CONTRATO NO. S-CON-16-2024-X-0

“ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS DE LA VÍA SECTOR FÁTIMA-VILLAO LÍMITE PROVINCIAL, INCLUYE PUENTES EN EL CANTÓN PEDRO CARBO DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS.”



Kawsus

CONSULTORÍA Y ASESORÍA

PROYECTO:

“ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS DE LA VÍA SECTOR FÁTIMA-VILLAO LÍMITE PROVINCIAL, INCLUYE PUENTES EN EL CANTÓN PEDRO CARBO DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS.”

DISEÑO DE PAVIMENTO

MARZO-2024

Cliente:	**PREFECTURA DEL GUAYAS**
Proyecto:	“ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS DE LA VÍA SECTOR FÁTIMA-VILLAO LÍMITE PROVINCIAL, INCLUYE PUENTES EN EL CANTÓN PEDRO CARBO DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS.”
Documento:	KAW-PG-INF-PAV-007
Título:	INFORME PAVIMENTOS

Preparó:	KAWSUS CIA LTDA.	
Preparó:	Ing. Mario Almache Especialista en Geotecnia y Pavimentos	Firmado electrónicamente por: LUIS MARIO ALMACHE SANCHEZ Validar únicamente con FirmaEC
Revisó	Ing. Danilo Bustos DIRECTOR DE PROYECTO	Firmado electrónicamente por: CRISTIAN DANILO BUSTOS CABRERA Validar únicamente con FirmaEC
Aprobó:	Ing. Byron Chacha ADMINISTRADOR DEL CONTRATO	Firmado electrónicamente por: BYRON RODRIGO CHACHA CABRERA Validar únicamente con FirmaEC

CONTROL DE CAMBIOS	
Rev. 00	
Rev. 00	

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. UBICACIÓN 4
2. OBJETIVOS GENERAL Y ESPECIFICOS 5
2.1 Objetivo General 5
2.2 Objetivos Específicos 5
3. TRABAJOS REALIZADOS. 5
3.1 Metodología aplicada en el componente geotécnico 5
3.2 Estudio de tráfico 7
3.3 Introducción a pavimentos flexibles 9
3.4 Método ASSHTO 9
3.4.1 Estimación de ejes equivalentes simples (ESAL's W18) 10
3.4.2 Desviación Estándar (ZR) 11
3.4.3 Desviación Estándar Combinada (S0) 12
3.4.4 Índice de serviciabilidad (PSI) 12
3.4.5 Número estructural requerido (SN REQUERIDO) 12
3.5 Método ASSHTO para diseño de pavimentos flexibles reforzados con Geomallas Coextruídas 16
3.6 Método ASSHTO para diseño de pavimentos flexibles mediante bases estabilizadas con cemento 17
4. DISEÑO DE PAVIMENTO 19
4.1 Coeficiente de drenaje 20
4.2 Criterios de deformidad y fatiga 21
4.3 Método de la vida remanente 22
4.4 Diseño inicio hasta 11+920 25
4.4.1 Método AASHTO 26
4.4.2 Método AASHTO con geomalla 28
4.4.3 Método AASHTO con base estabilizada con cemento 30
4.5 Diseño 11+920 hasta FIN 32
4.5.1 Método AASHTO 33
4.5.2 Método AASHTO con geomalla 35
4.5.3 Método AASHTO con base estabilizada con cemento 37
5. RESULTADOS 39
5.1 Diseño Inicio hasta Abscisa 11+920 39
5.2 Diseño Abscisa 11+920 hasta FIN 39
6. ANÁLISIS ECONÓMICO 40
7. ANÁLISIS TÉCNICO 41
8. CONCLUSIONES 42
9. BIBLIOGRAFÍA 45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Coordenadas Inicio Fin Vía 4
Tabla 3-1: Resultados Ensayos Proctor y CBR 6
Tabla 3-2 Transito asignado para el 2024 7
Tabla 3-3 Tasas de crecimiento utilizadas para el parque automotor – Provincia del Guayas 8
Tabla 3-4 Proyección del TPDA para el periodo de diseño (n=10 y 20 años) 8
Tabla 3-5 Clasificación de carreteras en función del tráfico proyectado 9
Tabla 3-6 Cálculo de tráfico W_{18} Etapa 1 11
Tabla 3-7 Cálculo de tráfico W_{18} Etapa 2 11
Tabla 3-8 CBR DE DISEÑO ACORDE ESAL's 16
Tabla 4-1 Coeficientes estructurales 19
Tabla 4-2 Valores de serviciabilidad y confiabilidad 19
Tabla 4-3 Modulo de las capas granulares 20
Tabla 4-4 Módulo resiliente de la Base estabilizada 20
Tabla 4-5 Valores de $f1, f2, f3$: 21
Tabla 4-6 Valores de $f4, f5$ 21
Tabla 4-7 Módulos de Poisson recomendados para Base y Subbase 21
Tabla 4-8 Módulos de Poisson recomendados para Base y Subbase 22
Tabla 4-9 Valores estimados tramo 1 23
Tabla 4-10 Valores estimados tramo 2 24
Tabla 4-11 Módulo de la subrasante. 25
Tabla 4-12 Módulo de la subrasante. 32

ANEXOS

ANEXO 1.- DISEÑO PAVIMENTO GUAYAS CBR 8.62 de 10 años
ANEXO 2.- DISEÑO PAVIMENTO GUAYAS CBR 8.62 de 20 años
ANEXO 3.- DISEÑO PAVIMENTO GUAYAS CBR 18.39 de 10 años
ANEXO 4.- DISEÑO PAVIMENTO GUAYAS CBR 18.39 de 20 años

1. UBICACIÓN

El proyecto *"ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS DE LA VÍA SECTOR FÁTIMAVILLAO-LÍMITE PROVINCIAL, INCLUYE PUENTES EN EL CANTÓN PEDRO CARBO DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS"* geográficamente se encuentra ubicado en la provincia del Guayas, cantón Pedro Carbo, parroquia Pedro Carbo tiene una longitud aproximada de 22km iniciando desde el poblado cercano Fátima hasta el poblado de Las Vegas.

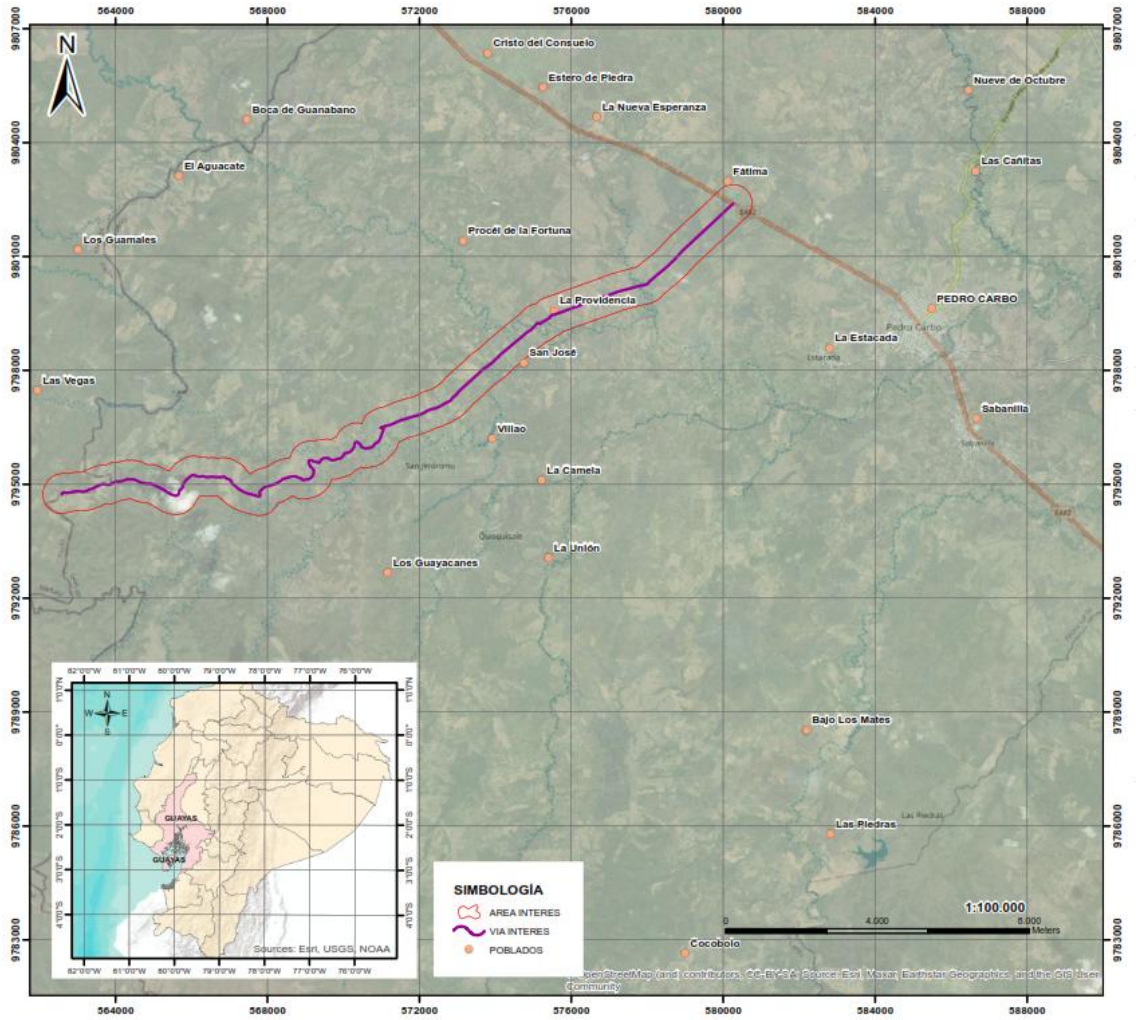


Figura 1-1 Ubicación general del proyecto

Tabla 1-1: Coordenadas Inicio Fin Vía

Sistema de coordenadas UTM WGS84 17S			
Punto	**Este**	**Norte**	**Poblado**
Inicio	580261	9802389	Fátima
Fin	562585	9794729	Las Vegas

2. OBJETIVOS GENERAL Y ESPECIFICOS.

2.1 Objetivo General

Realizar los “ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS DE LA VÍA SECTOR FÁTIMA-VILLAO LÍMITE PROVINCIAL, INCLUYE PUENTES EN EL CANTÓN PEDRO CARBO DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS.”, referentes a mecánica de suelos para el diseño del pavimento

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar el Numero Estructural del diseño de pavimentos (SN), para un número determinado de ejes equivalentes, considerando un periodo de diseño de 10 años con recapeo de los 10 a 20 años, a través del método AASHTO – 93.
- Determinar los espesores de las capas estructurales del pavimento, así como el espesor de la capa de rodadura.

3. TRABAJOS REALIZADOS.

3.1 Metodología aplicada en el componente geotécnico

Para determinar los parámetros físicos – mecánicos del subsuelo, y consecuentemente el comportamiento del material frente a las cargas a ser impuestas por el paso vehicular, se realizó por una parte ensayos de campo, posteriormente, las muestras recuperadas en los ensayos de campo fueron sometidos a ensayos de laboratorio; y finalmente, el procesamiento de la información obtenida como se indica en el informe de Caracterización geotécnica.

Con la finalidad de evaluar el potencial de resistencia de la subrasante ejecutaron 51 calicatas para la obtención del CBR en laboratorio. El ensayo requerido para el ámbito vial realizados en el laboratorio, juntamente con la normativa aplicada, fue el siguiente:

Ensayo Relación Soporte de California C.B.R. ASTM D 1883 – 73

Sirve para medir la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo con el fin de poder evaluar la calidad del terreno y su uso como parte de la estructura vial, tal como subrasante, sub base y base de pavimentos. Su valor suele estar expresado en porcentaje y varía normalmente entre el 0 y el 100, representando los valores cercanos a 100, suelos de excelente calidad; por el contrario, los suelos con valores muy bajos representan deficiente calidad.

En los distintos tramos del proyecto, además de la subrasante, existe una capa de mejoramiento, lo que implica la presencia de dos valores de CBR (California Bearing Ratio). En las zonas donde se requiere relleno, sería posible utilizar el CBR de la capa de mejoramiento, mientras que en los tramos donde es necesario realizar cortes, se podría considerar el CBR de la subrasante. Sin embargo, esta práctica no es constructivamente factible y puede generar complicaciones debido a la variabilidad de las capas. Además, dado que la subrasante es la capa predominante en la mayoría de los tramos, se opta por utilizar el CBR de la subrasante para todo el diseño. Esto no solo simplifica el proceso de construcción, sino que también proporciona un enfoque más conservador y seguro.

La siguiente tabla, expone los resultados de los ensayos Proctor y CBR de las muestras alteradas recuperadas a diferentes profundidades.

