

INFORME DE AJUSTE DE LOS DISEÑOS DE PAVIMENTO DEL PROYECTO DE LA VARIANTE DE PALMAR DE VARELA INCLUYENDO EL DISEÑO DE CINCO (5) INTERSECCIONES A NIVEL



DAVID GONZÁLEZ HERRERA
DOCTOR EN INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
INGENIERO CIVIL

08 DE MAYO DE 2012
VERSIÓN 1

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	2
2	OBJETIVOS.....	2
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	2
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
3	ALCANCE.....	3
4	METODOLOGÍA.....	3
5	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	3
6	TRÁNSITO.....	7
7	DISEÑO DE PAVIMENTO.....	8
7.1	PARÁMETROS DE DISEÑO.....	8
7.2	DIMENSIONAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS.....	11
7.3	ESTRUCTURAS DE REFUERZO.....	12
7.4	VERIFICACIÓN POR MÉTODOS MECANICISTAS.....	13
7.4.1	<i>Deformación radial admisible por tracción, (ϵ_r admisible).....</i>	<i>13</i>
7.4.2	<i>Deformación y esfuerzo vertical admisible por compresión sobre la Subrasante, (ϵ_z admisible y σ_z admisible).....</i>	<i>14</i>
7.4.3	<i>Capa estabilizada con cemento.....</i>	<i>14</i>
7.4.4	<i>Resumen de los valores admisibles.....</i>	<i>15</i>
7.4.5	<i>Modelación de las alternativas de diseño.....</i>	<i>15</i>
8	EVALUACIÓN TÉCNICA DE ALTERNATIVAS.....	17
8.1	ALTERNATIVA 1: BASE GRANULAR.....	17
8.2	ALTERNATIVA 2: BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO.....	17
9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	18
10	ANEXOS.....	21

1 INTRODUCCIÓN

Tecnoconsulta S.A., contrató a Ingeniería de Soluciones Viales integrales ISOVIAL S.A.S, para realizar la Consultoría para el ajuste de los diseños estructurales de pavimento del proyecto “Doble Calzada de la Variante de Palmar de Varela, incluyendo el diseño de cinco (5) intersecciones a nivel”, en una longitud aproximada de 10 Km, entre el K18+913 y el K 28+303. Tramo que hace parte de la Concesión vial Ruta del Caribe ejecutado por la Sociedad Autopistas del Sol.

El ajuste se realizará con base en el informe suministrado por Tecnoconsulta, correspondiente al Volumen VI denominado “Estudio de Geotecnia para el Diseño del Pavimento” en su versión 02, con fecha de 06 de Marzo de 2013, y consiste en plantear dos alternativas de intervención complementarias de pavimento una con base granular y otra con base estabilizada con cemento, las cuales fueron diseñadas con la metodología AASHTO de 1993 y verificadas por métodos mecanicistas.

Bajo tal contexto, éste documento presenta el diseño de estas alternativas y algunas recomendaciones a tener en cuenta en el desarrollo de la obra.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar dos alternativas complementarias de la estructura de pavimento de la Variante Palmar de Varela en 10 Km de longitud, como parte del ajuste a los Diseños efectuados por Tecnoconsulta.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer los parámetros necesarios para el diseño estructural de pavimentos, a partir de la revisión y análisis de la información suministrada por Tecnoconsulta.
- Plantear los requisitos de calidad de las capas que conformarán las estructuras de pavimento complementarias y realizar su dimensionamiento.
- Plantear recomendaciones para la construcción de las alternativas diseñadas.

3 ALCANCE

El alcance del presente documento, es proponer dos nuevas alternativas de intervención al pavimento para la Variante Palmar de Varela, que cumplan con los requerimientos de carga y solicitudes especificados por la Concesión, lo anterior con base en la información suministrada por Tecnoconsulta, correspondiente al Volumen VI de los estudios y diseños de la doble calzada de la variante de Palmar de Varela incluyendo el diseño de cinco (5) intersecciones a nivel, denominado "Estudio de Geotecnia para el Diseño del Pavimento" identificado con el código TC-2082-135, en su versión 02, con fecha de 06 de Marzo de 2013. De acuerdo con lo anterior, se hace la aclaración que ISOVIAL no realizó directamente ningún ensayo o trabajo de campo para la obtención de información, por lo que la información suministrada es de responsabilidad de Tecnoconsulta.

4 METODOLOGÍA

Para lograr los objetivos anteriormente mencionados se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- a. Revisión del informe correspondiente al Volumen VI de los Estudios y Diseños de la doble calzada de la variante de Palmar de Varela incluyendo el diseño de cinco (5) intersecciones a nivel, denominado "Estudio de Geotecnia para el Diseño del Pavimento".
- b. Análisis y retroalimentación de la información correspondiente a la caracterización geotécnica, determinación de los sectores homogéneos de diseño y adopción del CBR de diseño.
- c. Determinación de los parámetros de diseño necesarios para el dimensionamiento de las estructuras.
- d. Dimensionamiento de las alternativas de pavimento, utilizando la metodología AASHTO de 1993 y verificándolas por métodos mecanicistas.
- e. Planteamiento de las estructuras de refuerzo, para un periodo de servicio de 20 años.

