

GOBIERNO PROVINCIAL DEL GUAYAS

INFORME DE PAVIMENTOS

CONSULTORA: INMOBILIARIA JOALPA S.A.

CONTRATO No. No. S-CON-26-2022-X-0

OBJETO DEL CONTRATO:

**ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS PARA LA
REHABILITACION DE LA VIA CONEXIÓN E30 -
PEDRO VÉLEZ - CARLOS JULIO AROSEMENA,
UBICADA EN EL CANTÓN EL EMPALME DE LA
PROVINCIA DEL GUAYAS.**

GUAYAQUIL, NOVIEMBRE DE 2022.

Contenido

1. GENERALIDADES	7
1.1 INTRODUCCIÓN. -	7
2. CARACTERISTICAS DEL DISEÑO VIAL	9
3. TRABAJOS DE CAMPO	10
4. ENSAYOS DE LABORATORIO	22
5. DESCRIPCIÓN DE LOS ESTRATOS DE SUELO	23
6. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS	24
7. ESTUDIO DE TRÁFICO	28
8. DISEÑO DE PAVIMENTOS	29
9. ALTERNATIVA SELECCIONADA	37
10. CONCLUSIONES	39

1. GENERALIDADES

1.1 Introducción. -

La infraestructura de transporte vial es uno de los aspectos esenciales para el desarrollo económico del País, ya que constituye el medio de movilización de las personas, bienes de consumo, productos industriales, productos agrícolas, etc. de un territorio o región determinada.

Debido a lo antes mencionado, La Prefectura del Guayas contempla la rehabilitación de vías de segundo y tercer orden, ubicadas hacia el interior de su territorio, con el fin de mejorar los tiempos de traslado e incorporar más sitios y población al desarrollo productivo turístico y agropecuario, mediante el mejoramiento y asfaltado de las vías.

El proyecto de estudio actualmente cuenta con una circulación de doble sentido sin restricción alguna, está ubicado en el cantón El Empalme, cerca del límite provincial de Guayas con Manabí, el trazado inicia en la conexión con el eje estatal E30 y transcurre hasta llegar a la población de Carlos Julio Arosemena, pasando por la población de Pedro Vélez.

La conectividad está afectada por una red vial deficiente bajo las siguientes variables:

- El pavimento de la vía actualmente se encuentra muy deteriorado
- Limitado el tránsito de los pobladores que necesitan realizar sus actividades económicas y afecta el desarrollo económico y social del sector

En la Figura 1 se muestra el trazado del proyecto

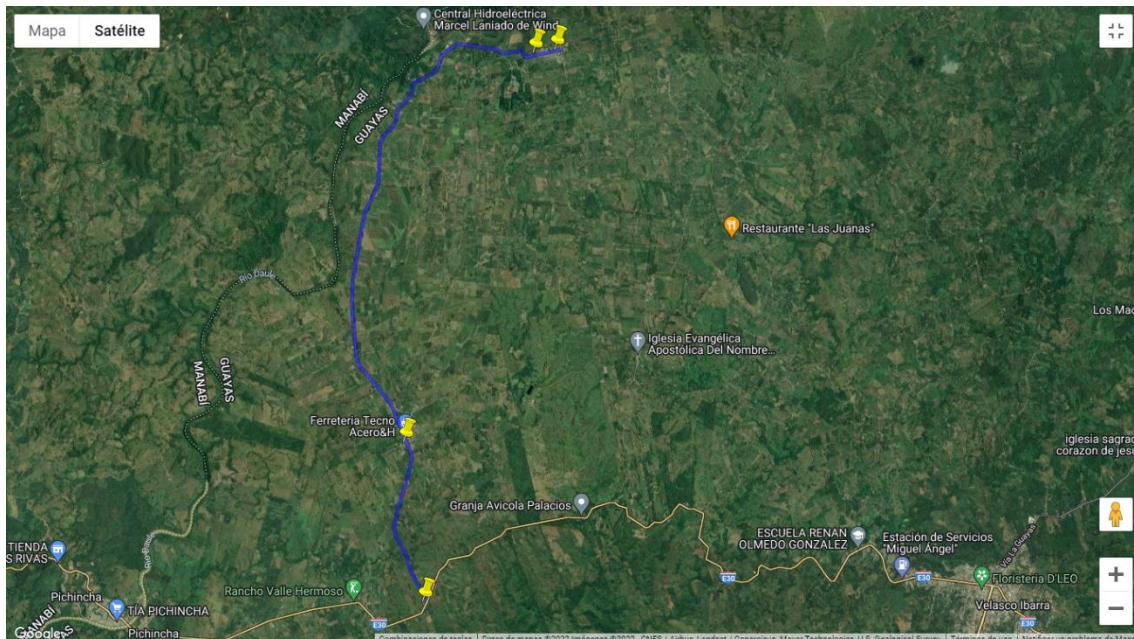


Figura 1._ Ubicación del área de estudio Fuente: Equipo Técnico

El proyecto se encuentra delimitado bajo las siguientes coordenadas:

Punto	Coordenada Este	Coordenada Oeste
P1	638580.031 m E	9884423.025 m S
P2	641805.771 m E	9897044.198 m S

Actualmente la vía cuenta con las siguientes características:

- Un carril por sentido
- Los carriles tienen dimensiones variables
- No cuenta con cunetas ni bordillos
- Su capa de rodadura se encuentra en pésimo estado, su grado de deterioro es muy alto de tal manera que en ciertas zonas no se observa presencia de asfalto

El proyecto se encuentra contemplado en aproximadamente 16,79 km, iniciando desde la intersección con la vía estatal E30 hasta llegar a la población de Carlos Julio Arosemena, a lo largo del trazado se evidencian dos cruces de agua importantes, uno donde actualmente existe un puente y otro donde se evidencia un sistema de alcantarillas dobles, se debe indicar que de acuerdo con el estudio hidráulico este último se deberá remplazar por un puente nuevo.

En el presente informe se detallan los trabajos de campo y laboratorio realizados para determinar el diseño de pavimentos necesario para garantizar el tiempo de vida útil de la vía, que de acuerdo con los términos de referencia es de 10 años.

Objetivo General. -

Presentar alternativas de pavimentos, implementado nuevas tecnologías con la finalidad de reducir espesores en la estructura de pavimento, así como distancias de acarreo.

Objetivos Específicos. -

- Presentar los resultados de la campaña de exploración
- Identificar los materiales existentes en el subsuelo del área de estudio
- Presentar las alternativas de pavimento para garantizar su estabilidad para un tiempo de 10 años

Alcance. -

Realizar 3 diseños de pavimentos utilizando carpeta asfáltica los cuales deben cumplir con el tiempo de vida útil.