Tabla 3-1: Resultados Ensayos Proctor y CBR

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PROCTOR Y CBR MUESTRAS ALTERADAS RECUPERADAS EN CALICATAS						
CALICATA Nº	CLASIFICACIÓN SUCS	CLASIFICACIÓN AASHTO	H. OPTIMA %	Y (gr / cm ³)	CBR AL 100%	CBR AL 95%
C - 1	CH	A-7-6 (51)	21	1.705	8.43	6.38
C - 2	CH	A-7-6 (48)	21.5	1638	9.69	9.26
C - 3	CH	A-7-6 (44)	21.8	1.643	12.13	10.62
C - 4	CH	A-7-6 (35)	21.5	1.66	22.6	20.3
C - 5	SC	A-6 (3)	10.2	1.98	58.61	51.5
C - 6	CL	A-6 (16)	18.4	1.678	13.57	11.6
C - 7	ML	A-4 (2)	16.8	1.724	35.97	33.4
C - 8	SM	A-2 - 4 (0)	14.4	1.75	53.27	41
C - 9	CH	A-7-6 (50)	19.4	1.555	8.02	6.6
C - 10	CH	A-7-6 (41)	22	1.652	12.85	11.95
C - 11	CH	A-7-6 (24)	20.5	1.64	15.7	14.1
C - 12	CH	A-7-6 (26)	21.5	1.669	12.34	10.92
C - 13	CL	A-6 (4)	19.5	1.732	14.8	12.6
C - 14	ML	A-5 (8)	16	1.718	19.8	17.6
C - 15	CL - ML	A – 4 (0)				
C - 15.1	SM	A-2 - 4 (0)	14.2	1.74	53.26	48.9
C - 16	SM	A-2 - 4 (0)	18.8	1.765	45.84	23.2
C - 17	CL	A-7-6 (18)	20	1.68	10.92	8.94
C - 18	CH	A-7-6 (48)	21.75	1.712	9.53	7.85
C - 19	CL	A-7-6 (18)	21.5	1.705	10.21	8.18
C - 20	CL	A-7-6 (21)	18	1.683	11.58	10.05
C - 21	SM	A - 4 (0)	16	1.77	52.34	44.5
C - 22	CL	A-6 (7)	14.5	1.7	8.25	7.2
C - 23	CH	A-7-6 (41)	19.5	1.715	9.68	8.3
C - 24	SC	A-4 (1)	11.3	1.96	56.99	43.5
C - 25	CL	A-6 (7)	19.6	1.702	11	10.09
C - 26	SM	A - 4)0)	16	1.737	53.17	35
C - 27	CH	A-7-6 (21)				
C - 27.1	CL	A-6 (6)	14.2	1.7	9.23	7.58
C - 28	SM	A- 4 (0)	15.8	1.745	51	35
C - 29	CL	A-6 (6)	15.5	1.71	21.03	14.6
C - 30	SM	A- 4 (0)	15	1.732	51.67	41
C - 31	SC	A-7 -6 (2)	11.5	1.997	61.71	54.6

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PROCTOR Y CBR MUESTRAS ALTERADAS RECUPERADAS EN CALICATAS						
CALICATA Nº	CLASIFICACIÓN SUCS	CLASIFICACIÓN AASHTO	H. OPTIMA %	Y (gr / cm ³)	CBR AL 100%	CBR AL 95%
C - 32	SC	A-4 (2)	11	1.958	37.04	31.9
C - 33	CL	A-7-6 (7)	18	1.72	21.95	17.81
C - 34	ML	A- 4 (0)	15.1	1.753	35.63	31.4
C - 35	SM	A- 4 (0)	14.9	1.731	40.8	32.4
C - 36	SM	A- 4 (0)	14.7	1.738	38.71	34.7
C - 37	ML	A-7-5 (15)	18.35	1.665	24.38	17.1
C - 38	MH	A-7-5 (16)	19.7	1.652	22.68	18.01
C - 39	SM	A-2-4 (0)	14.5	1.785	29.1	27.7
C - 40	ML	A-5 (7)	17.3	1.681	13.12	11.8
C - 41	CH	A-7-6 (28)	21	1.628	20.48	19.42
C - 42	MH	A-7-5 (7)	20.9	1.685	24.01	19.7
C - 43	CL	A-7-6 (17)	19.1	1.691	24.32	19.3
C - 44	SM	A-4 (0)	14.2	1.768	31.33	20.2
C - 45	CH	A-7-6 (17)	20.8	1.665	17.37	16.38
C - 46	CL	A-7-6 (11)	18.9	1.708	24.96	20.1
C - 47	CH	A-7-6 (29)	21.15	1.614	21.46	19.2
C - 48	SM	A-5 (0)	14.5	1.74	35.6	27.7
C - 49	ML	A-7-5 (13)	18.4	1.707	37.41	34.8
C - 50	ML	A-7-5 (13)	18.1	1.708	19.85	18.52
C - 51	SM	A-7-6 (5)	15.3	1.74	40.21	31.6

Acorde a los valores de CBR de la subrasante se ha dividido en 2 grupos, la primera desde la abscisa 0+000 hasta la abscisa 11+920 (es decir de la calicata 1 a la 29) y la segunda desde la abscisa 11+920 hasta el fin de la vía (Calicata 29 a la 51).

3.2 Estudio de tráfico

Se realizó conteo del tráfico vehicular en diferentes sitios del proyecto como se indica en el Estudio de Tráfico. Del mismo tenemos que:

Tabla 3-2 Transito asignado para el 2024

Tipo de vehículo	Transito asignado 2024
MOTOS	457
LIVIANOS	472
BUSES	6
CAMION C2	17
CAMION C3	8
CAMION C4 O MAS	0

Las tasas de crecimiento que se consideraron las mostradas en la Tabla 3-3, estos valores corresponden a tasa de crecimiento vehicular de la provincia del Guayas establecidas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP).

Tabla 3-3 Tasas de crecimiento utilizadas para el parque automotor – Provincia del Guayas

PERIODO		LIVIANOS	BUSES	CAMIONES
2020	2025	5.56%	3.00%	3.33%
2025	2030	4.95%	2.67%	2.96%
2030	2035	4.45%	2.40%	2.67%
2035	2040	4.04%	2.18%	2.43%

En la Tabla 3-4 se presenta los valores de TPDA proyectados a partir de 2025, año en el que se espera la construcción de la vía, para el periodo de 10 años y final de periodo de diseño (20 años).

Tabla 3-4 Proyección del TPDA para el periodo de diseño (n=10 y 20 años)

PROYECCION DEL TPDA DEL PROYECTO PARA UN PERIODO DE DISENO DE 20 AÑOS							
#	AÑO	LIVIANOS	BUSES	C2	C3	C4 o mas	TPDA TOTAL
0	2025	495	7	17	8	0	527
1	2026	520	7	18	8	0	552
2	2027	545	7	18	8	0	579
3	2028	572	7	19	9	0	607
4	2029	601	7	19	9	0	636
5	2030	615	7	20	9	0	652
6	2031	643	8	20	9	0	680
7	2032	671	8	21	10	0	710
8	2033	701	8	21	10	0	740
9	2034	732	8	22	10	0	773
10	***2035***	***736***	***8***	***22***	***10***	***0***	***776***
11	2036	765	8	22	10	0	806
12	2037	796	9	23	11	0	838
13	2038	828	9	24	11	0	872
14	2039	862	9	24	11	0	906
15	2040	897	9	25	11	0	942
16	2041	933	9	25	12	0	979
17	2042	971	10	26	12	0	1018
18	2043	1010	10	27	12	0	1058
19	2044	1051	10	27	13	0	1100
20	***2045***	***1093***	***10***	***28***	***13***	***0***	***1144***

Para 10 años se tiene un **TPDA de 776** vehículos, y para el final del periodo de diseño se obtiene un **TPDA de 1144**, en estas proyecciones no se han considerado las motocicletas pues estos no tienen una incidencia.

En la normativa del ministerio de transporte y obras públicas del Ecuador (MOP, 2003), se presenta la clasificación de las vías en función del tráfico proyectado, en función de eso esta carretera se clasifica como una **Vía clase II.**

Tabla 3-5 Clasificación de carreteras en función del tráfico proyectado

CLASIFICACION DE CARRETERAS EN FUNCION DEL TRAFICO PROYECTADO

Clase de Carretera	Tráfico Proyectado TPDA *
R-I o R-II	Más de 8.000
I	De 3.000 a 8.000
II	De 1.000 a 3.000
III	De 300 a 1.000
IV	De 100 a 300
V	Menos de 100

* El TPDA indicado es el volumen de tráfico promedio diario anual proyectado a 15 o 20 años. Cuando el pronóstico de tráfico para el año 10 sobrepasa los 7.000 vehículos debe investigarse la posibilidad de construir una autopista. Para la determinación de la capacidad de una carretera, cuando se efectúa el diseño definitivo, debe usarse tráfico en vehículos equivalentes.

3.3 Introducción a pavimentos flexibles

También llamado pavimento asfáltico o de concreto bituminoso, su estructura generalmente está constituida de dos o más capas, una capa de subrasante preparada y compactada, una capa de subbase que puede ser omitida dependiendo de la calidad de la subrasante, una capa de base que se coloca sobre la subbase o la subrasante, y una carpeta asfáltica que consiste de una mezcla de material bituminoso y agregados que se coloca sobre la base; este tipo de pavimento no posee juntas. En la Figura 3-1 se puede observar los elementos que conforman típicamente este pavimento.



Figura 3-1 Sección transversal típica de un pavimento flexible

Este estudio considera que la estructura inferior a la carpeta asfáltica, sea diseñada con una capa de Base Granular y una capa de mejoramiento, para lo cual serán analizadas las características de este material con la metodología AASHTO 1993.

3.4 Método ASSHTO

La metodología AASHTO para pavimentos flexibles basa su diseño en obtener un Número Estructural (SN), que servirá para cuantificar la resistencia que el pavimento requiere para una determinada capacidad de soporte del suelo (CBR), tráfico esperado y pérdida de serviciabilidad; además en base a este valor, se obtendrá un conjunto de espesores para cada capa que conforma la estructura de este tipo de pavimento. El

método utiliza para el diseño del pavimento una ecuación principal, en la cual involucra varios parámetros que se desarrollaran a continuación:

$$log_{10}W_{18} = Z_r * S_0 + 9{,}36 * log_{10}(SN+1) - 0{,}2 + \frac{log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4{,}2-1{,}5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5{,}19}}} + 2{,}32 * log_{10}M_r - 8{,}07$$

Donde:

W_18: Número de ejes equivalentes de 80 kN (18000 lb) en el periodo de diseño.

Z_R: Desviación normal estándar

S_0: Error estándar combinado

SN: Número Estructural requerido

ΔPSI: Diferencia entre los índices de servicio inicial y final

Mr: Módulo de resiliencia de la subrasante en psi

3.4.1 Estimación de ejes equivalentes simples (ESAL's W18)

Para el cálculo de este factor es necesario determinar el número acumulado de ejes simples equivalentes de 80 kN (8,2 t) para el periodo de 10 años de diseño; se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

$$W_{18} = FD * FL * ESAL$$

Donde:

FD: Factor de distribución direccional

FL: Factor de distribución por carril

Número de carriles en ambas direcciones	% de vehículos pesados en el carril de diseño
2	50
4	45
6 o más	40

Número de carriles en cada dirección	% de ESAL en el carril de diseño
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

Figura 3-2 Factores de dirección y distribución por carril.
Fuente: AASHTO 1993

Para el cálculo del ESAL (Equivalent Single Axle Load), es necesario obtener: el factor de crecimiento que está en función del periodo de diseño (20 años), la tasa de crecimiento anual presentada en la Tabla 3-3, el factor equivalente de carga o factor camión, que se obtiene en función del peso total por ejes de cada clase de vehículo. La norma ecuatoriana establece una tabla con los pesos de los ejes que componen cada clase de vehículo, los mismos que servirán para poder determinar el factor equivalente de carga.

Se considera 2 etapas de diseño, un periodo para los primeros 10 años (Etapa 1) y asi mismo, uno desde los 10 años hasta los 20 años (Etapa 2).

Tabla 3-6 Cálculo de tráfico W_{18} Etapa 1

Vehiculo	Cantidad	Tipo	Tipo de eje	Carga por eje (Ton)	Factor de carga	Factor de Crecimiento	W18
Vehículos Livianos	495	2.5 ton por eje	Simple	2.5	0.026	4.75	26795.8
			Simple	2.5			
Buses	7	2DB	Simple	7	4.090	2.56	52762.7
			Simple	11			
Camiones 2 Ejes	17	2DA	Simple	3	0.557	2.85	17694.4
			Simple	7			
Camiones 3 Ejes	8	3-A	Simple	7	3.757	2.85	56197.4
			Tridem	24			
						TOTAL W18	153'450

Tabla 3-7 Cálculo de tráfico W_{18} Etapa 2

Vehiculo	Cantidad	Tipo	Tipo de eje	Carga por eje (Ton)	Factor de carga	Factor de Crecimiento	W18
Vehículos Livianos	495	2.5 ton por eje	Simple	2.5	0.026	4.75	69030.7
			Simple	2.5			
Buses	7	2DB	Simple	7	4.113	2.56	121399.8
			Simple	11			
Camiones 2 Ejes	17	2DA	Simple	3	0.553	2.85	40891.8
			Simple	7			
Camiones 3 Ejes	8	3-A	Simple	7	3.771	2.85	131118.5
			Tandem	20			
						TOTAL W18	362'441

3.4.2 Desviación Estándar (ZR)

La desviación estándar normal es un factor que está en función directa del parámetro de confiabilidad del proyecto, ya que el mismo representa el valor de la confiabilidad seleccionada para un conjunto de datos en una distribución normal. En nuestro estudio para un R = 85%, tenemos Zr = -1.03643.