5 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

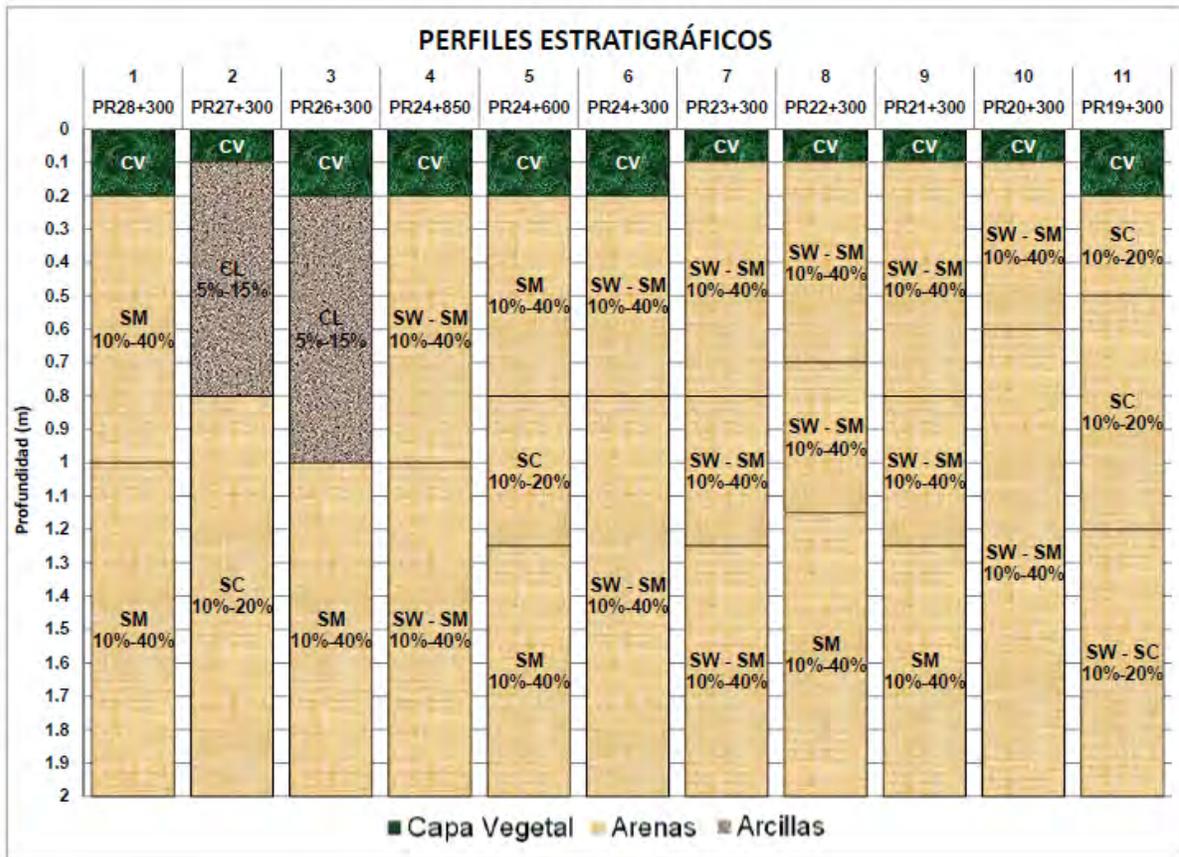
Tecnoconsulta Suministró a ISOVIAL el informe de "Estudio de Geotecnia para el Diseño del Pavimento" de la Variante de Palmar de Varela incluyendo el diseño de cinco (5) intersecciones a nivel, del cual se obtuvo

la siguiente información, que se utilizará para el desarrollo de los diseños de pavimento presentados en el informe.

a. Climatología: la temperatura promedio es de 27.5°C con variaciones promedio entre 24.9 a 29.8°C; siendo la máxima promedio de 34.8 °C y la mínima promedio de 22.1°C. La precipitación total anual es de 802 mm, con valores máximos en 24 horas entre 48 a 123 mm, con 75 números de días con lluvia y la humedad relativa media es del 80%, con variaciones estacionales entre 73 a 93%. (Tomado del numeral VII.3)

b. Caracterización Geotécnica: de acuerdo a lo presentado en el informe en el Capítulo V, se llevaron a cabo 11 perforaciones; 10 a una profundidad de 5,0 metros y 1 con profundidad de 10 metros, de las cuales se extrajeron muestras para realizar los ensayos de humedades, peso específico, análisis granulométrico, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad y se obtuvo el perfil estratigráfico de los suelos encontrados, este último se rehizo por parte de ISOVIAL y se presenta en la siguiente figura una profundidad máxima de 2.0 m.

FIGURA 1. PERFIL ESTRATIGRÁFICO



Fuente: Elaboración propia a partir del informe de Tecnoconsulta

Por otra parte considerando, que el suelo sobre la cual se colocará la estructura de pavimento corresponde a un terraplén con material seleccionado según la Especificación de Construcción INVIAS en su versión 2007 en el Artículo 210, de una altura mínima de 0.9 m, se realizó un ensayo de CBR al material de extracción de una fuente de material, y se complementó con un balance de resultados de obra del material que ya fue colocado, que permitió a Tecnoconsulta establecer un valor de $CBR \geq 15\%$ (oscilando entre 15% y 20%). No obstante, se aclara que la especificación indica que el CBR para el material seleccionado debe ser mayor al 10%, con lo cual se está cumpliendo dicho requerimiento. (Tomado del numeral VII.4)

Los resultados y tablas de caracterización geotécnica y el análisis del CBR de la Subrasante, incluidas en el informe de Tecnoconsulta, se presentan en el Anexo 1, además en el Anexo 2 se presenta los resultados de laboratorio de la caracterización de las fuentes de materiales.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, el CBR de diseño se toma de 15% en todo el tramo de estudio, que corresponde a la capacidad de soporte del material del terraplén, del cual su diseño, no es del alcance de Isovia, no obstante éste debe ser presentado en el informe de Geotecnia estructural, y debe contemplar los mejoramientos a que haya lugar para evitar su deformación por falla y afectaciones a la estructura de pavimento por deformaciones del mismo.

c. Tránsito: el número de ejes equivalentes en el carril diseño para los diferentes periodos de análisis calculados por Tecnoconsulta para el proyecto se muestra en la siguiente tabla.