2. CARACTERISTICAS DEL DISEÑO VIAL

De acuerdo con el diseño horizontal para la rehabilitación de la vía se han considerando dos carriles de servicio de 3.50 m (ancho de calzada 7.00 m) y espaldones de 1.50 m, los taludes de corte y relleno tienen una pendiente de 1.50 H : 1 V. Cabe mencionar que la sección se mantiene desde la abscisa 0+000 a la 16+107.14 (Carlos Julio Arosemena), considerando los cruces de caminos que se conectan con la vía principal y desde dicha abscisa hasta el final del proyecto se mantiene la sección actual de la vía puesto que se trata de un área con viviendas a los costados, adicional a esto existen bordillos cunetas mismos que no se consideran remover.

De los puentes existentes se mantiene el existente y las alcantarillas dobles serán removidas y se construirá un puente nuevo (sector de Pedro Vélez).

3. TRABAJOS DE CAMPO

Para realizar la investigación del subsuelo del área de estudio se emplearon métodos de exploración directa mediante perforaciones a cielo abierto o calicatas, cuya profundidad es variable entre 1.50 y 2.0 m, 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 equipo GEOGAUGE, ver foto 1, luego de que se concluyó con la exploración se sellaron las calicatas.

Se realizaron un total de 34 calicatas, la ubicación de las calicatas se muestra en la Tabla 1, se debe indicar que no se observó presencia del nivel freático, en el Plano G-1 se presenta la ubicación de las calicatas.

Tabla 1. Ubicación de las calicatas realizadas

Calicata	Abscisa	Coor. Este [m]	Coor. Norte [m]	Ubicación
C-01	0+000	638575	9884450	Sobre pavimento
C-02	0+500	638344	9884866	Sobre pavimento
C-03	1+000	638157	9885329	Abajo
C-04	1+500	637949	9885782	Sobre pavimento
C-05	2+000	637842	9886256	Sobre pavimento
C-06	2+500	637967	9886731	Abajo
C-07	3+000	638132	9887198	Sobre pavimento
C-08	3+500	638235	9887701	Sobre pavimento
C-09	4+000	638081	9888169	Abajo
C-10	4+500	637880	9888627	Sobre pavimento
C-11	5+000	637659	9889070	Sobre pavimento
C-12	5+500	637336	9889452	Abajo
C-13	6+000	637035	9889840	Sobre pavimento
C-14	6+500	636932	9890332	Sobre pavimento
C-15	7+000	636896	9890831	Abajo
C-16	7+500	636867	9891330	Sobre pavimento
C-17	8+000	636893	9891828	Sobre pavimento

Calicata	Abscisa	Coor. Este [m]	Coor. Norte [m]	Ubicación
C-18	8+500	636975	9892322	Abajo
C-19	9+000	637073	9892811	Sobre pavimento
C-20	9+500	637174	9893301	Sobre pavimento
C-21	10+000	637382	9893746	Abajo
C-22	10+500	637481	9894239	Sobre pavimento
C-23	11+000	637513	9894739	Sobre pavimento
C-24	11+500	637705	9895178	Abajo
C-25	12+000	637926	9895609	Sobre pavimento
C-26	12+500	638233	9895993	Sobre pavimento
C-27	13+000	638528	9896355	Abajo
C-28	13+500	638860	9896682	Sobre pavimento
C-29	14+000	639171	9897071	Sobre pavimento
C-30	14+500	639638	9897112	Abajo
C-31	15+000	640138	9897022	Sobre pavimento
C-32	15+500	640611	9896977	Sobre pavimento
C-33	16+000	641037	9896883	Abajo
C-34	16+500	641474	9896965	Sobre pavimento

En las siguientes figuras se muestra la ubicación en planta de las calicatas realizadas:





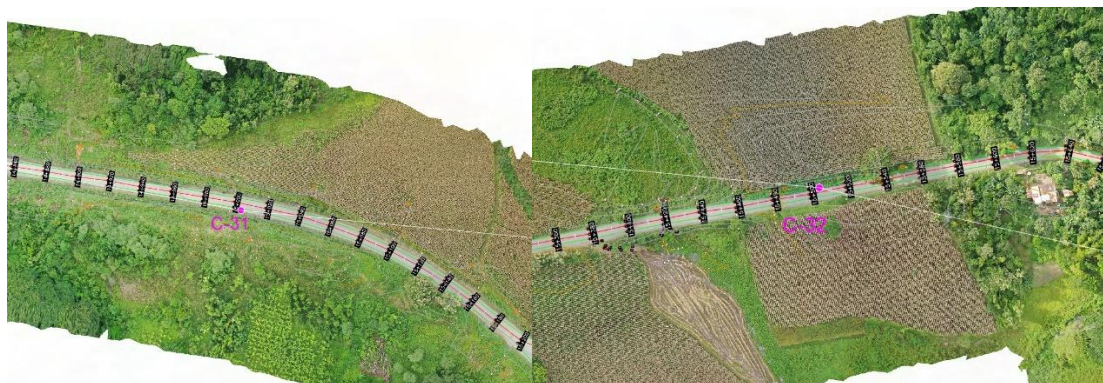












A continuación, se muestra el registro fotográfico de las calicatas realizadas, donde se muestra que la carpeta de rodadura se encuentra en pésimo estado y de manera general ya no se evidencia la presencia de la misma, hacia el sector de Carlos julio Arosemena se muestra que la capa de rodadura se encuentra en buen estado sin embargo en el presente se evaluará la estructura del mismo para evidenciar si cumple para el nivel de servicio.

Hacia la calicata 34 se muestra que existe una carpeta de rodadura que se evidencia en buen estado siendo en la única calicata donde se registró asfalto sin embargo no cuenta con una estructura de pavimento.









4. ENSAYOS DE LABORATORIO

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

- Humedad Natural
- Gradación por Tamices
- Límites de Atterberg

En la parte final del informe, se anexan los registros de las calicatas y los ensayos de laboratorio.

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.

5. DESCRIPCIÓN DE LOS ESTRATOS DE SUELO

5.1 Descripción de materiales

Como se indicó en el apartado de Geotecnia se ha realizado una exhaustiva campaña de exploración con la finalidad de disminuir la incertidumbre en cuanto a la variabilidad de los estratos a lo largo del proyecto. Para lo cual se utilizó la información obtenida de los trabajos de campo y laboratorio de las 34 calicatas.

El material existente se lo ha analizado 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, Sub-base y material de mejoramiento con suelo seleccionado.

A continuación, se indica el máximo contenido de finos para material de Base, Sub-base y material de mejoramiento.

Tabla 2. Porcentaje máximo del contenido de finos para varios tipos de materiales que pueden ser utilizados para conformar la estructura del pavimento

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

Los máximos porcentajes permitidos para los límites líquido y plástico se indican en la Tabla 3

Tabla 3. Porcentajes permitidos para los límites líquido y plástico

Estructura de Pavimento	Límite Líquido	Índice Plástico
Base	25%	6%
Sub-base	25%	6%
Material de Mejoramiento	35%	9%

Los valores de CBR para cada tipo de material varían de acuerdo al siguiente orden

Base $\geq 80\%$

Subbase $\geq 30\%$

Mejoramiento $\geq 20\%$

6. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

Para caracterizar los estratos de suelo, se utilizó la información de la calicata 1 a la calicata 34, donde se obtuvo la siguiente información:

Tabla 4. Resultados de parámetros geotécnicos.