Table 2.2. Suggested Levels of Reliability for Various Functional Classifications

Functional Classification	Recommended Level of Reliability	
	Urban	Rural
Interstate and Other Freeways	85–99 9	80–99 9
Principal Arterials	80–99	75–95
Collectors	80–95	75–95
Local	50–80	50–80

NOTE: Results based on a survey of the AASHTO Pavement Design Task Force

Figura 3-3 Niveles de confiabilidad de acuerdo a la funcionalidad.
Fuente: AASHTO 1993

3.4.3 Desviación Estándar Combinada (S0)

Esta desviación es un valor que se obtiene a partir de la combinación de la variabilidad de la predicción del tráfico existente y de otros factores como construcción, medio ambiente, incertidumbre del modelo; para lo cual la guía AASHTO recomienda los valores presentados en la Figura 1-1 , seleccionándose un valor de 0.45 para el diseño de forma conservadora.

Condición de Diseño	Pavimento Rígido	Pavimento Flexible
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito	0.35	0.45
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito	0.40	0.50

Figura 3-4 Valores establecidos para la desviación estándar combinada.
Fuente: AASHTO 1993

3.4.4 Índice de serviciabilidad (PSI)

La serviciabilidad se define como un valor que indica el grado de confort que tiene la superficie donde se desplaza el vehículo, el cual varía de 0 (superficie de rodadura en condiciones precarias) hasta 5 (superficie de rodadura en condiciones óptimas); para el presente estudio de acuerdo a los términos de referencia se emplea:

Índice de serviciabilidad inicial: Po=4.20

Índice de serviciabilidad final: Pt=2.5

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

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

3.4.5 Número estructural requerido (SN REQUERIDO)

Una vez determinados los diferentes parámetros descritos anteriormente (W_{18}, Z_r, S_0, ΔPSI y MR) se obtiene el número estructural (SN) por medio de la fórmula básica del

método AASHTO para pavimentos flexibles que se mostró anteriormente, este número representa el espesor total del pavimento y debe ser transformado a espesores efectivos para cada una de las capas que conforman esta estructura, lo cual se realiza a través de la siguiente ecuación:

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

Donde:

D_i: Espesores de las capas en pulgadas
m_i: Coeficientes de drenaje para cada capa
a_i: Coeficientes estructurales de las capas

El módulo resiliente de cada capa puede determinarse según su composición. Para capas granulares, se calcula a partir del CBR, mientras que para la carpeta asfáltica, se selecciona un valor adecuado según la bibliografía revisada, considerando la temperatura media anual promedio (TMAP) de la zona.

TMAP [°C]	a_1 [-]	E [MPa]
10	0.50	4479*
15	0.47	3764*
20	0.44	3162
25	0.41	2686
30	0.37	2161

*Valores obtenidos por regresión.

Figura 3-5 Valores recomendados acorde a TMAP
Fuente: RONDÓN 2015

De acuerdo al Estudio hidrológico-hidráulico se indica que la temperatura promedio es de 26 °C por lo tanto se obtiene un módulo de 2581 Mpa (aproximadamente 375000 PSI).

Los coeficientes de capa se pueden obtener mediante ábacos disponibles en la AASHTO 1993,

Para el cálculo del coeficiente de capa de subbase (a3) para la cual se utiliza un CBR DE 30% mientras que para el coeficiente de base (a2) se usa un CBR de 80% , este valor se obtiene al relacionar el valor mínimo de las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes (MOP 001-F-2002).

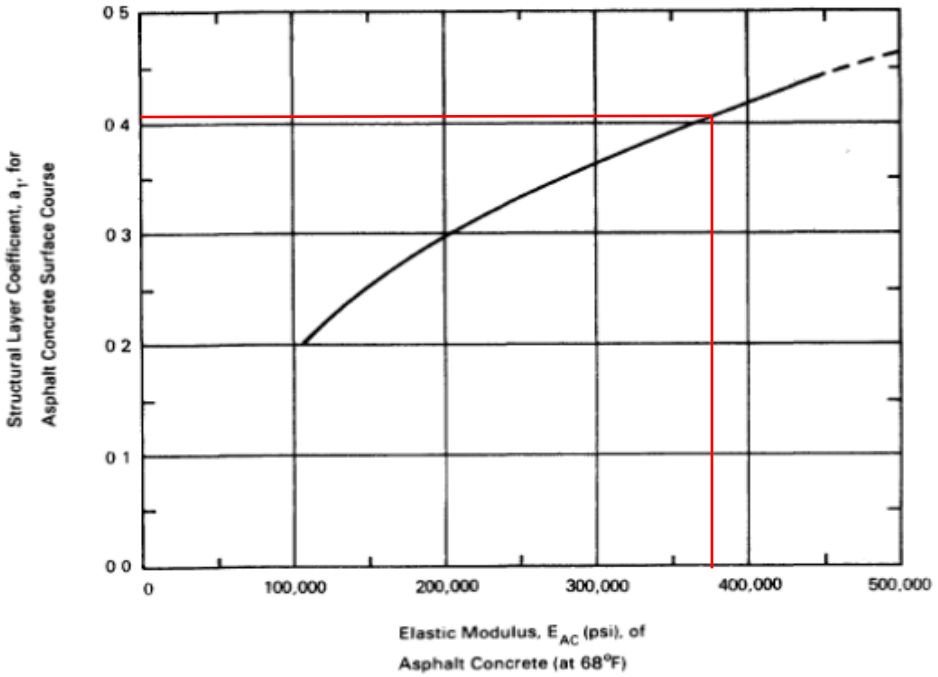


Figura 3-6 Coeficiente de capa asfáltica (a1).
Fuente: AASHTO 1993

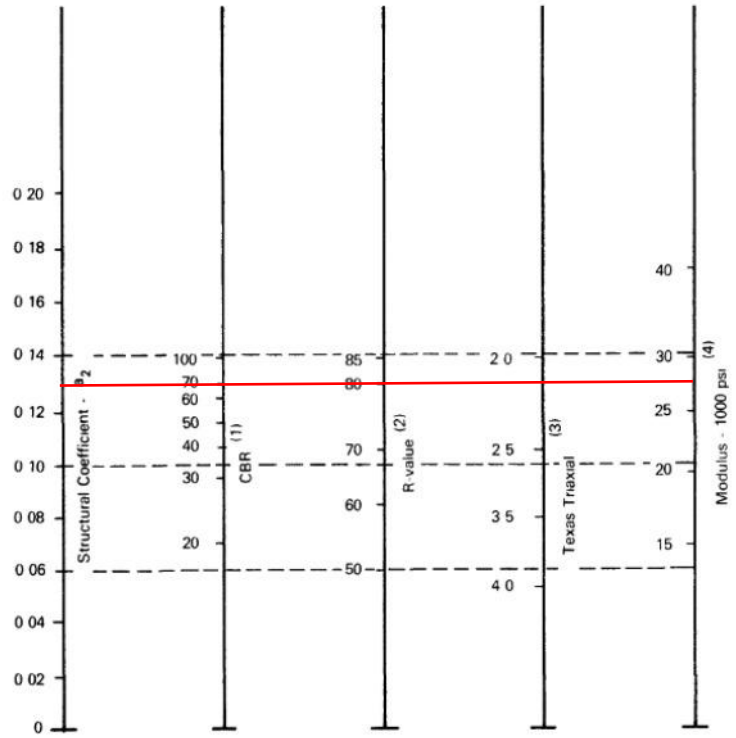


Figura 3-7 Coeficiente de capa base granular (a2).
Fuente: AASHTO 1993

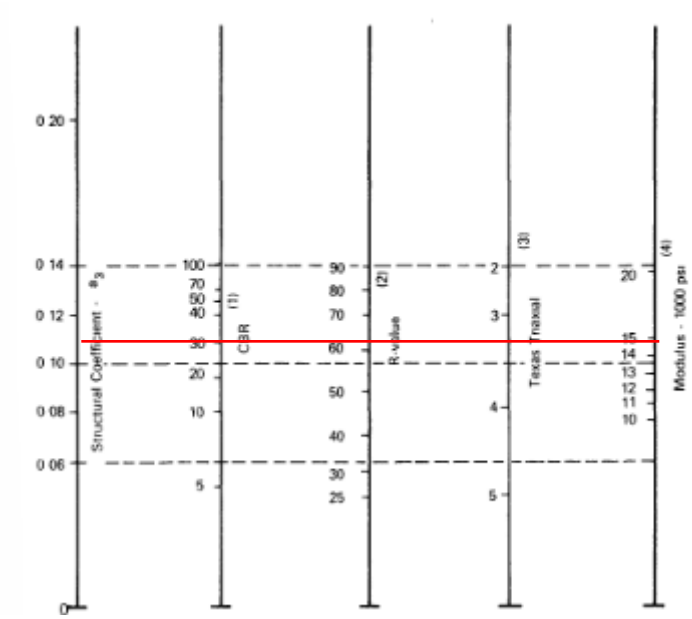


Figura 3-8 Coeficiente de capa subbase granular (a3).
Fuente: AASHTO 1993

Para el cálculo del Mr la guía AASHTO propone la conocida correlación con el CBR en base a rangos definidos para este parámetro, siendo estas ecuaciones las siguientes:

$$Mr\ (MPa) = 17.6 * CBR^{0.64} \qquad Para\ CBR \leq 12\%$$

$$Mr\ (MPa) = 22.1\ CBR^{0.55} \qquad Para\ 12\% \leq CBR \leq 80\%$$

Además, se deberán tener en cuenta las normativas en cuanto a los espesores mínimos recomendados y también se deberá considerar desde el punto de vista económico ya que cada capa tendrá un costo diferente, con el objetivo de lograr un balance adecuado al momento del diseño.

Una vez realizado el cálculo se debe verificar que los espesores efectivos de las capas cumplan con la norma mínima, en la segunda etapa se tiene un ESAL's entre 150,000 y 500,000.

Minimum Thickness (inches)

Traffic, ESAL's	Asphalt Concrete	Aggregate Base
Less than 50,000	1 0 (or surface treatment)	4
50,001–150,000	2 0	4
150,001–500,000	2 5	4
500,001–2,000,000	3 0	6
2,000,001–7,000,000	3 5	6
Greater than 7,000,000	4 0	6

Figura 3-9 Espesores mínimos según ESAL's para Etapa 1 y 2
Fuente: AASHTO 1993

Para obtener el valor de CBR de diseño se calcula mediante la siguiente tabla, se toma el percentil de 75% acorde a la Tabla *3-6*.

Tabla 3-8 *CBR DE DISEÑO ACORDE ESAL's*
Fuente: AASHTO 1993

Nivel de transito	Valor percentil para diseño de subrasante
< de 10,000 ESAL' s	60
Entre 10,000 y 1,000,000 ESAL' s	75
> de 1,000,000 ESAL' s	87.5

3.5 Método ASSHTO para diseño de pavimentos flexibles reforzados con Geomallas Coextruídas

La contribución de geomalla en el pavimento flexible puede cuantificarse como un factor de incremento al coeficiente estructural de la capa base de la vía, como se indica en la siguiente ecuación:

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

Donde el LCR supera el valor de uno, este resultado se establece a partir de estudios de laboratorio y pruebas de campo en sistemas de pavimentos flexibles, tanto con el uso de geomallas como sin el uso de geomallas.

$$LCR = (SN_r - SN_u)/(a_2 * D_2) \ + 1$$

Donde SN_r es el numero estructural de la sección con geomalla y SN_u es el numero estructural de la sección sin geomalla.

La contribución estructural de la geomalla de refuerzo tiende a mantenerse constante cuando el CBR de la subrasante es mayor al 4%. Sin embargo, cuando el CBR se encuentra entre el 1% y el 4%, la geomalla proporciona una contribución estructural considerablemente mayor. Es importante destacar que el LCR no afecta todo el espesor de la capa, ya que el refuerzo se limita a 15 cm. Esto significa que cualquier reducción en el espesor de una estructura no puede exceder el espesor efectivo de la geomalla. La reducción del espesor del material granular puede calcularse utilizando una geomalla, a través de la siguiente ecuación.

$$D_1 = (SN_r - a_2 * LCR * m_2 * D_2)/a_1$$

No es recomendable disminuir la capa de base a menos de 15 cm o 6".