TABLA 1. TRÁNSITO TECNOCONSULTA

Sector	Ejes Equivalentes DE 8,2 ton Acumulados						
	Año 0	Año 3	Año 5	Año 7	Año 10	Año 15	Año 20
	2012	2015	2017	2019	2022	2027	2032
Sentido Norte –Sur NESE	1,06E+06	4,92E+06	7,53E+06	1,02E+07	1,45E+07	2,21E+07	3,04E+07

Fuente: Tabla VII-5 Informe Tecnoconsulta

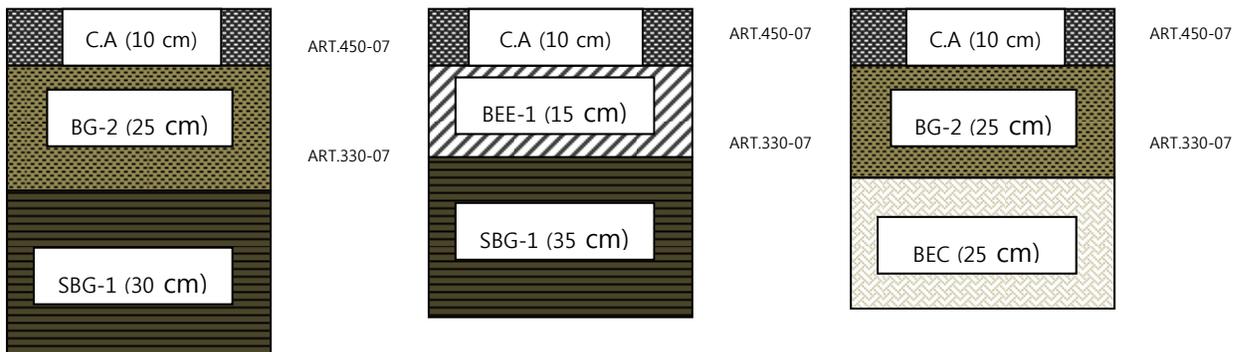
d. Diseño de Pavimentos: Se adoptó un solo sector de diseño, con un CBR de diseño de 15% al que le proporcionaron un módulo de 900 Kg/cm², obteniendo las siguientes estructuras para los diferentes tránsitos, en función del periodo de diseño (3, 5, 7, 10, 15 y 20 años) y de acuerdo con el Manual de diseño de pavimentos flexibles para medios y altos volúmenes de tránsito del Instituto Nacional de Vías – INVIAS. Se realizó la verificación por el método mecanicista de las alternativas para un periodo de diseño de 20 años.

TABLA 2. ESPESORES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO - TECNOCONSULTA

Período diseño	Cat.	Opciones	Espesores (cm)							Total
			MDC-2	BG-2	BG-1	BEE-1	BEE-2	SBG-1	BEC	
3 AÑOS	T5	Alternativa 1	10,0	20,0				20,0		50,0
		Alternativa 2	7,5			15,0		25,0		47,5
		Alternativa 3	10,0	15,0					20,0	45,0
5 AÑOS	T6	Alternativa 1	10,0	15,0				30,0		55,0
		Alternativa 2	7,5			15,0		25,0		47,5
		Alternativa 3	10,0	20,0					20,0	50,0
7 AÑOS	T 6	Alternativa 1	10,0	15,0				30,0		55,0
		Alternativa 2	7,5			15,0		25,0		47,5
		Alternativa 3	10,0	20,0					20,0	50,0
10 AÑOS	T 7	Alternativa 1	10,0		15,0			35,0		60,0
		Alternativa 2	7,5			15,0		35,0		57,5
		Alternativa 3	10,0	15,0					25,0	50,0
15 AÑOS	T8	Alternativa 1	10,0	25,0				27,5		62,5
		Alternativa 2	7,5				20,0	30,0		57,5
		Alternativa 3	10,0	20,0					25,0	55,0
20 AÑOS	T 9	Alternativa 1	10,0	25,0				30,0		65,0
		Alternativa 2	10,0			15,0		35,0		60,0
		Alternativa 3	10,0	25,0					25,0	60,0

Finalmente, el diseño propuesto se limita a proponer el esquema de las alternativas de pavimento para un periodo de 20 años, el cual es el definido para la actualización de los mismos.

FIGURA 2. DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA PERÍODO DE DISEÑO DE 20 AÑOS



Fuente: Figura VII 1 del Informe de Tecnoconsulta

6 TRÁNSITO

Teniendo en cuenta que el tránsito de diseño presentado en el informe suministrado por Tecnoconsulta, considera como año cero el 2012, se determinó nuevamente el cálculo de Número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas, a partir de la proyección de ejes en Sentido norte – Sur de la Tabla IV-9, que corresponde al sentido más cargado del tramo en estudio. El año puesta en servicio, se planteó en el 2014 y el tránsito en el periodo de construcción que se adoptó de un año y se tomó como año cero. El factor direccional se tomó de acuerdo a las consideraciones adoptadas por Tecnoconsulta de 0.7 y el factor carril se tomó de 1.0. Los factores de daño se tomaron de acuerdo a lo indicado en el Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito del INVIAS, En las siguientes tablas se presentan los factores de daño considerados y los resultados obtenidos.