Calicata	Estrato	Espesor m	Contenido de finos	Límite Líquido	Índice Plástico	Módulo Elástico Mpa
C-1	Estrato 1	0,4	14%	22%	4%	80
	Estrato 2	1,6	92%	34%	6%	50
C-2	Estrato 1	0,6	14%	21%	7%	150
	Estrato 2	1,4	93%	48%	16%	38
C-3	Estrato 1	0,2	10%	NP	NP	60
	Estrato 2	1,8	38%	38%	8%	43
C-4	Estrato 1	0,6	17%	21%	7%	104
	Estrato 2	1,4	83%	50%	18%	55
C-5	Estrato 1	0,7	10%	NP	NP	92
	Estrato 2	1,3	85%	45%	15%	47
C-6	Estrato 1	0,7	21%	38%	8%	32
	Estrato 2	1,3	88%	41%	7%	30
C-7	Estrato 1	0,6	13%	NP	NP	102
	Estrato 2	1,4	93%	57%	20%	73
C-8	Estrato 1	0,6	13%	NP	NP	109
	Estrato 2	1,4	86%	68%	25%	78
C-9	Estrato 1	0				
	Estrato 2	2	70%	41%	5%	40
C-10	Estrato 1	0,6	18%	NP	NP	90
	Estrato 2	1,4	84%	40%	11%	65
C-11	Estrato 1	0,2	21%	NP	NP	125
	Estrato 2	1,8	50%	46%	14%	89
C-12	Estrato 1	0,2	45%	30%	6%	32
	Estrato 2	1,8	50%	NP	NP	82

C-13	Estrato 1	0,45	15%	NP	NP	96
	Estrato 2	1,55	80%	52%	12%	88
C-14	Estrato 1	0,4	15%	NP	NP	104
	Estrato 2	1,6	81%	68%	23%	96
C-15	Estrato 1	0,3	26%	24%	5%	47
	Estrato 2	1,7	73%	72%	27%	70
C-16	Estrato 1	0,4	15%	25%	3%	100
	Estrato 2	1,6	86%	67%	26%	72
C-17	Estrato 1	0,3	16%	NP	NP	119
	Estrato 2	1,7	95%	52%	18%	55
C-18	Estrato 1	0,4	61%	51%	11%	62
	Estrato 2	1,6	89%	53%	14%	62
C-19	Estrato 1	0,1	19%	21%	3%	91
	Estrato 2	1,9	92%	68%	18%	91
C-20	Estrato 1	0,1	7%	NP	NP	133
	Estrato 2	1,9	95%	52%	18%	47
C-21	Estrato 1	0,3	19%	38%	9%	53
	Estrato 2	1,7	99%	58%	17%	53
C-22	Estrato 1	0,2	7%	NP	NP	111
	Estrato 2	1,8	90%	48%	13%	50
C-23	Estrato 1	0,4	7%	NP	NP	105
	Estrato 2	1,6	97%	65%	24%	55
C-24	Estrato 1	0,3	7%	32%	7%	50
	Estrato 2	1,7	84%	42%	10%	58
C-25	Estrato 1	0,7	5%	NP	NP	120
	Estrato 2	1,3	97%	58%	21%	58
C-26	Estrato 1	0,6	13%	27%	7%	104
	Estrato 2	1,4	85%	46%	15%	37
C-27	Estrato 1	0,3	17%	26%	6%	53
	Estrato 2	1,7	96%	52%	15%	83
C-28	Estrato 1	0,4	14%	NP	NP	94
	Estrato 2	1,6	94%	46%	10%	60
C-29	Estrato 1	0,2	100%	NP	NP	85
	Estrato 2	1,8	97%	50%	13%	78
C-30	Estrato 1	0,1	17%	NP	NP	36
	Estrato 2	1,9	96%	52%	14%	70
C-31	Estrato 1	0,2	16%	NP	NP	129
	Estrato 2	1,8	96%	74%	27%	58
C-32	Estrato 1	0,2	12%	NP	NP	119
	Estrato 2	1,8	62%	45%	26%	70

C-33	Estrato 1	0,3	13%	NP	NP	38
	Estrato 2	1,7	82%	26%	13%	49
C-34	Estrato 1	0,4	10%	NP	NP	55
	Estrato 2	1,6	82%	27%	14%	53

Los resultados muestran que se identificaron 2 estratos definidos. El estrato 1 con un espesor variable de 20 a 60 cm y un módulo elástico de 90 MPa (12 905 psi), está conformado por gravas y arenas mal gradadas con porcentajes de finos del orden del 15% (véase Figura 2) y valores de límites líquido del 24% (véase Figura 3) e Índice plástico inferior al 7% (véase Figura 4). Por lo expuesto, el material superficial podría calificar como material de relleno.