Se diseña con una malla tipo B de 30 kN/m. Los valores de LCR según el CBR es:

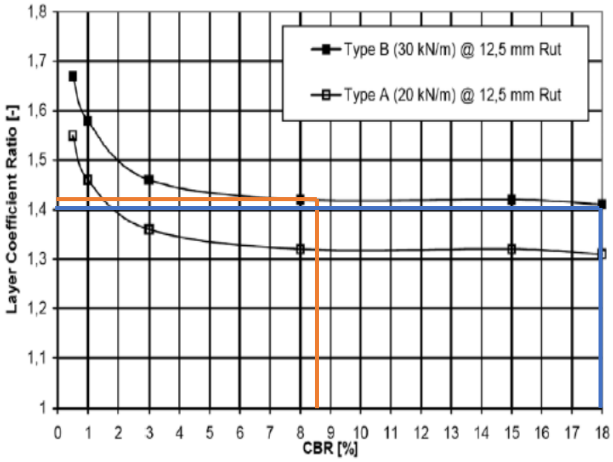


Figura 3-10 LCR vs CBR de la subrasante
Fuente: Malo 2024

En color naranja se indica el LCR para el primer tramo (CBR 8.62% y LCR 1.42) y en color azul para el segundo tramo (CBR 18.39% y LCR 1.4)

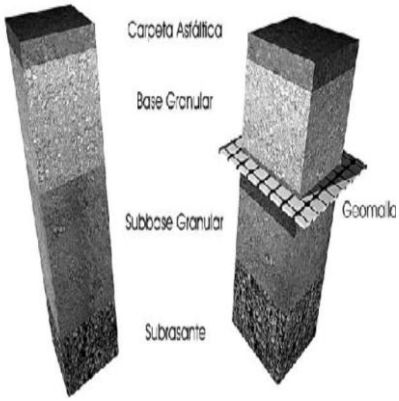


Figura 3-11 Estructura típica de pavimento con geomalla
Fuente: Malo 2024

3.6 Método ASSHTO para diseño de pavimentos flexibles mediante bases estabilizadas con cemento

La base está compuesta por una mezcla de agregados triturados o cribados, o una combinación de ambos, junto con cemento y agua, que se preparan en una planta central o directamente en el sitio. Las pruebas de compresión uniaxial deben mostrar resultados de al menos 2.54 MPa (360 psi).

Se realiza de forma igual al Método ASSHTO salvo la diferencia de que el coeficiente a_2 se obtiene mediante la correlación de la Figura 3-12:

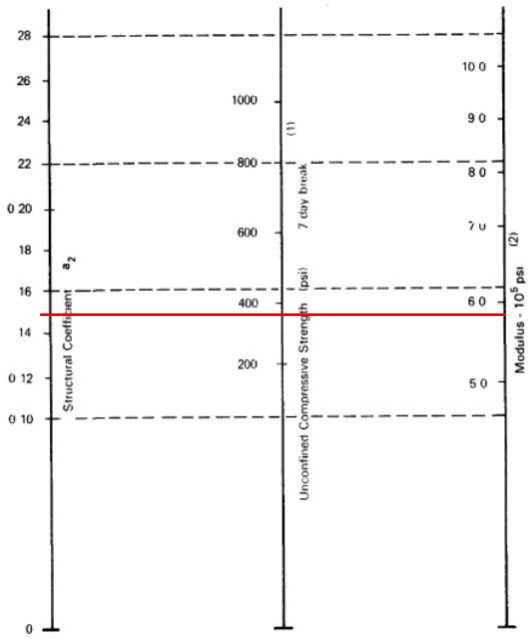


Figura 3-12 Coeficiente de capa base granular estabilizadas con cemento (a2).
Fuente: AASHTO 1993

Se recomienda una dosificación de 6% en relación al peso para poder conseguir la resistencia especificada (Tobar, 2020).

4. DISEÑO DE PAVIMENTO

En resumen, el pavimento a ser diseñado se divide en 2 tramos:

Primero desde el inicio de la vía hasta la abscisa 11+920, y el segundo desde la abscisa 11+920 hasta el fin.

Cada tramo se diseña en 2 etapas, la primera etapa cubre los primeros 10 años de diseño y la segunda etapa abarca desde el año 10 al año 20 de construcción.

Cada tramo y cada etapa se realiza mediante tres alternativas las cuales abarcan:

- Método ASSHTO
- Método ASSHTO para diseño de pavimentos flexibles reforzados con Geomallas Coextruídas
- Método ASSHTO para diseño de pavimentos flexibles mediante bases estabilizadas con cemento

Los coeficientes de estructura como se indicaron son:

Tabla 4-1 *Coeficientes estructurales*

Capa	Coeficiente estructural
Concreto asfaltico (a1)	0.41
Base (a2)	0.136
Subbase (a3)	0.11
Base estabilizada (a2*)	0.15

De igual forma los valores de serviciabilidad y confiabilidad son:

Tabla 4-2 *Valores de serviciabilidad y confiabilidad*

Serviciabilidad y Confiabilidad		
Confiabilidad	85	%
ZR	-1.036	-
Desviacion Estandar So	0.45	-
Po	4.2	
Pt	2.5	
ΔPSI	1.7	

Para la etapa 1 se tiene un valor de ESAL de 153,450 ejes equivalentes y para la etapa 2 se tiene 362,441 ejes equivalentes como se indica en la Tabla *3-6* y Tabla 3-7 respectivamente.

Obtenemos el módulo de las capas granulares mediante los ábacos detallados en el apartado 3.4.5:

Tabla 4-3 *Modulo de las capas granulares*

Capa	CBR (%)	Mr (PSI)
Base	80.00	27,000
Subbase	30.00	15,000

Y mediante la Figura 3-12 obtenemos el valor del módulo de la base estabilizada con cemento:

Tabla 4-4 *Módulo resiliente de la Base estabilizada*

Capa	Resistencia compresión uniaxial	Mr (PSI)
Base estabilizada	360.00	580,000

4.1 Coeficiente de drenaje

Considerando las condiciones climáticas de la zona del proyecto, caracterizadas por la presencia de lluvias intensas y recurrentes, se ha determinado que la estructura del pavimento permanece en condiciones cercanas a la saturación entre un 5% y 25% del tiempo. Esta estimación se realiza con un enfoque conservador, a fin de asegurar un comportamiento adecuado del pavimento a lo largo de su vida útil.

Adicionalmente, se ha asumido una calidad de drenaje media, equivalente a un tiempo estimado de evacuación del agua de aproximadamente una semana, de acuerdo con los criterios establecidos en la Tabla 11.20 de AASHTO (1993).

En función de estos dos factores —porcentaje de saturación y calidad de drenaje—, se adopta un coeficiente de drenaje (m) igual a 0.90 tanto para la base granular como para la subbase, dentro del rango recomendado para dichas condiciones.

TABLE 11.20 Recommended Drainage Coefficients for Untreated Bases and Subbases in Flexible Pavements

Quality of drainage		Percentage of time pavement structure is exposed to moisture levels approaching saturation			
Rating	Water removed within	Less than 1%	1–5%	5–25%	Greater than 25%
Excellent	2 hours	1.40–1.35	1.35–1.30	1.30–1.20	1.20
Good	1 day	1.35–1.25	1.25–1.15	1.15–1.00	1.00
Fair	1 week	1.25–1.15	1.15–1.05	1.00–0.80	0.80
Poor	1 month	1.15–1.05	1.05–0.80	0.80–0.60	0.60
Very poor	Never drain	1.05–0.95	0.95–0.75	0.75–0.40	0.40

Source. After AASHTO (1986).

Figura 4-1 Coeficiente de drenaje para capas base y subbase.
Fuente: AASHTO 1993

4.2 Criterios de deformidad y fatiga

Para el agrietamiento por fatiga nos regimos a la siguiente expresión:

$$Nf = f_1(\varepsilon_{tn})^{-f_2}(E_1)^{-f_3}$$

Donde:

Nf: Numero permitido de repeticiones de carga para evitar grietas por fatiga.

(ε_{tn}): Deformación por tracción en la parte inferior de la capa asfáltica.

E1: Modulo elástico dinámico de la capa asfáltica (psi).

f_1, f_2, f_3: Constantes determinadas a partir de ensayos de fatiga en laboratorio

Se ocupa los valores recomendados por el Instituto de Asfalto:

Tabla 4-5 *Valores de* f_1, f_2, f_3*:*

Referencia	f_1	f_2	f_3
Instituto del Asfalto	0.0796	3.291	0.854

Para la deformación permanente se usa la siguiente expresión:

$$Nd = f_4(\varepsilon_c)^{-f_5}$$

Donde:

Nf: Numero permitido de repeticiones de carga para evitar deformación permanente

(ε_c): Deformación por compresión en la parte superior de la subrasante.

f_4, f_5: Constantes determinadas a partir de ensayos de laboratorio

Tabla 4-6 *Valores de* f_4, f_5

Referencia	f_4	f_5
Instituto del Asfalto	1.365E-09	4.477

Este criterio es válido siempre y cuando la deformación permanente sea el producto ´

de una subrasante débil y no de las capas superiores.

Mediante el conocimiento de las cargas se establece los valores ε_c y ε_{tn} mediante los cuales se puede determinar el número de repeticiones, para obtener estos datos se considera lo siguiente:

El **Módulo de Poisson** se considera para la carpeta asfáltica (0.35), base (0.35), subbase (0.35) y la subrasante (0.40), estos valores son adecuados y conservadores.

Tabla 4-7 *Módulos de Poisson recomendados para Base y Subbase*

Material	Min.y Max. Módulo E, Ksi		Valor típico Módulo E, Ksi	Módulo Poisson
	Mínimo	Máximo		ν
Sub base Granular	5	30	20	0.20 - 0.40
Base Granular	5	50	30	0.20 - 0.40

Fuente: Department of Civil Engineering National Center for Asphalt Technology Auburn University for The Asphalt Pavement Alliance

Tabla 4-8 *Módulos de Poisson recomendados para Base y Subbase*

Temperatura de la Mezcla Asfáltica	Módulo de Poisson
< 0 ° F (-18 ° C)	0.15
0 ° F (- 18 ° C) – 40 ° F (4 ° C)	0.15 – 0.20
40 ° F (4 ° C) – 70 ° F (21 ° C)	0.20 – 0.30
70 ° F (21 ° C) – 100 ° F (38 ° C)	0.30 – 0.40
100 ° F (38 ° C) – 130 ° F (54 ° C)	0.40 – 0.48
> 130 ° F (54 ° C)	0.45 – 0.48

Fuente: Guía AASHTO 2002

Además, para el cálculo, también se considera que la presión en el suelo es de 100 PSI, ligeramente superior a la ejercida por un camión (Calavera, 1999), tomando como referencia un vehículo equivalente de 18,000 libras con eje simple doble.

4.3 Método de la vida remanente

Este método estima cuánto "vida útil" le queda a un pavimento existente antes de fallar estructuralmente, usando el historial de tráfico acumulado.

Se debe determinar el tráfico total hasta la falla $N_{1.5}$ cuando el índice de servicialidad cae a 1.5 y se estima la vida remanente con la siguiente fórmula:

$$RL = 100(1 - \frac{N_p}{N_{1.5}})$$

Donde N_p es el tráfico acumulado hasta la fecha, mediante la siguiente tabla obtenemos el CF (Factor de condición):

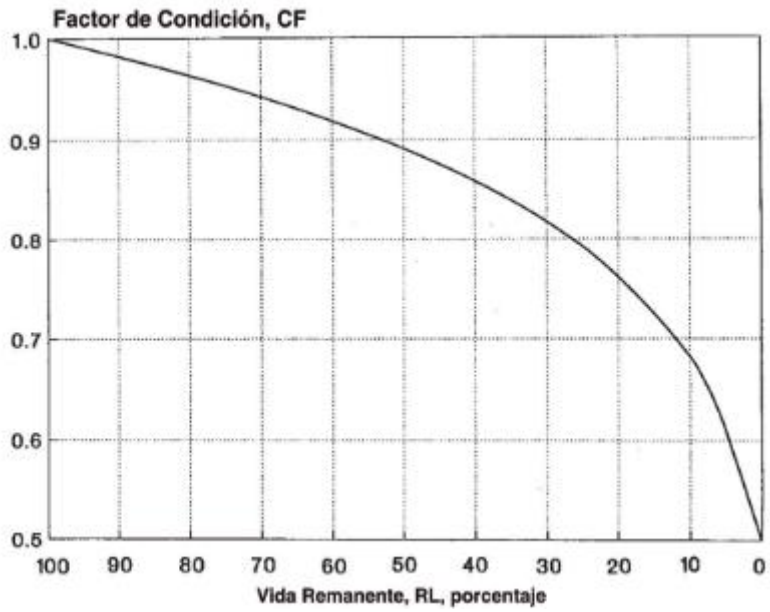


Figura 4-2 Factor de condición.
Fuente: AASHTO 1993

Se calcula el número estructural efectivo $SN_{ef} = CF * SN_o$, donde SN_o es el número estructural original.

En base a lo indicado en 4.4 Diseño inicio hasta 11+920 y 4.5 Diseño 11+920 hasta FIN se calcula el numero estructural al final de la primera etapa.