TABLA 3. FACTORES DAÑO INVIAS

Tipo de Vehículo	Factor equivalencia
Buses	1.0
C2P	1.14
C2G	3.44
C3 –C4	3.76
C5	4.40
C6	4.72

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos Asfáltico en Vías con Medios y Altos Volúmenes de Tránsito del INVIAS - 1998.

TABLA 4. TRÁNSITO CALCULADO

Periodo	Año	Autos	Buses TPC	CAMIONES					TPD Calzada	NEE 8,2 Ton	NEE 8,2 Ton acumulado
				C2P	C2G	C3	C3-S2	C3-S3			
0	2013	1 611	717	279	636	125	101	134	3 603	1 218 679	1 218 679
1	2014	1 641	730	284	648	127	103	137	3 670	1 241 791	2 460 470
2	2015	1 672	744	289	660	129	105	140	3 739	1 265 159	3 725 629
3	2016	1 703	758	294	672	131	107	143	3 808	1 288 527	5 014 157
4	2017	1 735	772	299	685	133	109	146	3 879	1 312 774	6 326 931
5	2018	1 767	786	305	698	135	111	149	3 951	1 337 313	7 664 244
6	2019	1 800	801	311	711	138	113	152	4 026	1 363 067	9 027 311
7	2020	1 834	816	317	724	141	115	155	4 102	1 388 821	10 416 132
8	2021	1 868	831	323	738	144	117	158	4 179	1 415 455	11 831 587
9	2022	1 903	847	329	752	147	119	161	4 258	1 442 343	13 273 930
10	2023	1 939	863	335	766	150	121	164	4 338	1 469 232	14 743 162
11	2024	1 975	879	341	780	153	123	167	4 418	1 496 121	16 239 284
12	2025	2 012	895	347	795	156	125	170	4 500	1 523 889	17 763 172
13	2026	2 050	912	353	810	159	127	173	4 584	1 551 912	19 315 085
14	2027	2 088	929	360	825	162	129	176	4 669	1 580 227	20 895 311
15	2028	2 127	946	367	840	165	131	179	4 755	1 608 541	22 503 852
16	2029	2 167	964	374	856	168	133	182	4 844	1 637 990	24 141 842

Periodo	Año	Autos	Buses TPC	CAMIONES					TPD Calzada	NEE 8,2 Ton	NEE 8,2 Ton acumulado
				C2P	C2G	C3	C3-S2	C3-S3			
17	2030	2 208	982	381	872	171	135	185	4 934	1 667 439	25 809 281
18	2031	2 249	1 000	388	888	174	138	188	5 025	1 698 012	27 507 294
19	2032	2 291	1 019	395	905	177	141	192	5 120	1 730 926	29 238 219
20	2033	2 334	1 038	402	922	180	144	196	5 215	1 763 067	31 001 286
21	2034	2 377	1 057	410	939	184	146	199	5 312	1 795 805	32 797 091
22	2035	2 421	1 077	417	956	187	149	203	5 411	1 829 151	34 626 242
23	2036	2 466	1 097	425	974	191	152	207	5 511	1 863 116	36 489 358
24	2037	2 512	1 117	433	992	194	155	211	5 613	1 897 712	38 387 071
25	2038	2 558	1 138	441	1 011	198	157	214	5 718	1 932 950	40 320 021
26	2039	2 606	1 159	449	1 029	201	160	218	5 824	1 968 843	42 288 864

Fuente: Elaboración Propia a partir de los datos de Tabla IV-9- informe Tecnoconsulta

De la tabla anterior se toma el tránsito para un periodo de diseño de 5 Y 10 años de 7'670.000 Y 14'750.000 ejes equivalentes de 8.2 ton respectivamente. Se presenta el tránsito para más periodos de diseño, dado que la solicitud de actualización de la estructura de pavimento es para veinte (20) años, el cual se tendrá en cuenta para los reforzamientos de la estructura de pavimento.

El detalle de los cálculos de los ejes equivalentes, puede ser consultado en el Anexo 3.

7 DISEÑO DE PAVIMENTO

Para el diseño de la estructura de pavimento se establecieron dos alternativas en el tramo de estudio las cuales se presentan a continuación:

- **Alternativa 1:** Colocación de una mezcla asfáltica sobre base granular y está a su vez apoyada sobre el material de terraplén.
- **Alternativa 2:** Colocación de una mezcla asfáltica sobre una base estabilizada con cemento, y está a su vez apoyada sobre el material de base granular, bajo la cual estará el material de terraplén.

7.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

Se contempla realizar el diseño del pavimento empleando la metodología AASHTO según el procedimiento descrito en el Documento Guide for Design of Pavement Structures – AASHTO 1993, en la Figura 3.2 del numeral 3.1.5 (página II-36), empleando la ecuación general del método que se presenta a continuación, además de los parámetros descritos en la tabla subsiguiente de la misma.

$$\text{LogNdis} = Z_r * S_o + 9.36 * \log(SN+1) - 0.2 + \frac{\text{Log} \left[\frac{\Delta MPS}{P_o - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \text{LogMr} - 8.071$$

TABLA 5. PARÁMETROS DE DISEÑO AASHTO 1993

Parámetro de Diseño	Valor	Referencia*
Nivel de Confiabilidad	90%	Tabla 2.2 – Página II-9
zr	-1.282	Tabla 4.1 – Página I-62
Desviación Estándar	0.45 Nueva	Página I-6
Serviciabilidad Inicial	4.0	Numeral 2.2.1 - Página II-10
Serviciabilidad Final	2.2	Numeral 2.2.1 - Página II-10

*Aashto Guide for Design of Pavement Structures

La Serviciabilidad inicial se toma de 4.0 y no de 4.2 como lo sugiere el método, considerando que en la ecuación de Paterson un valor de 4.2 corresponde a un IRI inicial menor de 1.0, lo cual es muy difícil de conseguir.

