alternativa 3	SI	NO	SI	**NO**

Con base en el análisis comparativo planteado, la **Alternativa 2 (Estructura de Pavimento con Base Mejorada con RAP y Emulsión Asfáltica)** es la recomendada, sin embargo, no se cuenta con suficiente material para todo el proyecto por lo que se considera la utilización de esta alternativa para el Tramo 1 y 2 y para el Tramo 3 se recomienda el uso de la **Alternativa 1 (Estructura de pavimento convencional).**

Es importante mencionar que del diseño geométrico final se observan tramos donde se deberá de realizar cortes importantes en el material gravoso existente en el sitio para poder desarrollar correctamente la nueva estructura de pavimentos, en promedio la profundidad a cortar es de 0.30 m. En caso de llegar al estrato arcilloso al momento de realizar el corte, se deberá de rellenar nuevamente con material gravoso del sitio, a continuación, se mencionan cuáles son estos tramos:

- Tramo 1: desde la abscisa 3+360 hasta 3+520
- Tramo 2: desde la abscisa 3+540 hasta 3+960
- Tramo 3: desde la abscisa 4+700 hasta 4+780
- Tramo 4: desde la abscisa 4+800 hasta 4+920
- Tramo 5: desde la abscisa 5+600 hasta 5+720
- Tramo 6: desde la abscisa 7+280 hasta 7+960
- Tramo 7: desde la abscisa 8+980 hasta 9+160

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

11.1 Conclusiones

- Conforme con el Estudio de Tráfico, se tiene un TPDA actual correspondiente a 1040 vehículos/día, TPDA proyectado a 10 años de 1393 vehículos/día y a los 20 años de 1747 vehículos/día.
- Debido a que se identificaron variaciones considerables se dividió el proyecto en 3 tramos, el tramo 1 comprende desde el inicio del proyecto en la abscisa 0+000 hasta el 1+900 el tramo 2 desde la 1+900 antes de llegar a la intersección en la abscisa 2+940 y el tramo 2 desde la abscisa 2+940 hasta el final del proyecto en la abscisa 9+172
- Según la campaña de exploración en el tramo 1 y 2 se identificó una capa de material granular con un espesor de 15 cm con un Módulo de Young de 46 MPa (6.672 psi) el cual no cumple con los criterios mínimos para un material de mejoramiento.
- Según la campaña de exploración en el tramo 3 existe una capa de material granular con un espesor promedio de 45 cm con un Módulo Young de 94.3 MPa (13.674), el cual cumple todos los criterios mínimos para ser considero como un mejoramiento con suelo seleccionado.
- Para el material de la subrasante en base a las exploraciones realizadas se considerará un valor promedio para todo el proyecto el cual corresponde a un valor de 40.3 MPa (5845 psi).
- De acuerdo con los análisis realizados en la Sección 9, se plantearon 3 alternativas para cada Tramo que cumplan con el nivel de servicio, fatiga y deformación. La alternativa 1 consiste en una estructura de pavimento convencional, la alternativa 2 consiste en la utilización de pavimento reciclado conformando una base mejorada con RAP y emulsión asfáltica y la alternativa 3 con una base mejorada con emulsión asfáltica.
- La rehabilitación de la estructura de pavimento consiste en un fresado de la capa de rodadura en un espesor aproximado de 1 pulgada y un recapeo de 2 pulgadas completando un espesor luego de la rehabilitación de 6 pulgadas para las

alternativas 1 y 2 y de 4 pulgadas para la alternativa 3, lo que extenderá su vida útil a 20 años.

- Con base en el análisis comparativo planteado, la Alternativa 2 (Estructura de Pavimento Reciclado – RAP y Emulsión Asfátltica), sin embargo, no se cuenta con suficiente material para todo el proyecto por lo que se considera la utilización de esta alternativa para el Tramo 1 y 2 y para el Tramo 3 se recomienda el uso de la Alternativa 1 (Estructura de pavimento convencional).