Tabla 4-9 *Valores estimados tramo 1*

	Tradicional	Geomalla	Base estabilizada	
W18	2,552,531.85	2,960,618.12	1,172,249.11	ESAL
R	50	50	50	%
Zr	0.00	0.00	0.00	-
So	0.45	-	0	
Mr	10132.6	10132.6	10132.6	psi
DPSI	2.7	2.7	2.7	-
SN Pavimento	2.76	2.82	2.46	-
RL	93.99	94.82	86.91	-
CF	96%	96%	95%	-
SN ef	2.65	2.71	2.34	-
Espesor adicional	0.26	0.27	0.29	in

Tabla 4-10 *Valores estimados tramo 2*

	Tradicional	Geomalla	Base estabilizada	
W18	4,468,410.71	3,915,773.29	3,244,629.07	ESAL
R	50	50	50	%
Zr	0.00	0.00	0.00	-
So	0.45	-	0	
Mr	15899.0	15899.0	15899.0	psi
DPSI	2.7	2.7	2.7	-
SN Pavimento	2.57	2.52	2.45	-
RL	96.57	96.08	95.27	-
CF	96%	96%	96%	-
SN ef	2.47	2.42	2.35	-
Espesor adicional	0.24	0.24	0.23	in

Aunque todos los espesores requeridos para recapeo son menores a una pulgada, se recomienda utilizar al menos 2 pulgadas para garantizar un comportamiento estructural adecuado.

4.4 Diseño inicio hasta 11+920

Se diseña con un CBR de 8.62% correspondiente al percentil 75 como se indica en la figura.

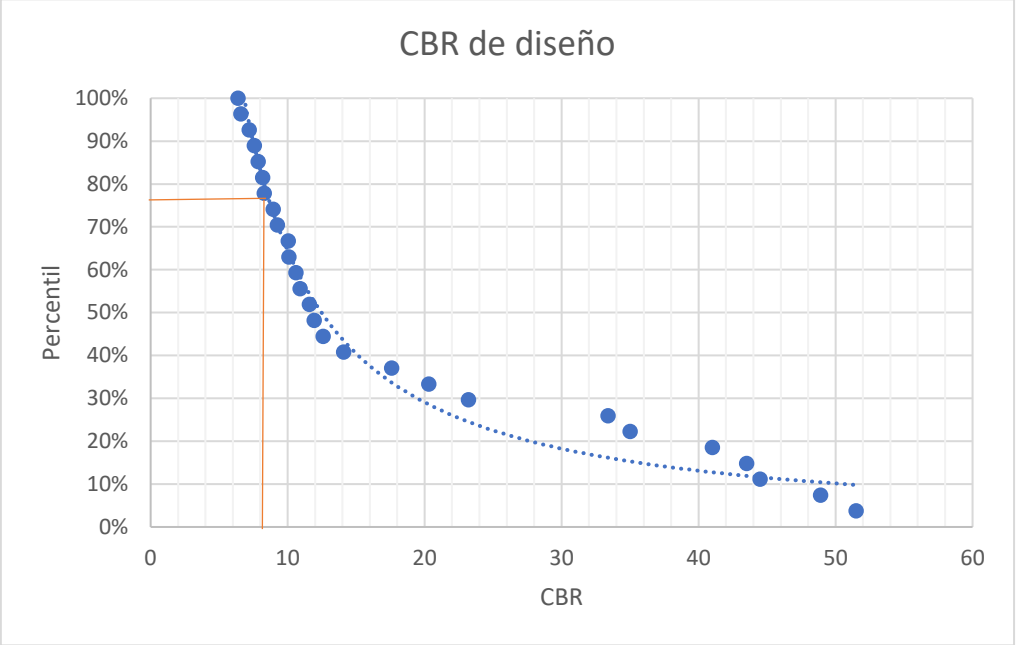


Figura 4-3 CBR de diseño

Mediante la correlación indicadas en el apartado 3.4.5, obtenemos:

Tabla 4-11 *Módulo de la subrasante.*

Modulo subrasante		
MR	10,132.56	psi

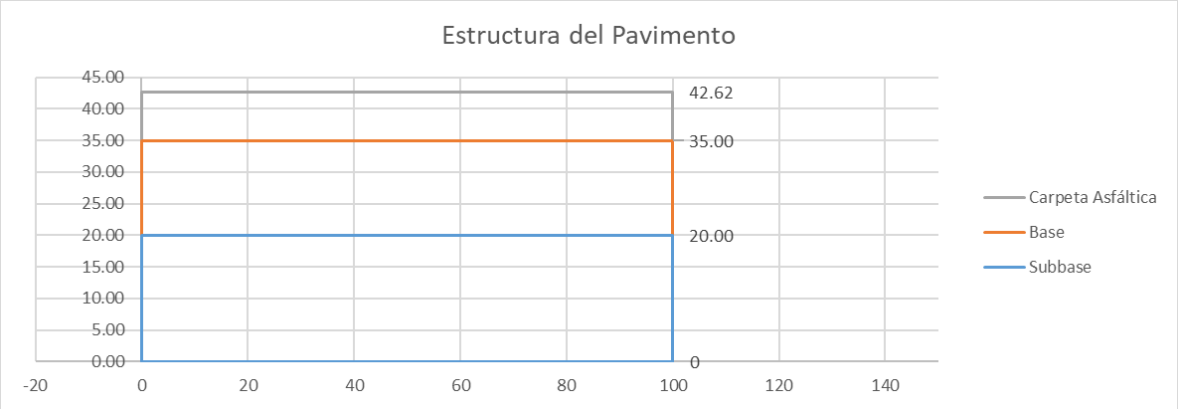
4.4.1 Método AASHTO

4.4.1.1 Etapa 1

El numero estructural requerido es de 2.17 de acuerdo a 3.4.5.

Cálculos Período de Diseño 10 años		
Concreto Asfáltico		
D1*	3	in
	7.62	cm
SN1*	1.26	-
Base Granular		
D2*	5.91	in
	15	cm
SN2*	1.98	-
Subbase		
D3*	7.87	in
	20	cm
SN3*	2.76	-
SN	2.76	-
Espesor total	17	in
	42.62	cm

Obteniendo la siguiente estructura:



El numero estructural resultante es de 2.762 mayor que el requerido de 2.17

Se calcula el número de repeticiones permitidas para comprobar que este sea mayor al total de ejes equivalentes:

	Deformación(-)	Repeticiones permitidas	Total W18	Cumple
Fatiga	4.099E-04	194,252	153,450	Si
Ahuellamiento	6.16E-04	322,006	153,450	Si

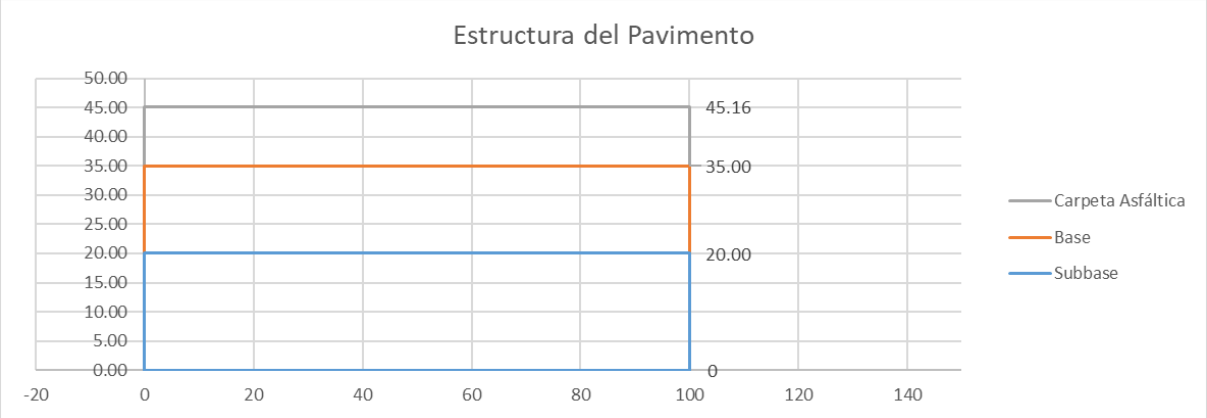
4.4.1.2 Etapa 2

El numero estructural requerido es de 2.50 de acuerdo a 3.4.5.

Cálculos Período de Diseño 20 años		
Concreto Asfáltico		
D1*	4	in
	10.16	cm
SN1*	1.64	-
Base Granular		
D2*	5.91	in
	15	cm
SN2*	2.36	-
Subbase		
D3*	7.87	in
	20	cm
SN3*	3.14	-

SN	3.14	-
Espesor total	18	in
	45.16	cm

Obteniendo la siguiente estructura:



El numero estructural resultante es de 3.14 mayor que el requerido de 2.50.

Se calcula el número de repeticiones permitidas para comprobar que este sea mayor al total de ejes equivalentes:

	Deformación(-)	Repeticiones permitidas	Total W18	Cumple
Fatiga	3.36E-04	375,522	312,441	Si
Ahuellamiento	5.24E-04	667,069	312,441	Si

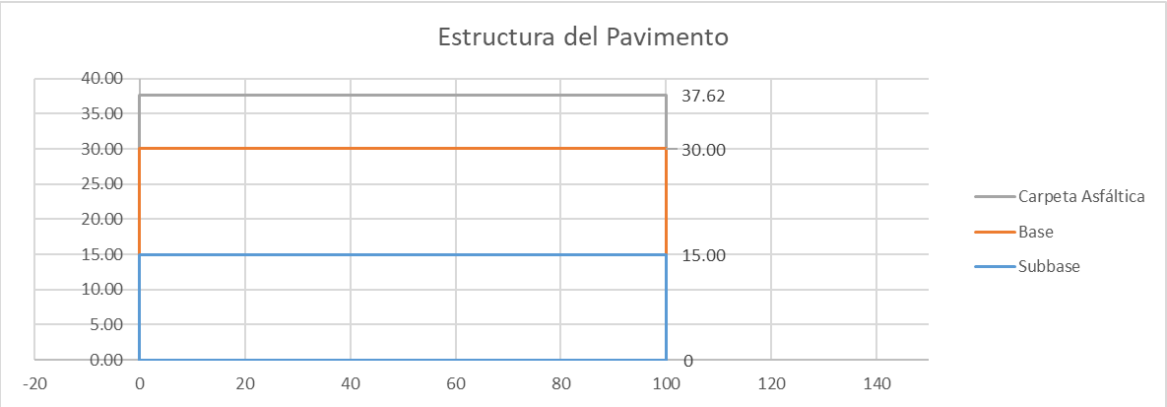
4.4.2 Método AASHTO con geomalla

4.4.2.1 Etapa 1

Se tiene un **LCR** de **1.42**, con el cual podemos obtener:

Cálculos Período de Diseño 10 años		
Concreto Asfáltico		
D1*	3	in
	7.62	cm
Base Granular		
D2*	5.91	in
	15	cm
Subbase		
D3*	5.91	in
	15	cm
SN	2.82	-
Espesor total	37.62	cm

Obteniendo la siguiente estructura:



El numero estructural resultante es de 2.82 mayor que el requerido de 2.17.

Se calcula el número de repeticiones permitidas para comprobar que este sea mayor al total de ejes equivalentes:

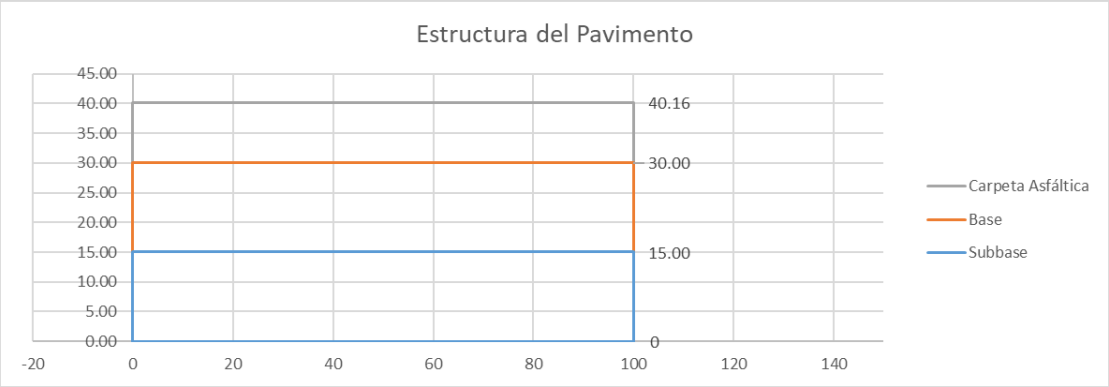
	Deformación(-)	**Repeticiones permitidas**	**Total W18**	**Cumple**
Fatiga	4.12E-04	190,860	153,450	Si
Ahuellamiento	7.04E-04	177,122	153,450	Si

4.4.2.2 Etapa 2

Se tiene un LCR de 1.42, con el cual podemos obtener:

Cálculos Período de Diseño 20 años		
Concreto Asfáltico		
D1*	4	in
	10.16	cm
Base Granular		
D2*	5.91	in
	15	cm
Subbase		
D3*	7.87	in
	20	cm
SN	3.18	-
Espesor total	45.16	cm

Obteniendo la siguiente estructura:



El numero estructural resultante es de 3.02 mayor que el requerido de 2.50**.**

Se calcula el número de repeticiones permitidas para comprobar que este sea mayor al total de ejes equivalentes:

	Deformación(-)	Repeticiones permitidas	Total W18 (2da Etapa)	Cumple
Fatiga	3.38-04	367,889	312.441	Si
Ahuellamiento	5.93E-04	382,668	312.441	Si

4.4.3 Método AASHTO con base estabilizada con cemento

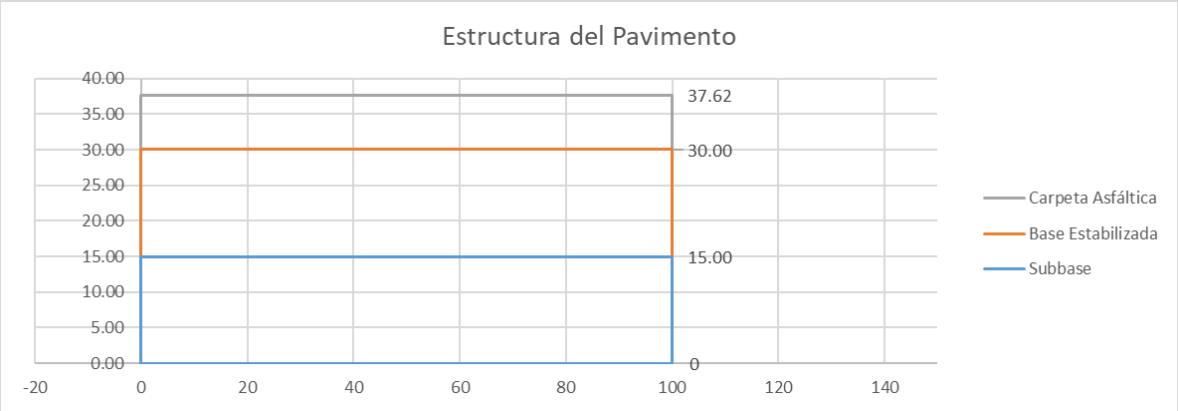
4.4.3.1 Etapa 1

El numero estructural requerido es de **2.17** de acuerdo a 3.4.5.