Coefficientes de drenaje: Estos coeficientes se adoptan bajo la suposición que las capas pueden permanecer en condición de humedad aceptable próximas a la saturación entre el 5% y el 25% del tiempo. De acuerdo con lo anterior se adopta para las bases granulares y la base estabilizada con cemento un valor de 1.0 y para la subbase granular un valor de 0.9, según la Tabla 2.4 – Pagina II-25 de la Guide for Design of Pavement Structures – AASHTO 1993.

Coefficientes estructurales: para establecer la capacidad mecánica de los materiales en función del coeficiente estructural de cada uno, se tuvo en cuenta lo siguiente para cada material:

- La mezcla asfáltica debe cumplir con lo indicado en el artículo 450-07, de la Especificación INVIAS 2007. El coeficiente estructural de la mezcla asfáltica se tomó con un valor de 0.31, el cual se determinó con la siguiente ecuación, considerando que la temperatura del ambiente para este estudio es de 27.5° C. Con este coeficiente se espera obtener un módulo de 204.800 psi o 1.440 MPa.

$$A1 = 0,7304 - 0,1271 \times \text{LN} (T)$$

- Para la capa de base granular se plantea trabajar con una Base tipo BG-1 que cumpla los requerimientos de acuerdo con los Artículos 300 y 330 de las Especificaciones generales de Construcción del INVIAS en su versión 2007, con un CBR de 100%, con un coeficiente estructural de

0.14 al que corresponde un módulo de 30,000 PSI o 210 MPa determinado a partir de la figura 2.6 del Documento Guide for Design of Pavement Structures – AASHTO 1993, en su página II-19.

- Para la capa de Subbase Granular se adopta la SBG-1 que cumpla las especificaciones de acuerdo de los Artículos 300 y 320 de las Especificaciones generales de Construcción del INVIAS en su versión 2007, para la cual el módulo obtenido para un material con un CBR mínimo de 30% teóricamente es de 15,000 PSI o 100MPa; al que le corresponde un de coeficiente estructural de 0.11 determinado a partir de la figura 2.7 del Documento Guide for Design of Pavement Structures – AASHTO 1993, en su página II-21.
- Para la capa de base estabilizada con cemento, se considera un módulo de 85,750 psi o 600MPa adoptado a partir de la tabla 2.2.43 del documento, “Guide for mechanistic-empirical design of new and rehabilitated pavement structures” de 2004, el cual encaja en el intervalo para un suelo cemento. Se adopta un coeficiente estructural de 0.16 que corresponde aproximadamente a 21 Kg/cm² de resistencia de compresión a los siete días, a partir de la figura 2.8 del Documento Guide for Design of Pavement Structures – AASHTO 1993, en su página II-23.

A continuación se presenta una tabla donde se resumen los coeficientes estructurales adoptados para el diseño con los módulos equivalentes.

TABLA 6. COEFICIENTES ESTRUCTURALES Y MÓDULOS

Capa	Coficiente estructural	Módulo psi	Módulo Mpa
Mezcla Asfáltica	0.31	204,800	1,440
Base Granular	0.14	30,000	210
Subbase Granular	0.11	15,000	100
Base estabilizada con cemento	0.16	85,750	600

- En cuanto a la subrasante, se tomó el CBR de diseño según la caracterización geotécnica del corredor con un valor del 15%, que representa la resistencia del terraplén actual según las consideraciones e información suministrada por Tecnoconsulta, sobre el cual se colocará la estructura de pavimento. El módulo de diseño a partir del CBR calculado con la ecuación mostrada a continuación es de 997 kg/cm² o 99 MPa., la cual es utilizada para CBR mayores al 12%.

$$Mr = 225 * CBR^{0.55}$$

- El tránsito se tomó para los periodos de diseño 5 y 10 años de 7.67×10^6 y 1.475×10^7 ejes equivalentes de 8.2 toneladas respectivamente.

7.2 DIMENSIONAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS

Con los anteriores parámetros de diseño y siguiendo la metodología AASHTO de 1993, se tienen las siguientes estructuras de diseño para los periodos de 5 y 10 años.

TABLA 7. ESPESORES ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ALTERNATIVA 1

Capa	Módulos	5 Años	10 Años
		NESE: 7.670.000	NESE: 14.750.000
		Espesor, cm	Espesor, cm
Capa Asfáltica	1440	24	28
Base granular	210	25	25
Subrasante (Material de Terraplén)	99		

TABLA 8. ESPESORES ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ALTERNATIVA 2

Capa	Módulos	5 Años	10 Años
		NESE: 7.670.000	NESE: 14.750.000
		Espesor, cm	Espesor, cm
Capa Asfáltica (rodadura)	1440	7	10
Geomalla Biaxial			
Capa Asfáltica (Intermedia)	1440	6	8
Base estabilizada con Cemento	600	20	20
Base Granular	210	20	20
Subrasante (Material de Terraplén)	99		

Ver memorias de cálculo en el Anexo 4.