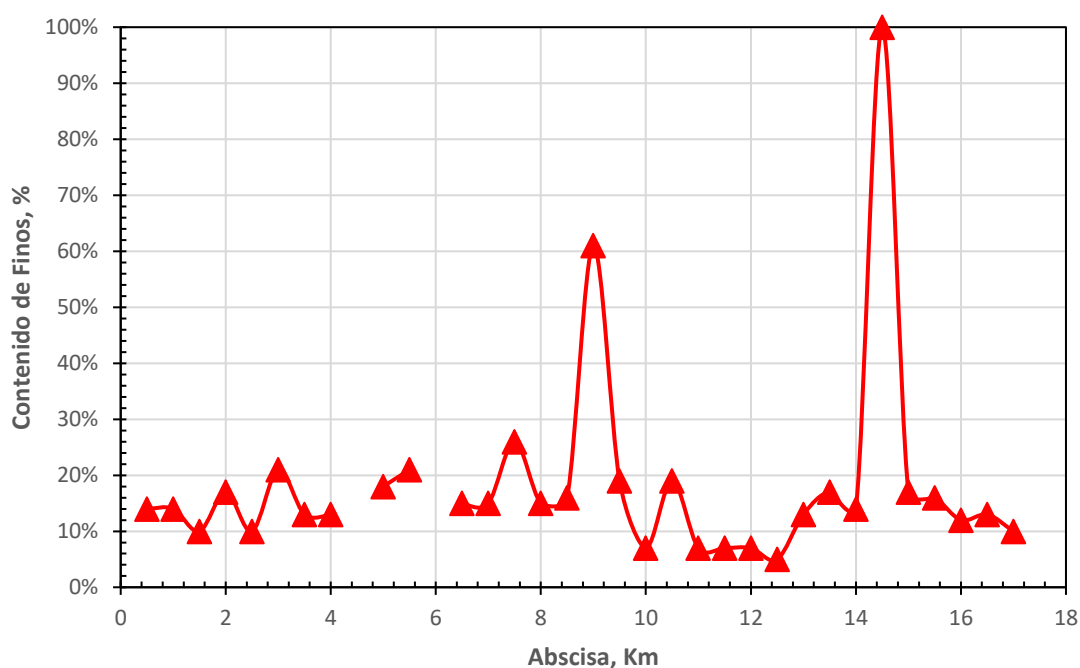


Figura 2._Contenido de finos del material superficial

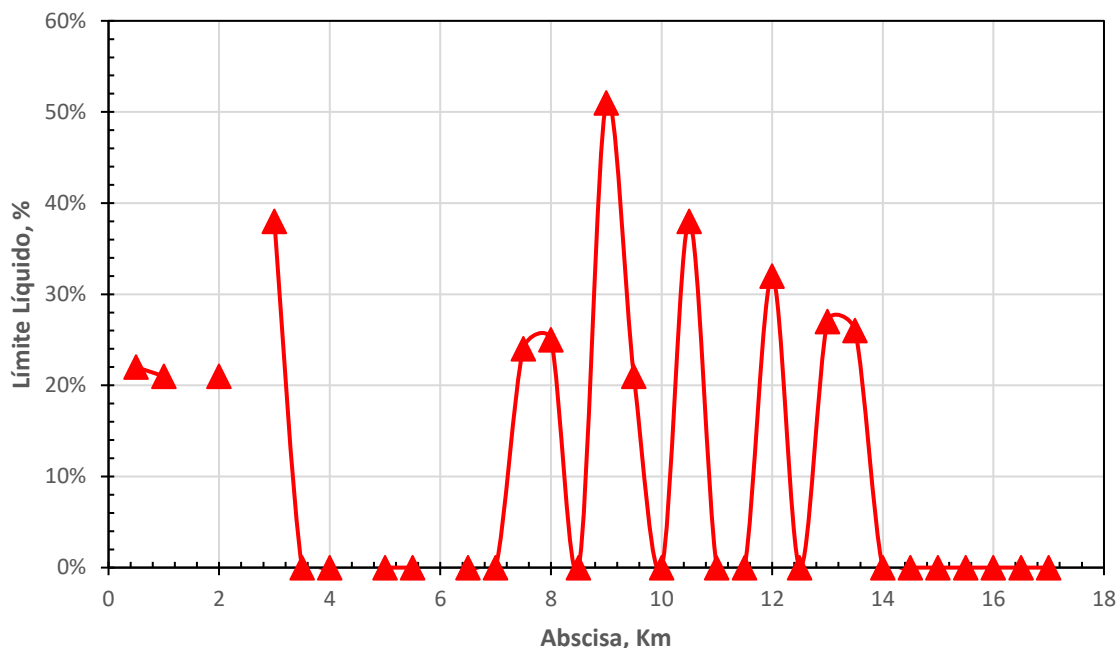


Figura 3._ Límite líquido del material superficial

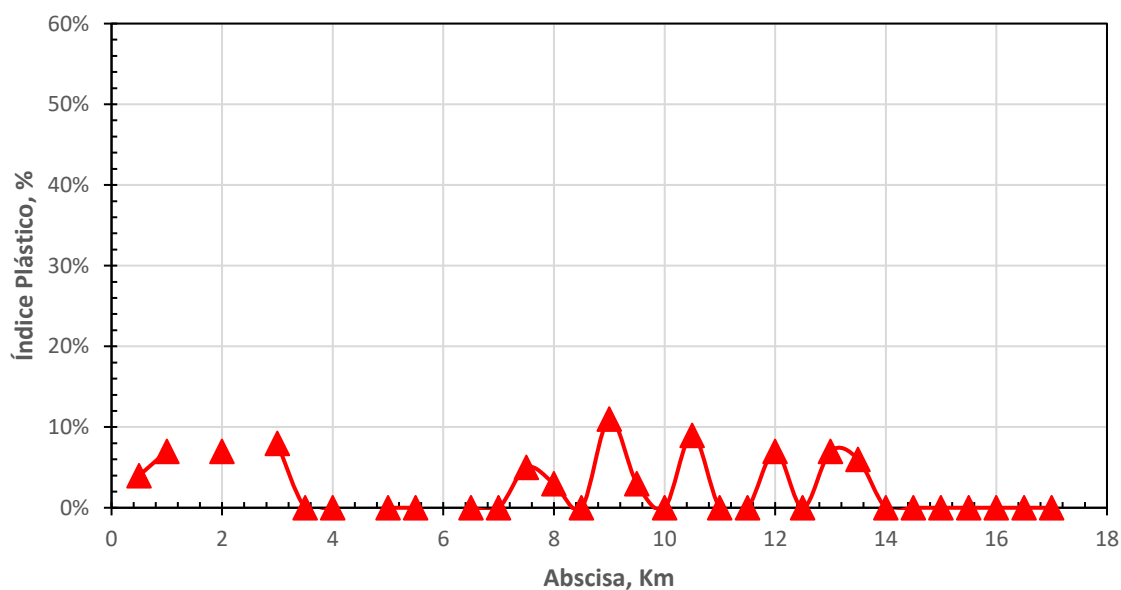


Figura 4._ Índice Plástico del material superficial

El material de la subrasante está conformado por arcillas y limos de baja plasticidad. El Módulo de la subrasante estimado para esta zona se ha definido como el promedio menos una desviación estándar, el cual es de 60 MPa (8 618 psi).

7. ESTUDIO DE TRÁFICO

7.1 Proyección del Tráfico

De acuerdo con el Estudio de Tráfico se estimó la proyección del tráfico a 10 y 20 años, los cuales se muestran en la Tabla 5. Los detalles de la estimación de las tasas de crecimiento y cálculo de TPDA actual se encuentran en el Informe de Tráfico del presente estudio.

Tabla 5. Proyección del Tráfico

TPDA TÍPICO DE LA VÍA							
AÑO	TPDA	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES 2E	CAMIONES 3E	CAMIONES 4E	CAMIONES 5E+
2022	981	858	57	63	2	0	1
2023	1015	890	58	64	2	0	2
2024	1049	922	58	64	2	0	2
2025	1082	955	59	65	2	0	2
2026	1116	988	59	66	2	0	2
2027	1151	1021	60	67	2	0	2
2028	1185	1054	60	67	2	0	2
2029	1219	1087	61	68	2	0	2
2030	1254	1120	61	69	2	0	2
2031	1288	1153	62	70	2	0	2
2032	1322	1185	62	70	2	0	2
2033	1359	1221	63	71	2	0	2
2034	1396	1257	64	72	2	0	2
2035	1434	1293	64	73	2	0	2
2036	1471	1329	65	74	2	0	2
2037	1509	1364	66	74	2	0	2
2038	1546	1400	67	75	2	0	2
2039	1583	1436	67	76	2	0	2
2040	1621	1472	68	77	2	0	2
2041	1658	1507	69	78	2	0	2
2042	1695	1543	70	79	2	0	2

7.2 Cálculo de los ESAL's

Para el cálculo de ESAL'S se utilizaron los factores de daño que recomienda la AASHTO 93, clasificándolos por tipo de vehículo. Considerando los parámetros mencionados anteriormente, en la Tabla 6 se presenta el cálculo del factor de daño.