Cálculos Período de Diseño 10 años		
Concreto Asfáltico		
D1*	3	in
	7.62	cm
SN1*	1.08	-
Base Granular estabilizada		
D2*	5.91	in
	15	cm
SN2*	1.88	-
Subbase		
D3*	5.91	in
	15	cm
SN3*	2.46	-

SN	2.46	-
Espesor total	15	in
	37.62	cm

Obteniendo la siguiente estructura:



El numero estructural resultante es de 2.46 mayor que el requerido de 2.17.

Se calcula el número de repeticiones permitidas para comprobar que este sea mayor al total de ejes equivalentes:

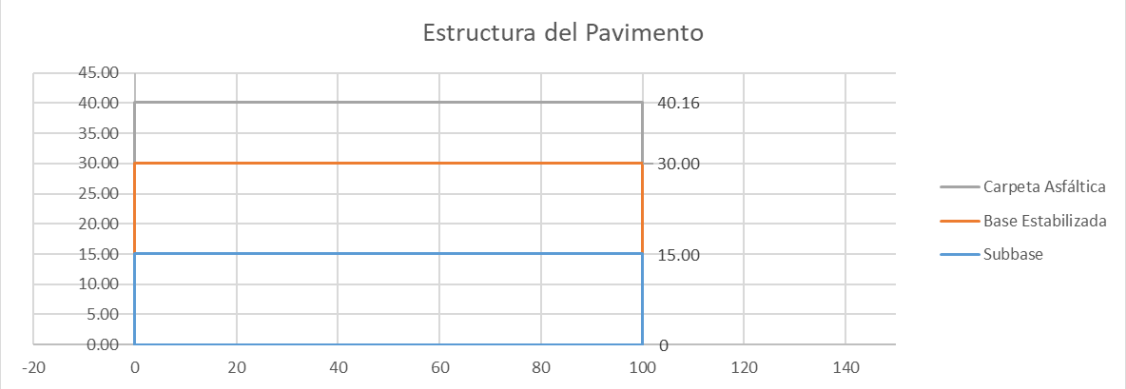
	Deformación(-)	Repeticiones permitidas	Total W18	Cumple
Fatiga	1.00E-08	2.90E+20	153,450	Si
Ahuellamiento	3.05E-04	7,486,604	153,450	Si

4.4.3.2 Etapa 2

El numero estructural requerido es de **2.97** de acuerdo a 3.4.5.

Cálculos Período de Diseño 20 años		
Concreto Asfáltico		
D1*	4	in
	10.16	cm
SN1*	1.64	-
Base Granular		
D2*	5.91	in
	15	cm
SN2*	2.44	-
Subbase		
D3*	5.91	in
	15	cm
SN3*	3.02	-
SN	3.02	-
Espesor total	16	in
	40.16	cm

Obteniendo la siguiente estructura:



El numero estructural resultante es de **3.02** mayor que el requerido de **2.50.**

Se calcula el número de repeticiones permitidas para comprobar que este sea mayor al total de ejes equivalentes:

	Deformación(-)	Repeticiones permitidas	Total W18 (2da Etapa)	Cumple
Fatiga	8.03E-06	81.00E06	312.441	Si
Ahuellamiento	2.65E-04	14,09E06	312.441	Si

4.5 Diseño 11+920 hasta FIN

Se diseña con un CBR de 18.39% correspondiente al percentil 75 como se indica en la figura.

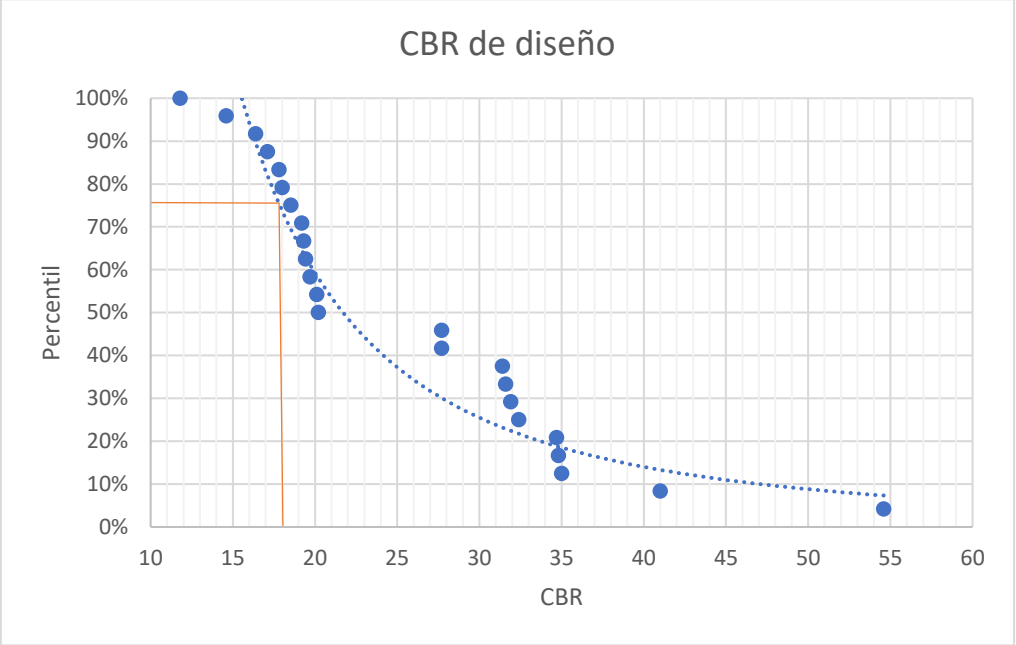


Figura 4-4 CBR de diseño

Mediante la correlación indicadas en el apartado 3.4.5, obtenemos:

Tabla 4-12 *Módulo de la subrasante.*

Modulo subrasante		
MR	15,899.89	psi

4.5.1 Método AASHTO

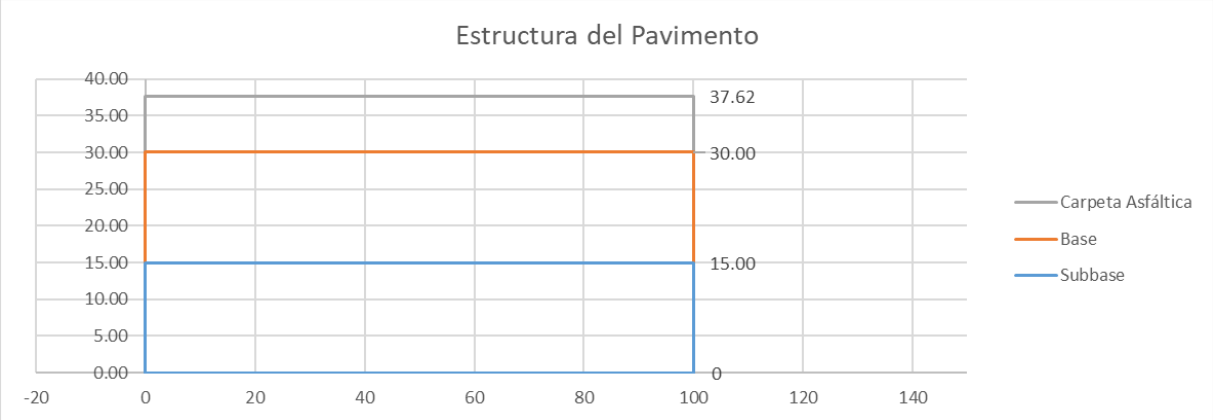
4.5.1.1 Etapa 1

El numero estructural requerido es de **1.82** de acuerdo a 3.4.5.

Cálculos Período de Diseño 10 años		
Concreto Asfáltico		
D1*	3	in
	7.62	cm
SN1*	1.26	-
Base Granular		
D2*	5.91	in
	15	cm
SN2*	1.98	-
Subbase		
D3*	5.91	in
	15	cm
SN3*	2.57	-

SN	2.57	-
Espesor total	15	in
	37.62	cm

Obteniendo la siguiente estructura:



El numero estructural resultante es de **2.57** mayor que el requerido de **1.82.**

Se calcula el número de repeticiones permitidas para comprobar que este sea mayor al total de ejes equivalentes:

	Deformación(-)	Repeticiones permitidas	Total W18	Cumple
Fatiga	4.06-04	198,813	153,450	Si
Ahuellamiento	5.10E-04	747,853	153,450	Si

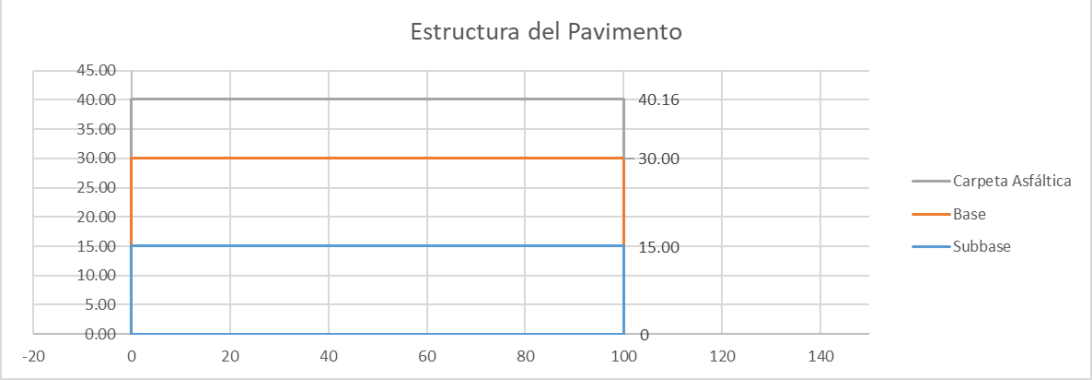
4.5.1.2 Etapa 2

El numero estructural requerido es de **2.09** de acuerdo a 3.4.5.