Para la alternativa 2 se recomienda colocar una geomalla biaxial de refuerzo en la capa asfáltica, con el fin de disminuir el riesgo de reflexión de fisuras a la superficie de la misma, está se debe colocar entre la capa de rodadura y capa intermedia de mezcla asfáltica. No obstante, será el concesionario quien decida finalmente su utilización. En caso de no colocarse, los espesores de pavimento son los mismos.

Por otra parte es importante mencionar, que el diseño para 5 años no es recomendable para la Concesión, ya que si bien la inversión inicial puede ser un poco menor, en comparación con la de 10 años, los costos

de mantenimiento y conservación serán mucho más elevados. Por cuanto se recomienda para el proyecto, la estructura de pavimento para 10 años, la cual debe ser reforzada de acuerdo a lo indicado en el numeral 7.3 del presente informe, para garantizar una vida de servicio de 20 años.

7.3 ESTRUCTURAS DE REFUERZO

Considerando que la solicitud de actualización de la estructura de pavimento es para veinte (20) años, se propone reforzamientos a la estructura de pavimento de 10 años, en los años 8 y 16 respectivamente, que consistirá en un fresado, reposición y refuerzo de mezcla asfáltica.

Es importante aclarar que los materiales granulares y estabilizados no tendrán que ser cambiados o mejorados durante el periodo de servicio, por cuanto sólo se tendrá que intervenir parte del espesor de la capa asfáltica existente en el momento de las actividades de conservación. Lo anterior siempre y cuando no se presente deformaciones importantes de la subrasante, que afecten la funcionalidad de la estructura.

Para la evaluación de los reforzamientos propuestos se tuvo en cuenta que la Concesión no puede llegar a daños superficiales y estructurales importantes que afecten la funcionalidad y capacidad estructural de las estructuras de pavimento. Por lo cual, se tomaron los siguientes coeficientes estructurales para su evaluación, determinados a partir de la tabla 5.2 del Documento Guide for Design of Pavement Structures – AASHTO 1993, en su página III-105.

Capa	Coefficiente estructural
Mezcla Asfáltica nueva	0.31
Mezcla Asfáltica existente	0.25
Base Granular existente	0.12
Base estabilizada con cemento	0.14

El detalle del cálculo de los espesores recomendados para cada alternativa para un periodo de 10 años, se presenta en el Anexo 4, y en la siguiente tabla se presenta el resume de los mismos.

TABLA 9. ESPESORES DE REFUERZO

Alternativa de diseño	Año de Intervención	Espesor CA existente, cm	Espesor de BG existente, cm	Espesor BEC existente, cm	Espesor de fresado de mezcla, cm	Espesor de reposición de mezcla, cm
1	8	28	25		7	8
	16	29	25		7	8
2	8	18	20	20	7	9
	16	20	20	20	7	8

De acuerdo con la tabla anterior, las actividades de conservación para la alternativa 1, tanto para el año 8 como para el año 16 son: fresar 7cm de capa asfáltica y colocar 8 cm. Y para la alternativa 2 son: en el año 8 fresar 7 cm de capa asfáltica y colocar 9 cm de mezcla asfáltica y en el año 16 fresar 7 cm de capa asfáltica y colocar 8 cm de mezcla asfáltica.

Por otra parte, es importante mencionar que el cálculo de los reforzamientos fueron propuestos con el fin que las estructuras logren el periodo de servicio requerido por la concesión y que permitan tener una vida remanente luego de un periodo de 20 años. Lo anterior considerando que no es recomendable hacer un diseño de estructura de pavimento para un periodo de 20 años. No obstante, los tiempos y espesores planteados son de referencia, dado que el Concesionario deberá hacer los estudios necesarios para establecer los espesores en esa época, considerando todos los aspectos tanto funcionales como estructurales.

El tiempo real de intervención estará definido por la condición de deterioro que presente la vía, los cuales pueden ser antes o después. A efectos de tener un presupuesto inicial de conservación se presentan los espesores de acuerdo a lo que habitualmente se considera como periodos de reforzamiento.

7.4 VERIFICACIÓN POR MÉTODOS MECANICISTAS

Se realiza la verificación de las estructuras de pavimento obtenidas en las alternativas planteadas en lo referente a esfuerzos, deformaciones y deflexiones. Para lo cual se utiliza el programa Bisar 3.0 para determinar los valores de servicio. Estos valores se comparan con los admisibles obtenidos con las leyes de fatiga que relacionan la deformación radial de la fibra inferior de la capa asfáltica, la deformación de compresión vertical de la subrasante con el número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 toneladas.

Para la verificación de la fatiga de la mezcla asfáltica se considera una ley de fatiga por el criterio de CEDEX- COST324. El control de deformación de la subrasante se comparara con los criterios de la fórmula del criterio de la Shell y el esfuerzo por el criterio de Dormon Kerhoven. Finalmente la fatiga de la base estabilizada con cemento se verifica por medio de la ecuación de la nueva guía AASHTO, según se presenta en los siguientes numerales.