Tabla 6. Factor de daño

VEHICULO	TPD TOTAL	FACTOR DAÑO	PORCENTAJE	DAÑO EQUIVALENTE
Vehículo TIPO A (Livianos)	858	0,004	87,46%	0,00
Vehículo TIPO B (Buses)	57	3,653	5,81%	0,21
Vehículo TIPO C (Camión C3)	66	2,702	6,73%	0,18
TOTAL	981		100%	0,40

Se realizó una discretización para cada uno de los tipos de vehículos según los factores de crecimiento que se presentan en el estudio de tráfico. Del cálculo se tiene el siguiente número de ESAL's.

Tabla 7. Cálculo de ESAL's

AÑO	TRANSITO PROMEDIO DIARIO				EJES ESAL'S (W ₁₈)	
	TPDA	TIPO A	TIPO B	CAMION	ANUAL	ACUMULADO
2022	981	858	57	66	71.204	71.204
2023	1.016	890	58	68	73.744	144.949
2024	1.048	922	58	68	76.067	221.016
2025	1.083	955	59	69	78.608	299.623
2026	1.117	988	59	70	81.075	380.699
2027	1.152	1.021	60	71	83.616	464.314
2028	1.186	1.054	60	72	86.084	550.398
2029	1.221	1.087	61	73	88.624	639.022
2030	1.255	1.120	61	74	91.092	730.114
2031	1.289	1.153	62	74	93.560	823.673
2032	1.321	1.185	62	74	95.882	919.556

Basados en el análisis de tráfico anteriormente indicado, se determinó un valor de los ESAL's de diseño igual a 919,556 para los 10 AÑOS DE VIDA ÚTIL.

8. DISEÑO DE PAVIMENTOS

8.1 Metodología

Para el cálculo del pavimento flexible se utilizó el método AASHTO-1993, el cual se basa en identificar un "número estructural (SN)" de tal forma que la estructura del pavimento pueda soportar el nivel de carga solicitado.

Para determinar el número estructural, el método se apoya en una ecuación que relaciona algunos parámetros como índice de servicialidad, tráfico proyectado, índice de confiabilidad entre otros.

La fórmula empleada para el cálculo del número estructural es la siguiente:

$$\begin{aligned} \log(W) = & ZR \cdot So + 9,36 \cdot \log(SN + 1) - 0,20 + \log(\Delta PSI \ 4.2 - 1.5) \ 0.40 \\ & + 1094 (SN + 1)^{5.19} + 2,32 \cdot \log(MR) - 8.07 \end{aligned}$$

Donde:

W : Número estimado de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el período de diseño.

ZR : Desviación estándar normal

So : Error estándar combinado de la predicción del tráfico y de la predicción del comportamiento estructural

ΔPSI : Diferencia entre índice de servicio inicial y final

MR : Módulo resiliente (en libras/pulgada²)

SN : Número estructural

Para determinar la desviación estándar se debe partir de un criterio de confiabilidad de acuerdo con la siguiente tabla

Tabla 8. Niveles de confiabilidad

CLASIFICACION	NIVEL DE CONFIABILIDAD RECOMENDADO	
	URBANA	RURAL
Autopistas interestatales y otras	85 - 99,9	80 - 99,9
Arterias colectoras	80 - 99	75 - 95
Colectoras de transitos	80 - 95	75 - 95
Carreteras locales	50 - 80	50 - 80

Al tratarse de una vía principal rural se utiliza un porcentaje de confiabilidad de 90% lo cual da una desviación estándar ZR de 1.28. El parámetro de error combinado es de un valor de So igual a 0.45

El índice de servicialidad se mide en una escala del 1 al 5 como se muestra a continuación.

Indice de Servicio	Calificación
5	Excelente
4	Muy Bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo
	Intransitable

El ΔPSI es la diferencia entre el índice de servicialidad inicial y el final siendo de acuerdo con la literatura existente 4.2 la calificación máxima obtenida en la AASTHO y la calificación mínima permitida es de 2.5 por lo que el $\Delta PSI=1.70$

Luego de determinar este número estructural se procede a estimar mediante un proceso iterativo espesores de capas que multiplicadas por el coeficiente estructural y por coeficiente de capas con la finalidad de que este iguale o supere al número estructural previamente calculado.

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Donde:

SN: Número estructural

a: coeficiente estructural de la capa

D: espesor de la capa en pulgadas

m: coeficiente de drenaje de la capa

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 1 con CBR del orden de 68% o 80% que son los valores que se obtendrían a nivel local

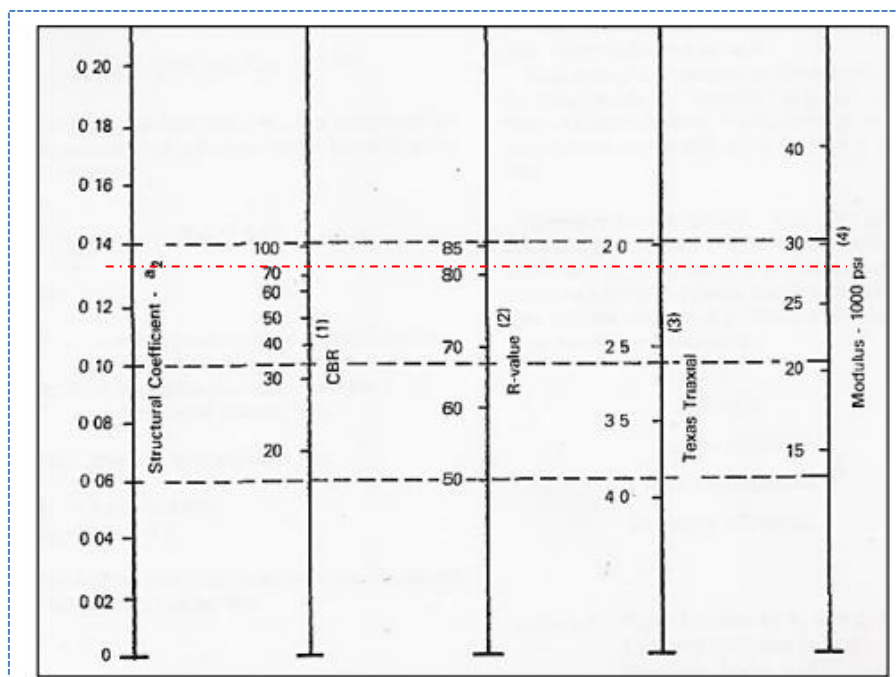


Figura 5._ Gráfico para determinar el coeficiente estructural de la base granular.
Fuente: AASTHO 1993.