Cálculos Período de Diseño 20 años		
Concreto Asfáltico		
D1*	4	in
	10.16	cm
SN1*	1.68	-
Base Granular		
D2*	5.91	in
	15	cm
SN2*	2.40	-
Subbase		
D3*	5.91	in
	15	cm
SN3*	2.99	-

SN	2.99	-
Espesor total	15	in
	40.16	cm

Obteniendo la siguiente estructura:



El numero estructural resultante es de **2.99** mayor que el requerido de **2.11.**

Se calcula el número de repeticiones permitidas para comprobar que este sea mayor al total de ejes equivalentes:

	Deformación(-)	Repeticiones permitidas	Total W18	Cumple
Fatiga	3.30E-04	396,121	312.441	Si
Ahuellamiento	4.33E-04	1,556,789	312.441	Si

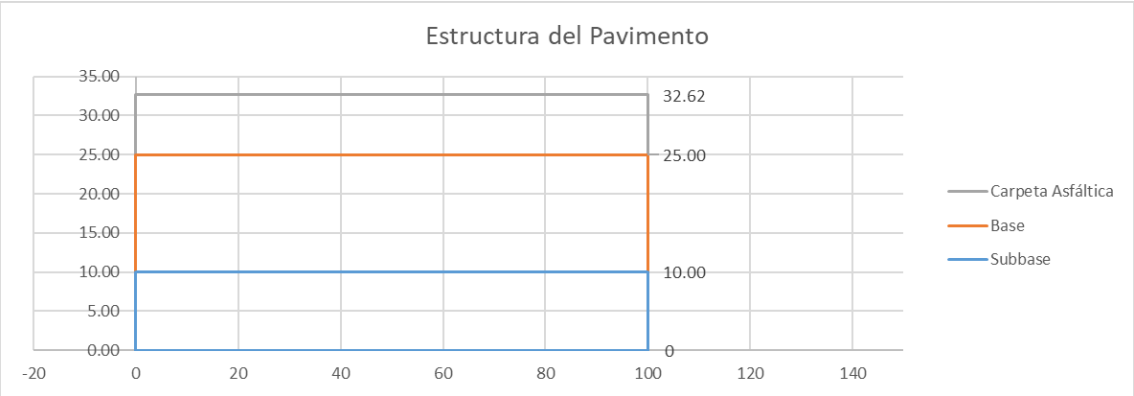
4.5.2 Método AASHTO con geomalla

4.5.2.1 Etapa 1

Se tiene un **LCR** de **1.40**, con el cual podemos obtener:

Cálculos Período de Diseño 10 años		
Concreto Asfáltico		
D1*	3	in
	7.62	cm
Base Granular		
D2*	5.91	in
	15	cm
Subbase		
D3*	3.94	in
	10	cm
SN	2.52	-
Espesor total	32.62	cm

Obteniendo la siguiente estructura:



El numero estructural resultante es de **2.52** mayor que el requerido de **1.82.**

Se calcula el número de repeticiones permitidas para comprobar que este sea mayor al total de ejes equivalentes:

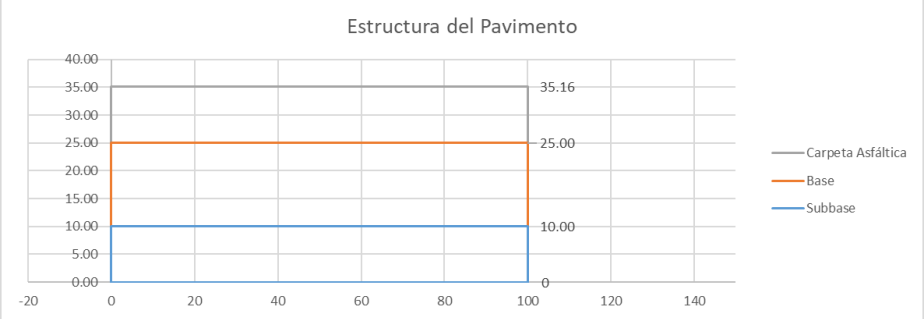
	Deformación(-)	**Repeticiones permitidas**	**Total W18**	**Cumple**
Fatiga	4.06E-04	199,913	153,450	Si
Ahuellamiento	5.85E-04	406,668	153,450	Si

4.5.2.2 Etapa 2

Se tiene un **LCR** de **1.40**, con el cual podemos obtener:

Cálculos Período de Diseño 20 años		
Concreto Asfáltico		
D1*	4	in
	10.16	cm
Base Granular		
D2*	5.91	in
	15	cm
Subbase		
D3*	3.94	in
	10	cm
SN	2.52	-
Espesor total	35.16	cm

Obteniendo la siguiente estructura:



El numero estructural resultante es de **2.52 mayor** que el requerido de **2.11.**

Se calcula el número de repeticiones permitidas para comprobar que este sea mayor al total de ejes equivalentes:

	Deformación(-)	Repeticiones permitidas	Total W18	Cumple
Fatiga	3.30E-04	396,121	312.441	Si
Ahuellamiento	4.91E-04	888,719	312.441	Si

4.5.3 Método AASHTO con base estabilizada con cemento

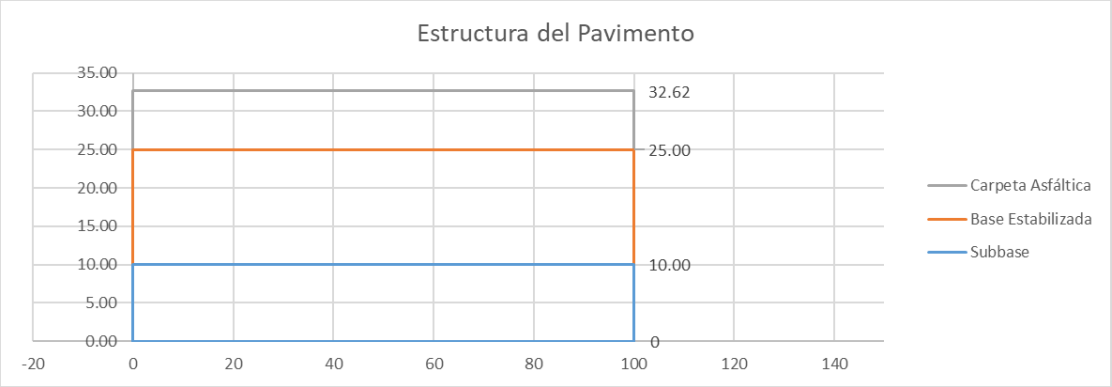
4.5.3.1 Etapa 1

El numero estructural requerido es de **1.82** de acuerdo a 3.4.5.

Cálculos Período de Diseño 10 años		
Concreto Asfáltico		
D1*	3	in
	7.62	cm
SN1*	1.26	-
Base Granular		
D2*	5.91	in
	15	cm
SN2*	2.06	-
Subbase		
D3*	3.94	in
	10	cm
SN3*	2.45	-

SN	2.45	-
Espesor total	12.84	in
	32.62	cm

Obteniendo la siguiente estructura:



El numero estructural resultante es de **2.45** mayor que el requerido de **1.82.**

Se calcula el número de repeticiones permitidas para comprobar que este sea mayor al total de ejes equivalentes:

	Deformación(-)	Repeticiones permitidas	Total W18	Cumple
Fatiga	2.02E-06	7.68E06	153,450	Si
Ahuellamiento	2.47E-04	1,9E06	153,450	Si

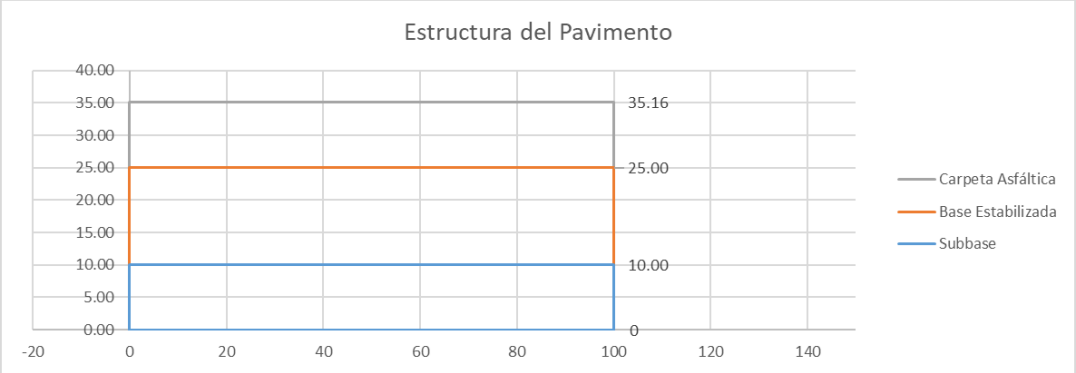
4.5.3.2 Etapa 2

El numero estructural requerido es de **2.23** de acuerdo a 3.4.5.

Cálculos Período de Diseño 20 años		
Concreto Asfáltico		
D1*	4	in
	10.16	cm
SN1*	1.68	-
Base Granular		
D2*	5.91	in
	15	cm
SN2*	2.48	-
Subbase		
D3*	3.94	in
	10	cm
SN3*	2.87	-

SN	2.87	-
Espesor total	14	in
	35.16	cm

Obteniendo la siguiente estructura:



El numero estructural resultante es de **2.87** mayor que el requerido de **2.11**

Se calcula el número de repeticiones permitidas para comprobar que este sea mayor al total de ejes equivalentes:

	Deformación(-)	Repeticiones permitidas	Total W18	Cumple
Fatiga	1.08E-05	3.1E06	312.441	Si
Ahuellamiento	2.17E-04	3.45E06	312.441	Si

5. RESULTADOS

Las estructuras presentadas son adecuadas para soportar el tráfico proyectado, cumpliendo con los criterios de serviciabilidad en términos de fatiga y ahuellamiento. Se recomienda considerar una segunda etapa de intervención, que contemple el fresado de una pulgada de la carpeta asfáltica existente y la posterior colocación de dos pulgadas adicionales como recapeo, a continuación, se presenta un breve resumen:

5.1 Diseño Inicio hasta Abscisa 11+920

En la primera etapa se tiene la siguiente configuración:

Tipo de capa	Espesor inicial		Espesor reforzado		Reducción	Base estabilizada		Reducción
	pulg	cm	pulg	cm	cm	pulg	cm	cm
C.A.	3	7.62	3	7.62	0	3	7.62	0.00
Base	5.91	15	5.91	15.00	0	5.91	15.00	0.00
Subbase	7.87	20	5.91	15.00	5	5.91	15.00	5.00
		42.62		37.62			37.62	

Mientras que en la segunda etapa:

Tipo de capa	Espesor inicial		Espesor reforzado		Reducción	Base estabilizada		Reducción
	pulg	cm	pulg	cm	cm	pulg	cm	cm
C.A.	4	10.16	4	10.16	0.00	4	10.16	0.00
Base	5.91	15	5.91	15.00	0.00	5.91	15.00	0.00
Mejoramiento	7.87	20	5.91	15.00	5.00	5.91	15.00	5.00
		45.16		40.16			40.16	

5.2 Diseño Abscisa 11+920 hasta FIN

En la primera etapa se tiene la siguiente configuración:

Tipo de capa	Espesor inicial		Espesor Geosintetico		Reducción	Base estabilizada		Reducción
	pulg	cm	pulg	cm	cm	pulg	cm	cm
C.A.	3	7.62	3	7.62	0	3	7.62	0.00
Base	5.91	15	5.91	15.00	0	5.91	15.00	0.00
Subbase	5.91	15	3.94	10.00	5.00	3.94	10.00	5.00
		37.62		32.62			32.62	

Mientras que en la segunda etapa:

Tipo de capa	Espesor inicial		Espesor reforzado		Reducción	Base estabilizada		Reducción
	pulg	cm	pulg	cm	cm	pulg	cm	cm
C.A.	4	10.16	3	7.62	2.54	4	10.16	0.00
Base	5.91	15	5.91	15.00	0	5.91	15.00	0.00
Mejoramiento	5.91	15	3.94	10.00	5	3.94	10.00	5.00
		40.16		32.62			35.16	

6. ANÁLISIS ECONÓMICO

En base a lo dispuesto en resultados se tiene los siguientes valores para calcular el costo por alternativa:

MATERIAL	COSTO	UNIDAD
ASFALTO	$ 13.50	3”/m2
BASE	$ 21.43	m3
BASE ESTABILIZADA POR CEMENTO	$ 45	m3
SUBBASE	$ 16.20	m3
GEOMALLA	$ 2.50	m2

Para el tramo 1 tenemos los siguientes costos:

ALTERNATIVA TRADICIONAL TRAMO 1				
	Espesor (cm)	**Ancho (m)**	**Largo (m)**	**Costo**
C.A.	3"	11.3	1	$ 152.55
Base	15	11.3	1	$ 36.32
Subbase	20	11.3	1	$ 37.29
			TOTAL	$ 226.16

ALTERNATIVA GEOMALLA TRAMO 1				
	Espesor (cm)	**Ancho (m)**	**Largo (m)**	**Costo**
C.A.	3"	11.3	1	$ 152.55
Base	15	11.3	1	$ 36.32
Geomalla		11.3	1	$ 28.25
Subbase	15	11.3	1	$ 27.97
			TOTAL	$ 245.09

ALTERNATIVA BASE ESTABILIZADA TRAMO 1				
	Espesor (cm)	**Ancho (m)**	**Largo (m)**	**Costo**
C.A.	3"	11.3	1	$ 152.55
Base Estabilizada	15	11.3	1	$ 76.28
Subbase	15	11.3	1	$ 27.97
			TOTAL	$ 256.79

Para el tramo 2 tenemos los siguientes costos:

ALTERNATIVA TRADICIONAL TRAMO 2				
	Espesor (cm)	**Ancho (m)**	**Largo (m)**	**Costo**
C.A.	3"	11.3	1	$ 152.55
Base	15	11.3	1	$ 36.32
Subbase	15	11.3	1	$ 27.97
			TOTAL	$ 216.84

ALTERNATIVA GEOMALLA TRAMO 2				
	Espesor (cm)	Ancho (m)	Largo (m)	Costo
C.A.	3"	11.3	1	$ 152.55
Base	15	11.3	1	$ 36.32
Geomalla		11.3	1	$ 28.25
Subbase	10	11.3	1	$ 18.65
			TOTAL	$ 235.77

ALTERNATIVA BASE ESTABILIZADA TRAMO 2				
	Espesor (cm)	Ancho (m)	Largo (m)	Costo
C.A.	3"	11.3	1	$ 152.55
Base Estabilizada	15	11.3	1	$ 76.28
Subbase	10	11.3	1	$ 18.65
			TOTAL	$ 247.47

El análisis evidencia que, tanto en el tramo 1 como en el tramo 2, el pavimento tradicional presenta una mayor rentabilidad.