7.4.1 Deformación radial admisible por tracción, (ϵ_r admisible)

Se utilizó la ecuación de fatiga del CEDEX –COST234 de España para una mezcla asfáltica con un factor de desplazamiento de 10. La ecuación se presenta a continuación, la cual es utilizada para verificar la deformación radial de la fibra inferior de la capa asfáltica:

$$\epsilon = 6.44 \times 10^{-3} * N^{-0.27243}$$

Donde:

- ϵ_r admisible = Deformación radial admisible
- N = Tránsito de diseño expresado en ejes equivalentes de 8,2 toneladas

7.4.2 Deformación y esfuerzo vertical admisible por compresión sobre la Subrasante, (ϵ_z admisible y σ_z admisible)

Se realiza por los criterios de la Shell y el de Dormon-Kerhoven para deformación y esfuerzo respectivamente.

▪ Criterio de la Shell

Se utiliza para determinar la deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante (ϵ_z admisible), con un nivel de confiabilidad que se adopta del 95%. La expresión de cálculo para este nivel se presenta a continuación.

$$\epsilon_z \text{ admisible (95\%)} = 1,80 \times 10^{-2} \times N^{-0,25}$$

Donde:

- ϵ_z admisible = Deformación de compresión vertical admisible.
- N = Tránsito de diseño expresado en ejes equivalentes de 8,2 toneladas.

▪ Criterio de Dormon- Kerhoven

Se emplea para determinar el esfuerzo vertical admisible de compresión sobre la subrasante (σ_z admisible), a partir de la siguiente ecuación:

$$\sigma_{z_{adm}} = \frac{0.007 E_{sub}}{(1 + 0.7 \text{Log } N)}, \text{Kg/cm}^2$$

Donde:

- σ_z admisible = Esfuerzo de compresión vertical admisible
- N = Tránsito de diseño expresado en ejes equivalentes de 8,2 toneladas
- E_{sub} = Módulo resiliente de la subrasante, Kg/cm²
- E_{sub} = 990 Kg/cm²

7.4.3 Capa estabilizada con cemento

El análisis de la etapa de fatiga se hace en función de la tensión en la cara inferior de la capa estabilizada con cemento. Para lo cual se utiliza la ecuación de la nueva guía AASHTO indicada en la Guía

metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras INVIAS-2008, Pág. 358.

$$\log Nf = \frac{(0.972\beta_{c1} - (\frac{\sigma_t}{MR}))}{0.0825\beta_{c2}}$$

Donde:

Nf: Número de repeticiones hasta alcanzar la falla= 1.475×10^7

MR: Módulo de rotura a 28 días.

σ_t : Esfuerzo de tensión en la base de la capa.

β_{c1} y β_{c2} : Coeficientes de calibración (1 por defecto).

Se adoptan un módulo de rotura de 1,0 MPa.

7.4.4 Resumen de los valores admisibles

En la siguiente tabla se presentan los valores de las deformaciones y esfuerzos admisibles, calculados de acuerdo a los numerales anteriores.

TABLA 10. VALORES ADMISIBLES

Criterio	Parámetro	Valor 5 años	Valor 10 años
Ley Fatiga CEDEX– COST234	Deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica, ϵ_r	1.61×10^{-4}	1.34×10^{-4}
Shell	Deformación vertical admisible de compresión sobre la Subrasante, ϵ_z	3.42×10^{-4}	$2,90 \times 10^{-4}$
Dormon - Kerhoven	Esfuerzo vertical admisible de compresión sobre la Subrasante, σ_z , Kg/cm ²	1.082	1.046
AASHTO	Esfuerzo de tensión admisible en la base de la capa estabilizada con cemento, Kg/cm ²	4.04	3.80

7.4.5 Modelación de las alternativas de diseño

Para el cálculo de los esfuerzos y deformaciones de servicio de cada alternativa de diseño, se utiliza el programa Bisar 3.0 de la Shell. Los datos de entrada de cargas considerados para el proyecto son: un radio de Carga de 10,80 cm, la presión de Contacto de 5,60 kg/ cm²o 549 KPa y la distancia entre ejes de llantas: 32,40 cm. Las relaciones de Poisson adoptadas corresponden a las típicas de cada material según la Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras 2008, en la tabla 3.2.1.

TABLA 11. RELACIONES DE POISSON DE LOS MATERIALES A UTILIZAR

Material	Rango	Valor adoptado
Concreto asfáltico	0,30-0,40	0,35
Suelo cemento	0,15-0,35	0,25
Base granular ó Subbase Granular	0,30-0,40	0,40
Subrasante granular	0,30-0,40	0,45

Fuente: Elaboración propia a partir de la Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras 2008.

El detalle del cálculo por el programa Bisar puede ser consultado en el Anexo 4.

▪ **Alternativa 1: Base Granular**

TABLA 12. VALORES DE SERVICIO ALTERNATIVA 1

Parámetro	Valor Servicio - 5 años	Valor Servicio - 10 años
Deformación radial de tracción en la base de la capa asfáltica, ϵ_r	1.607×10^{-4}	1.315×10^{-4}
Deformación vertical de compresión sobre la Subrasante, ϵ_z	2.709×10^{-4}	2.279×10^{-4}
Esfuerzo vertical de compresión sobre la Subrasante, σ_z , Kg/cm ²	0.2901	0.243

▪ **Alternativa 2: Base estabilizada con Cemento**

TABLA 13. VALORES DE SERVICIO ALTERNATIVA 2

Parámetro	Valor Servicio - 5 años	Valor Servicio - 10 años
Deformación radial de tracción en la base de la capa asfáltica, ϵ_r	1.500×10^{-4}	1.069×10^{-4}
Deformación vertical de compresión sobre la Subrasante, ϵ_z	2.533×10^{-4}	1.719×10^{-4}
Esfuerzo vertical de compresión sobre la Subrasante, σ_z , Kg/cm ²	0.261	0.2138
Esfuerzo de tensión en la base de la capa estabilizada con cemento, Kg/cm ²	0.531	0.418

El análisis mecanicista confirma los espesores establecidos con base en el método AASHTO para las dos alternativas de diseño.