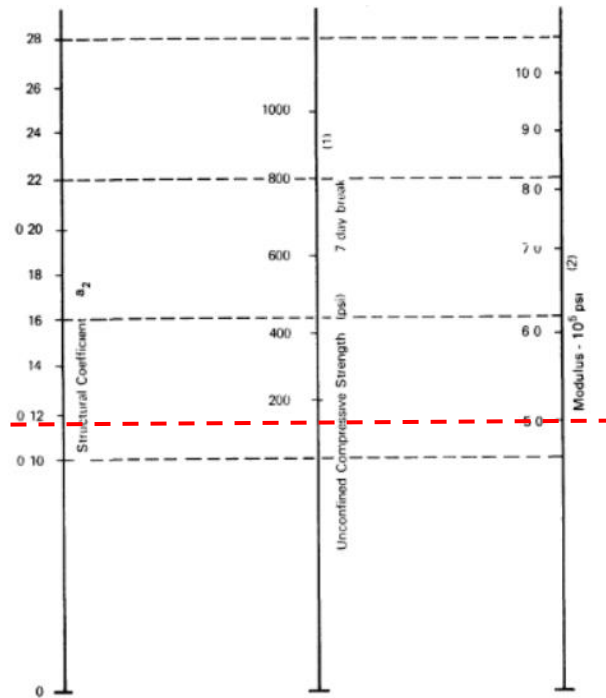


Figura 6._ Gráfico para determinar el coeficiente estructural de la base granular tratada con cemento. Fuente: AASHTO 1993.

Para la sub base se empleó el siguiente ábaco, considerando un CBR del orden del 30% para este tipo de material.

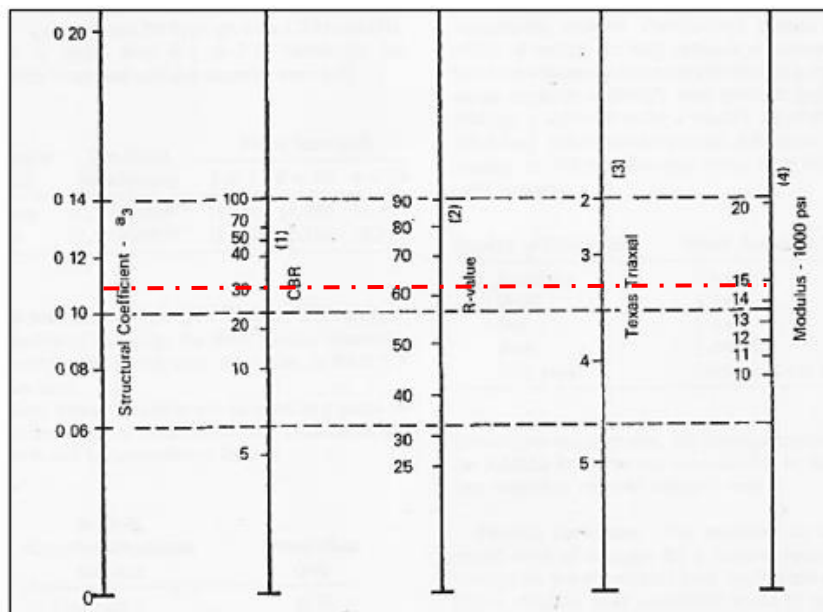


Figura 7._ Gráfico para determinar el coeficiente estructural de la subbase granular. Fuente: AASHTO 1993.

Para determinar los coeficientes de drenaje se emplearon los valores que se presenta en la siguiente tabla. Dado que la zona de estudio es una zona inundable y durante el invierno el drenaje es malo el coeficiente seleccionado es de 0.60 para los análisis siguientes.

Tabla 9. Coeficientes de drenaje Fuente:AASHTO 1993

CARACTERÍSTICAS DEL DRENAJE	AGUA EVACUADA EN	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	1,2
BUENO	1 DIA	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,0
REGULAR	1 SEMANA	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,8
POBRE	1 MES	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,6
MUY MALO	NO DRENA	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,4

Finalmente, definidos los parámetros de diseño se estiman los espesores de las diferentes capas siguiendo los siguientes criterios:

$$\begin{aligned}
 D1 * &\geq SN1 / a1 \\
 SN1 * &= a1.D1 * \geq SN1 \\
 D2 * &\geq SN2 - SN1 * / a2.m2 \\
 SN1 * + SN2 * &\geq SN2 \\
 D3 *.a3.m3 + SN1 * + SN2 * &\geq SN3 *
 \end{aligned}$$

8.2 Alternativa 1.- UTILIZACION DE MATERIALES TRADICIONALES

Esta alternativa se basará en la utilización de materiales tradicionales sin tratar. Es decir, bases y sub-base granulares, y el aprovechamiento del material de sitio. Que de acuerdo con la exploración de campo se detectó una capa de 40 cm de material que califica como material de mejoramiento es decir que podría ser reutilizado como préstamo local.

Los parámetros utilizados para cada capa de la estructura de pavimento se muestran a continuación:

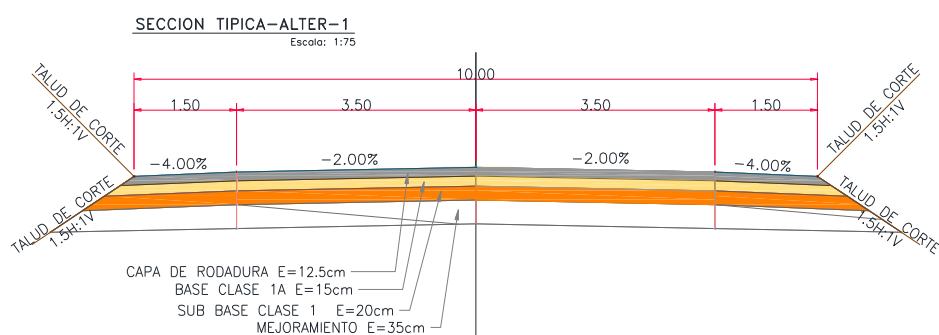
Tabla 10. Parámetros geotécnicos para el diseño de pavimentos Alternativa 1.

Estructura de pavimento	de	Clasificación	CBR %	Módulo Resiliente psi
Capa de Rodadura				420000,00
Base Clase 1		GP	>80%	28000,00
Sub-base Clase 1		GP	>30%	14700,00

Mejoramiento	GW	>20%	11700,00
Material de sitio	SM		8329,00
Subrasante	CH-ML		5770,00

Con los parámetros antes expuestos y utilizando un coeficiente de drenaje (m) de 0.60, se requiere la siguiente estructura de pavimentos:

Tabla 11. Estructura de pavimento requerido para la Alternativa 1



Estructura pavimento	de	Espesor cm	Observación
Capa de Rodadura		12,5	Módulo mínimo 450 000 psi
Base clase 1 A		15	CBR mínimo 80%
Sub-base Clase 1		20	CBR mínimo 30%
Material de mejoramiento		35	Importado o Material de sitio

Figura 8._ Estructura de pavimento Alternativa 1

8.3 Alternativa 2 .- BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO

Esta alternativa evalúa el tratamiento de los agregados con cemento, con la finalidad de aumentar la rigidez del suelo y reducir los espesores de la capa de rodadura.