7. ANÁLISIS TÉCNICO

En la provincia del Guayas, Ecuador, se han desarrollado distintas soluciones de pavimentación asfáltica para responder a las condiciones geotécnicas y climáticas del medio, así como al crecimiento del tránsito vehicular. Las alternativas más representativas son el pavimento asfáltico tradicional, el pavimento reforzado con geomallas y el pavimento con base estabilizada con cemento. Cada una ofrece ventajas particulares y ha sido implementada con éxito en distintos proyectos locales.

El pavimento asfáltico tradicional ha sido la solución más utilizada en la región, gracias a su comprobada eficacia, facilidad constructiva y óptima relación costo-beneficio. Está compuesto por una subrasante adecuadamente compactada, subbase, una base granular y una carpeta de mezcla asfáltica. Este tipo de estructura ha demostrado un buen desempeño cuando se combina con una correcta planificación de drenaje y mantenimiento. En el caso del rediseño estructural de la Avenida Piedrahita en el cantón Daule, se empleó el método AASHTO 93, destacando al pavimento tradicional como una alternativa eficiente y adaptable al crecimiento urbano (Romero, 2022). Su amplia disponibilidad de materiales, maquinaria y mano de obra calificada lo hacen una solución preferida en contextos urbanos y rurales.

La incorporación de geomallas como refuerzo en la estructura del pavimento representa una opción tecnológica que mejora la resistencia a la tracción y controla la propagación de fisuras. En proyectos con condiciones de carga elevada o suelos comprometidos, esta técnica puede extender la vida útil del pavimento y reducir los ciclos de mantenimiento. Un ejemplo en la provincia es su uso en la estabilización de suelo durante la instalación de infraestructura subterránea en el Hospital Guasmo Sur de Guayaquil, donde se empleó geomalla BX100 en combinación con geotextil (López, 2021). Si bien su aplicación principal no fue vial, se evidenció su eficacia como solución de refuerzo en suelos con alta saturación.

Por su parte, el pavimento con base estabilizada con cemento consiste en mejorar la capacidad estructural de la base mediante la incorporación de cemento Portland, generando una capa de alta rigidez. Esta alternativa es especialmente útil en zonas con

suelos de baja capacidad portante, ya que reduce las deformaciones permanentes y mejora el soporte estructural. En el proyecto de estabilización de una carretera de cuarto orden en la “Ruta del Cacao”, en Guayas, se determinó que una dosificación del 6% de cemento proporcionaba una base adecuada para resistencias exigidas por tráfico medio, mostrando viabilidad técnica y económica (Tobar, 2020). No obstante, su correcta ejecución requiere controles más estrictos en obra.

8. CONCLUSIONES

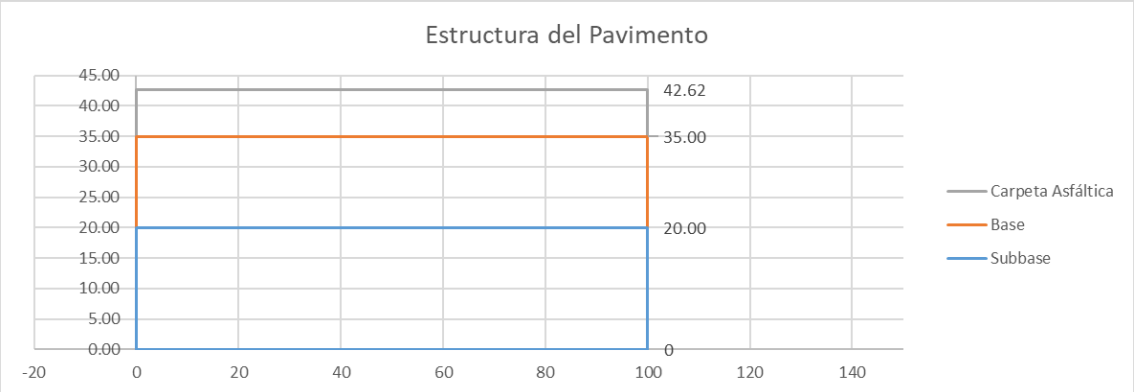
Con base en los resultados presentados en el diseño de pavimento, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

Todas las configuraciones de pavimento presentan un número estructural superior al requerido. Esto indica que los diseños proporcionan una capacidad estructural adecuada para soportar las cargas previstas, lo cual es esencial para la longevidad y funcionalidad del pavimento.

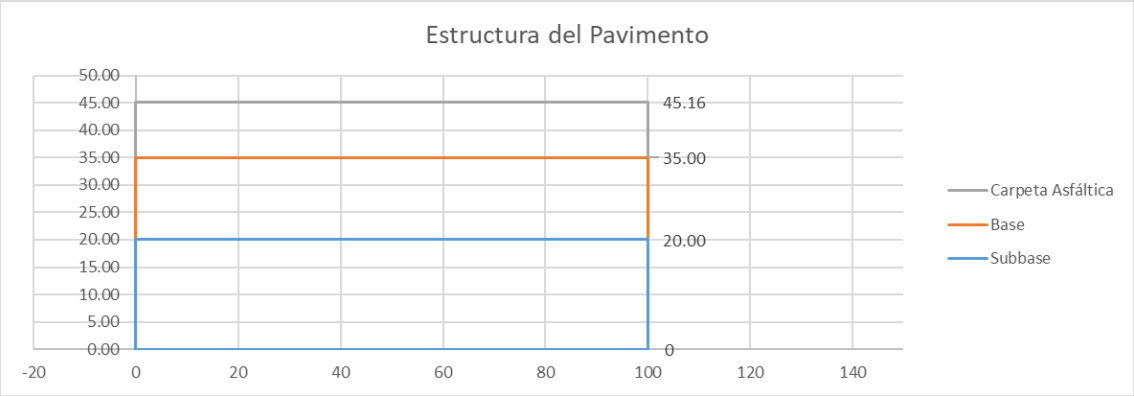
Los espesores totales de las capas varían ligeramente entre el tramo inicial y el tramo final del diseño. En el primer tramo, los espesores totales son ligeramente mayores en comparación con el segundo tramo, lo cual está relacionado con las condiciones específicas del terreno o los requerimientos de tráfico en cada sección del pavimento.

En función del análisis realizado para las distintas configuraciones de pavimento y considerando las características del tránsito y las condiciones del terreno bajo la normativa AASHTO, se ha seleccionado una estructura compuesta por base clase 2 y subbase clase 3 para los tramos evaluados, según el material de la zona. A continuación, se detallan las configuraciones finales adoptadas según el tramo y el periodo de diseño:

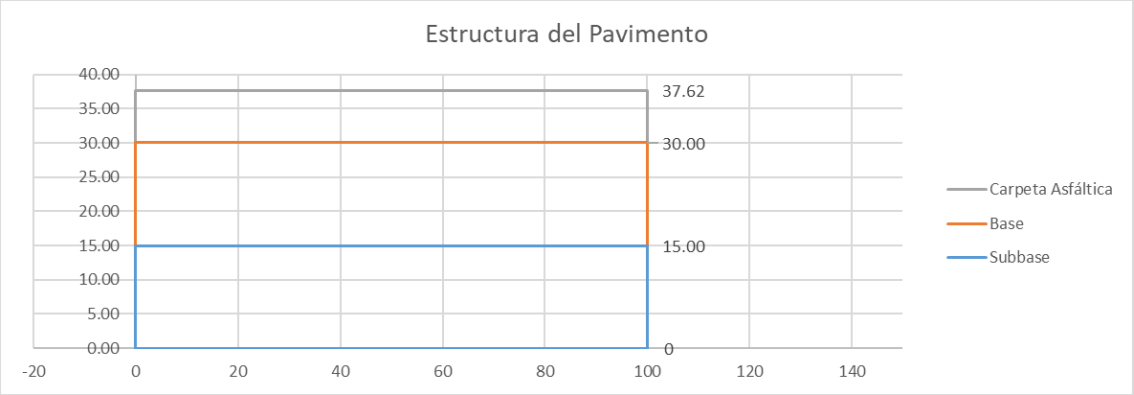
- Tramo 1 – Periodo 10 años: La estructura propuesta contempla un espesor de concreto asfáltico de 7.62 cm (3 pulg), base clase 2 de 15 cm y subbase clase 3 de 20 cm.



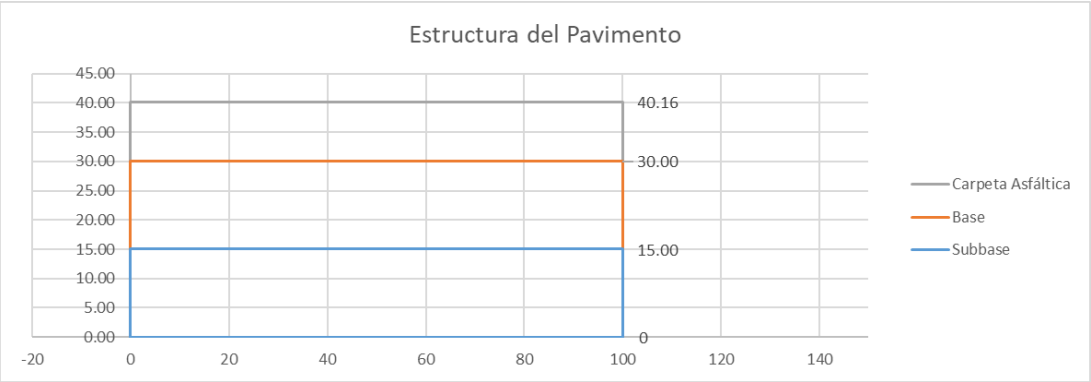
- Tramo 1 – Periodo 20 años: Se recomienda una estructura con concreto asfáltico de 10.16 cm (4pulg), base clase 2 de 15 cm y subbase clase 3 de 20 cm, considerando la proyección de cargas a largo plazo.



- Tramo 2 – Periodo 10 años: La sección estructural incluye una capa de concreto asfáltico de 7.62 cm (3 pulg), base clase 2 de 15 cm y subbase clase 3 de 15 cm, adecuada al volumen de tránsito esperado en el periodo.



- Tramo 2 – Periodo 20 años: Se proyecta una estructura con concreto asfáltico de 10.16cm (4 pulg), base clase 2 de 15 cm y subbase clase 3 de 15 cm, para garantizar el desempeño estructural durante el horizonte de diseño.



En ambos tramos, se ha considerado el uso de geomalla y base estabilizada, lo que sugiere un enfoque en mejorar la capacidad de carga y la resistencia a la deformación del pavimento.

La variación en los espesores de las capas, especialmente en la capa de mejoramiento y la base estabilizada, refleja un diseño optimizado que busca equilibrar la necesidad de durabilidad con la eficiencia en el uso de materiales.

En general, el diseño del pavimento muestra un enfoque cuidadoso para asegurar una estructura que no solo cumple con los requisitos estructurales, sino que también optimiza los materiales y considera las condiciones específicas de cada tramo.

En conclusión, el pavimento asfáltico tradicional continúa siendo una opción sólida, rentable y de desempeño comprobado en Guayas, especialmente cuando se aplican criterios adecuados de diseño, drenaje y mantenimiento.

9. BIBLIOGRAFÍA

Malo Gutierrez, C. R. (2024). Estudio comparativo de estructuras de pavimento convencional, pavimento sobre suelo estabilizado con cemento y pavimento reforzado con geosintéticos, del caso de estudio vía Zhidmad-Jadan [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana].

MOP 001-F, M. d. (2002). Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes. Obtenido de Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf

Huang Y. H. (2012). Pavement analysis and design. Pearson Education.

Wavin. (n.d.). Diseño de Infraestructura con Geosintéticos (10ª ed.). Geosoft.

López Zambrano, L. M., & Piguave Rodríguez, S. V. (2021). Estabilización de suelos en la instalación de tuberías de aguas lluvias utilizando geomalla en el Hospital Guasmo Sur. Universidad de Guayaquil. Repositorio UG. https://repositorio.ug.edu.ec/items/421e9f89-4d8b-4912-a454-44b4060ea0ab

Romero Espinoza, J. M., & Ortega Romero, C. J. (2022). Rediseño de la estructura del pavimento flexible mediante el método AASHTO 93 para la Avenida Piedrahita, cantón Daule. Universidad de Guayaquil. Repositorio UG. https://repositorio.ug.edu.ec/items/fed0b728-ce1b-427f-a011-8a70cb696f01

Tobar López, J. (2020). Estabilización con suelo-cemento de una carretera de cuarto orden en la Ruta del Cacao, Guayas, Ecuador. Revista Cemento Hormigón. https://cemento-hormigon.com/realizaciones/estabilizacion-con-suelo-cemento-de-una-carretera-de-cuarto-orden-en-la-ruta-del-cacao-guayas-ecuador