HORMIGÓN ASFALTICO e= 2" (5 cm)
IMPRIMACIÓN CURADO LENTO
BASE MEJORADA CON RAP Y EMULSIÓN ASFÁLTICA e= 8" (20 cm)
SUB BASE CLASE I e= 10" (25 cm)
MATERIAL DE MEJORAMIENTO e= 12" (30 cm)
CAPA GRANULAR EXISTENTE Mr= 46MPa (15 cm)
SUBRASANTE Mr= 40.3 MPa

HORMIGÓN ASFALTICO e= 3" (7.5 cm)
IMPRIMACIÓN CURADO LENTO
BASE MEJORADA CON RAP Y EMULSIÓN ASFÁLTICA e= 8" (20 cm)
SUB BASE CLASE I e= 10" (25 cm)
MATERIAL DE MEJORAMIENTO e= 12" (30 cm)
CAPA GRANULAR EXISTENTE Mr= 46MPa (15 cm)
SUBRASANTE Mr= 40.3 MPa

Figura 15. Estructura de pavimento para el Tramo 1 y 2 a) Inicial b) Rehabilitada

HORMIGÓN ASFALTICO e= 5" (12.5cm)
IMPRIMACIÓN CURADO LENTO
BASE CLASE I e= 6" (15 cm)
SUB BASE CLASE I e= 8" (20 cm)
MEJORAMIENTO EXISTENTE EN CASO DE CORTE SE RECONFORMARA CON MATERIAL DE MEJORAMIENTO IMPORTADO e= 18" (45 cm)
SUBRASANTE Mr = 40.3 MPa

HORMIGÓN ASFALTICO e= 6" (15cm)
IMPRIMACIÓN CURADO LENTO
BASE CLASE I e= 6" (15 cm)
SUB BASE CLASE I e= 8" (20 cm)
MEJORAMIENTO EXISTENTE EN CASO DE CORTE SE RECONFORMARA CON MATERIAL DE MEJORAMIENTO IMPORTADO e= 18" (45 cm)
SUBRASANTE Mr = 40.3 MPa

Figura 16. Estructura de pavimento para el Tramo 3 a) Inicial b) Rehabilitada

- De la información obtenida del diseño geométrico final se observan tramos donde se deberán de realizar cortes del material gravoso existente, los cuales son en promedio igual a 0.30 m. En caso de pasar el material de mejoramiento existente y alcanzar el estrato arcilloso al momento de realizar los cortes, se deberán de rellenar estos sectores con material gravoso del sitio.

11.2 Recomendaciones

- Se recomienda que además del cumplimiento de los parámetros mecánicas descritos anteriormente, se recomienda que los materiales a ser empleados en la construcción sean analizados previamente a su utilización con la finalidad de garantizar que los mismos cumplan con los parámetros establecidos en las normas del MTOP.

- Se deberán verificar las pendientes longitudinales y transversales del trazado.
- Los espesores de los materiales que componen el paquete estructural de pavimento deberán apoyarse sobre una superficie de subrasante estable (libre de saturación), que garantice el buen desempeño del pavimento durante su vida útil.
- Los materiales pétreos colocados serán compactados en capas de 0,20 metros de espesor como máximo hasta completar la estructura recomendada, con cantidad de agua suficiente y un rodillo vibratorio de 12 toneladas como mínimo, cuya energía de compactación alcance como mínimo el 100% para el Mejoramiento la Base y Subbase granular y la verificación del material existente a un mínimo de 95% del Proctor modificado mediante el método AASHTO T-180.
- La estructura del pavimento no será menor a la diseñada en el presente estudio.
- En el tramo 3 se debe considerar que en el caso de que al momento de realizar el diseño geométrico se realicen cortes que corte parte del material gravoso existente, se deberá considerar construir esta capa con material de mejoramiento importado
- Se deben realizar los ensayos de calidad para calificar los materiales que componen la estructura para garantizar su buen desempeño.

Elaborado:	**Revisado:**	**Aprobado:**
Firmado electrónicamente por: FERNANDO GUILLERMO CORNEJO AYON	Firmado electrónicamente por: FERNANDO ENRIQUE ZANABRIA VILLAMAR	Firmado electrónicamente por: JOHAN ALBERTO SUDARIO SUAREZ
Ing. Fernando Cornejo Especialista en Geotecnia	Ing. Fernando Zanabria Director del Proyecto	Ing. Johan Sudario Administrador de Contrato