Tabla 12. Parámetros geotécnicos para el diseño de pavimentos Alternativa 2.

Estructura pavimento	de	Clasificación	CBR %	Módulo Resiliente psi
Capa de Rodadura				420000,00

Base clase 1A				
tratada con cemento	GP	>80%	28000,00	
Sub-base Clase 1	GP	>30%	14700,00	
Mejoramiento	GW	>15%	11700,00	
Subrasante	CH-ML		5770,00	

Con los parámetros antes expuestos y utilizando un coeficiente de drenaje (m) de 0.60, se requiere la siguiente estructura de pavimentos que se detalla a continuación:

Tabla 13. Estructura de pavimento requerido para Alternativa 2

Estructura de pavimento	Espesor cm	Observación
Capa asfáltica	5	
Base clase 1 estabilizada con cemento	25	CBR mínimo 80%
Subbase Clase 1	40	CBR mínimo 30%
Material de Mejoramiento	50	Importado o Material de sitio

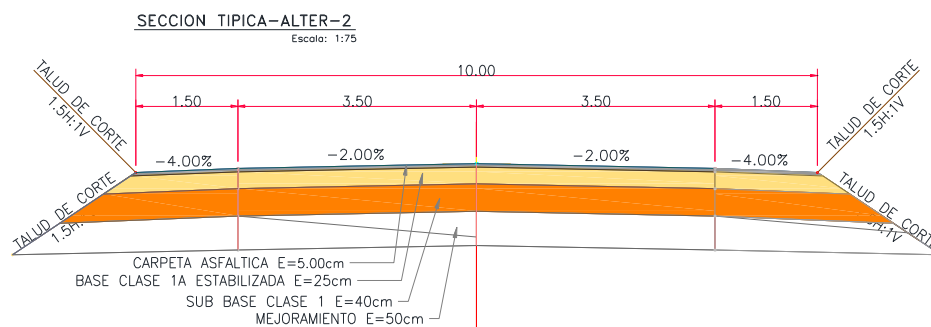


Figura 9._ Estructura de pavimento Alternativa 2

8.4 Alternativa 3.- BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO Y MATERIAL FILTRANTE

Esta alternativa evalúa el tratamiento de los agregados con cemento, con la finalidad de aumentar la rigidez del suelo y reducir los espesores de la capa de rodadura, implementando el uso de material filtrante para incrementar el coeficiente de drenaje y de esta manera disminuir los espesores de las capas del pavimento.

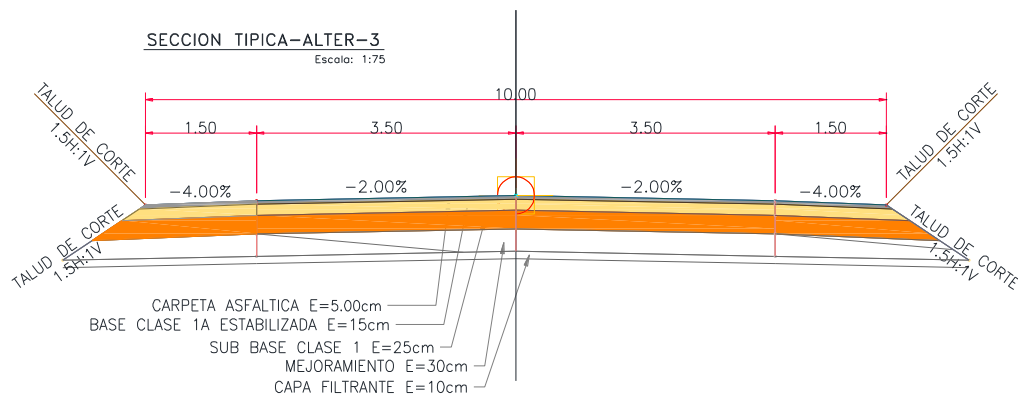
Tabla 14. Parámetros geotécnicos para el diseño de pavimentos Alternativa 3.

Estructura de pavimento	Clasificación	CBR %	Módulo Resiliente psi
Capa asfáltica			420000,00
Base clase 1A estabilizada con cemento	GP	>80%	28000,00
Subbase clase 1	GP	>30%	14700,00
Material de Mejoramiento	GW	>15%	11700,00
Subrasante	CH-ML		5770,00

Con los parámetros antes expuestos y utilizando un coeficiente de drenaje (m) de 1,1 para la base y para el resto de capas un coeficiente de drenaje de 0,6, se requiere la siguiente estructura de pavimentos que se detalla a continuación:

Tabla 15. Estructura de pavimento requerido para zona Alternativa 3,

Estructura de pavimento	Espesor cm	Observación
Capa asfáltica	5	Módulo mínimo 450 000 psi
Base clase 1A estabilizada con cemento	15	Resistencia Compresión 25kg/cm ²
Subbase clase 1	25	CBR>30%
Material de Mejoramiento	30	Material de sitio o importado
Capa filtrante	10	Material de filtro



9. ALTERNATIVA SELECCIONADA

Para la selección de la mejor alternativa de pavimento se tomará en cuenta la inversión inicial y las inversiones futuras. La inversión inicial se define como el costo de rehabilitación vial para llevar a la vía a niveles óptimos de desempeño mientras que las inversiones futuras son el costo de mantenimiento vial para garantizar que la vida útil del pavimento sea de al menos 10 años.

Para estimar el costo inicial se identificaron los volúmenes de los materiales a implementarse y se obtuvo un presupuesto enfocado al movimiento de tierras y la ejecución de los trabajos correspondientes a la construcción de las capas de pavimento.

A continuación, se presenta el análisis comparativo de las alternativas estudiadas, cabe indicar que de acuerdo con el estudio de fuentes de materiales la cantera de la cual se obtendrán los materiales para la construcción de las capas se encuentra a 61 km del proyecto:

PRESUPUESTO REFERENCIAL - ALTERNATIVA 1

RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
ago-22					
MOVIMIENTO DE TIERRA					
	EXCAVACION SIN CLASIFICACION (empuje = 60 m) (con % relleno compactado)	m3	23731,40	1,38	32.749,3320
	DESALOJO MATERIAL DE EXCAVACION (distancia hasta 10 km)	m3	23731,40	3,31	78.550,9340
SUBTOTAL A					111.300,2660
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO					
	MATERIAL DE PRESTAMO IMPORTADO (*)	m3	28148,86	5,49	154.537,2414
	TRANSPORTE DE MATERIAL DE PRESTAMO IMPORTADO, LONGITUD DE ACARREO DE 45-180 KM	m3-km	1717080,46	0,28	480.782,5288
	MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE CON SUELO SELECCIONADO (Incluye transporte)	m3	66746,51	21,25	1.418.363,3375
	SUB-BASE CLASE 1 (e=0.20m) (inc. transporte)	m3	35286,34	29,39	1.037.065,5326
	BASE CLASE 1 (e=0.15 m) (inc. Transporte)	m3	25203,42	40,55	1.021.998,6810
	IMPRIMACION ASFALTICA.....	m2	161071,36	1,19	191.674,9184
	RIEGO DE LIGA	m2	161071,36	0,54	86.978,5344
	CAPA DE RODADURA DE HORM. ASF. MEZCLADO EN PLANTA E=12.5 cm (5") (Inc. transporte)	m2	161071,36	19,91	3.206.930,7776
SUBTOTAL B					7.598.331,5517
MOVIMIENTO DE TIERRA					
	BORDILLO CUNETA f'c = 280 kg/cm2 VH=0.16 m3/m	m	1400,00	50,37	70.518,0000
	ACERAS H.S. CLASE "B" (210 kg/cm2) VH=0.10 m3/m2	m2	1400,00	19,38	27.132,0000
SUBTOTAL C					97.650,0000
TOTAL					\$ 7.807.281,8177

PRESUPUESTO REFERENCIAL - ALTERNATIVA 2

RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
ago-22					
MOVIMIENTO DE TIERRA					
	EXCAVACION SIN CLASIFICACION (empuje = 60 m) (con % relleno compactado)	m3	95556,03	1,38	131.867,3214
	DESALOJO MATERIAL DE EXCAVACION (distancia hasta 10 km)	m3	95556,03	3,31	316.290,4593
SUBTOTAL A					448.157,7807
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO					
	MATERIAL DE PRESTAMO IMPORTADO (*)	m3	5792,91	5,49	31.803,0759
	TRANSPORTE DE MATERIAL DE PRESTAMO IMPORTADO, LONGITUD DE ACARREO DE 45-180 KM	m3-km	353367,51	0,28	98.942,9028
	MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE CON SUELO SELECCIONADO (Incluye transporte)	m3	102601,45	21,25	2.180.280,8125
	SUB-BASE CLASE 1 (e=0.40 m) (inc. transporte)	m3	72975,12	30,28	2.209.686,6336
	BASE DE AGREGADOS ESTABILIZADA CON CEMENTO PORTLAND (con maquinaria) (inc. Transporte)a	m3	41705,38	81,61	3.403.576,0618
	IMPRIMACION ASFALTICA.....	m2	161071,36	1,19	191.674,9184
	CAPA DE RODADURA DE HORM. ASF. MEZCLADO EN PLANTA E=5 cm (2") (Inc. transporte).....	m2	161071,36	12,42	2.000.506,2912
SUBTOTAL B					10.116.470,6962
MOVIMIENTO DE TIERRA					
	BORDILLO CUNETA f'c = 280 kg/cm2 VH=0.16 m3/m	m	1400,00	50,37	70.518,0000
	ACERAS H.S. CLASE "B" (210 kg/cm2) VH=0.10 m3/m2	m2	1400,00	19,38	27.132,0000
SUBTOTAL C					97.650,0000
TOTAL					\$ 9.701.452,3205

PRESUPUESTO REFERENCIAL - ALTERNATIVA 3					
RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
ago-22					
MOVIMIENTO DE TIERRA					
	EXCAVACION SIN CLASIFICACION (empuje = 60 m) (con % relleno compactado)	m3	18258,50	1,38	25.196,7300
	DESALOJO MATERIAL DE EXCAVACION (distancia hasta 10 km)	m3	18258,50	3,31	60.435,6350
SUBTOTAL A					85.632,3650
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO					
	MATERIAL DE PRESTAMO IMPORTADO (*)	m3	38603,77	5,49	211.934,6973
	TRANSPORTE DE MATERIAL DE PRESTAMO IMPORTADO, LONGITUD DE ACARREO DE 45-180 KM	m3-km	2354829,97	0,28	659.352,3916
	MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE CON SUELO SELECCIONADO (Incluye transporte)	m3	56500,02	21,25	1.200.625,4250
	CAPA FILTRANTE DE PIEDRA TRITURADA	m3	16107,14	31,61	509.146,5690
	SUB-BASE CLASE 1 (e=0.25 m) (inc. transporte)	m3	43507,29	30,00	1.305.218,7000
	BASE DE AGREGADOS ESTABILIZADA CON CEMENTO PORTLAND (con maquinaria) (inc. Transporte)a	m3	24662,83	81,61	2.012.733,5563
	IMPRIMACION ASFALTICA.....	m2	161071,36	1,19	191.674,9184
	CAPA DE RODADURA DE HORM. ASF. MEZCLADO EN PLANTA E=5 cm (2") (Inc. transporte).....	m2	161071,36	12,42	2.000.506,2912
SUBTOTAL B					8.091.192,5488
MOVIMIENTO DE TIERRA					
	BORDILLO CUNETA f'c = 280 kg/cm2 VH=0.16 m3/m	m	1400,00	50,37	70.518,0000
	ACERAS H.S. CLASE "B" (210 kg/cm2) VH=0.10 m3/m2	m2	1400,00	19,38	27.132,0000
SUBTOTAL C					97.650,0000
TOTAL					\$ 8.274.474,9138

9.1 Selección de alternativas

Una vez obtenidas las alternativas y costos de las propuestas para el pavimento, se realizó una evaluación económica del proyecto, utilizando el modelo Highway Development & Management HDM-4, desarrollado por el Banco Mundial, para lo cual se toma en consideración dos alternativas, una es la alternativa "solamente dar un mantenimiento periódico básico cada tres años con suministro de material granular", condición "ALTERNATIVA BASE" y, la otra constituye las alternativas previstas como potenciales intervenciones a ejecutar según los diseños previstos en el Informe de Pavimentos. En el informe de evaluación técnica y económica de alternativas de pavimento se detalla cada una de las consideraciones para la determinación de la alternativa más viable, siendo los resultados los siguientes:

En términos de VAN, las alternativas que muestran un mayor beneficio se ordenan de mayor a menor con el siguiente criterio: 1, 3, 2.

En términos de TIR, las alternativas que muestran una mejor recuperación de la inversión en el tiempo se ordenan de mayor a menor con la siguiente relación: 1, 3, 2.

En términos de relación Beneficio/Costo (B/C), las alternativas se ordenan de mayor a menor. Siendo la alternativa 1 la que mejor relación C/B tiene, le sigue la alternativa 3 y finalmente la 2.

Se concluye que las alternativas 1 y 3 presentan índices muy similares de rentabilidad y es la alternativa 1 la que supera en el orden de las centésimas (y milésimas para la TIR) a la alternativa 3.

10. CONCLUSIONES

Se concluye que la mejor alternativa desde el punto de vista económico-financiero es la Alternativa 1. Su implementación en el proyecto garantizará el menor costo de inversión inicial y garantiza su durabilidad en términos de niveles de servicio durante el periodo de vida útil del proyecto.

Elaborado:	Revisado:	Aprobado:
Ing. Danilo Dávila G. Esp. Ing. Geotécnica	Ing. Víctor Chacón Franco Analista senior vial y tráfico	Ing. Jorge Carrillo Tutiven Director de estudios y fiscalización