8 EVALUACIÓN TÉCNICA DE ALTERNATIVAS

Dado que la estructura de pavimento se apoyará sobre terraplenes de alturas importantes, siendo la mínima altura de 90 cm, y considerando que estos muy probablemente van a presentar asentamientos diferenciales que pueden afectar prematuramente la estructura de pavimento, es importante mencionar algunas consideraciones de las alternativas de diseño de pavimento planteadas. La garantía de que los asentamientos sean mínimos, la debe dar la parte geotécnica del proyecto.

8.1 ALTERNATIVA 1: BASE GRANULAR

Los procedimientos de colocación de la capa de base granular se debe realizar de acuerdo a lo especificado en el Artículo 330 de las Especificaciones Generales de construcción del INVIAS del año 2007,

La estructura de la alternativa con base granular es muy flexible, por lo que las deformaciones que se puedan producir en el terraplén se podrán mitigar un poco sin llegar a eliminarlas, pero esa acción de mitigación es buena en la superficie, disminuyendo los daños que se puedan generar por los mismos.

8.2 ALTERNATIVA 2: BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO

Los procedimientos de colocación de la capa de base estabilizada con cemento se debe realizar de acuerdo a lo especificado en el Artículo 341 de las Especificaciones Generales de construcción del INVIAS del año 2007.

Con la alternativa de pavimento con Base Estabilizada con cemento, se producen fisuras de retracción, las cuales si llegan a ser de cierto nivel de abertura, pueden reflejarse en las capas asfálticas superiores y se pueden incrementar por los asentamientos diferenciales del terraplén, ya que la capa estabilizada no aguantará el nivel de deformación que se puede presentar por los asentamientos, con lo cual se generarán fisuras.

Sin embargo, es posible controlar considerablemente dicha retracción mediante técnicas de prefisuración de la capa estabilizada con cemento., las cuales se comentan a continuación:

- **Prefisuración con Juntas**

Al igual que en los pavimentos rígidos se ha considerado en las bases estabilizadas con cemento, generar juntas o planos de debilidad cada 2.5 y 3.5 m aproximadamente, con la finalidad de generar grados de libertad al material tratado con cemento, lo cual disminuye las tensiones debido a la contracción por pérdida de humedad y así se controlan las fisuras y la reflexión de las mismas en la capa asfáltica. Estas

fisuras son de un ancho aproximado de 5 mm y de una profundidad aproximada de 10 cm, las cuales deben ser selladas posteriormente con emulsión de rompimiento lento. (Art 420 IDU-ET -2011).

▪ **Prefisuración con Microfisuración**

Según un estudio del Texas Transportation Institute denominado "Pre-Cracking of Soil-Cement Base to Reduce Reflection Cracking", realizado por Tom Scullion en el año 2001, se menciona lo siguiente respecto a la técnica de microfisuración.

Las fisuras por contracción de los materiales tratados con cemento resultan de la pérdida de agua por secado y por hidratación del cemento. Una técnica innovadora para reducir este efecto es la microfisuración, en 1995 en Australia se comprobó que al pasar repetidamente un compactador de rodillo de alto peso vibrando a frecuencia alta y amplitud corta, entre las 24 y 72 horas de conformación de la capa, produciendo de esta manera microfisuras en la capa estabilizada. Las prácticas experimentales han demostrado que con cinco pasadas se consiguen resultados satisfactorios ya que la microfisuración previene la formación de fisuras de tensión de gran longitud de abertura, por lo tanto la reflexión de fisuras se reduce o anula en la capa de pavimento asfáltico. Es probable que por los contenidos de cemento se reflejen algunas fisuras, para lo cual se recomienda la colocación de la geomalla biaxial de refuerzo de acuerdo a la Tabla 8.

También se pudo verificar por medio de estudios defelectométricos que la que la técnica de microfisuración no generaba impactos significativos en los módulos finales del pavimento mediante cálculo inverso respecto a los valores de diseño. Comprobando además que el microfisurado debe realizarse tan pronto como sea posible después del periodo de curado de la capa estabilizada.

De acuerdo a lo anterior, se recomienda utilizar la técnica de la microfisuración en el proyecto, para disminuir la reflexión de fisuras en la capa asfáltica, en caso de seleccionar la alternativa 2 para el proyecto.

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- a. El tránsito de diseño actualizado para los periodos de diseño de 5 y 10 años son 7,670,000 y 14,750.000 ejes equivalentes de 8.2 toneladas respectivamente.
- b. Con base en la evaluación Geotécnica realizada por Tecnoconsulta, se adoptó el CBR de diseño con un valor de 15% y módulo resiliente de diseño es de 997 kg/cm² o 99 MPa. Para lo cual se debe garantizar el material de Terraplén a lo largo de todo el tramo evaluado en la altura recomendada por el área de geotecnia, de 90 cm o en su defecto, la reposición de material en el mismo espesor.

c. Se dimensionaron las siguientes alternativas de diseño para 5 y 10 años respectivamente, las cuales presentan espesores mayores en comparación con las alternativas contempladas en el diseño revisado, por el Manual del INVIAS. Lo anterior, dado que para el diseño se empleó el método ASSTHO de 1993 y para la verificación de esfuerzos y deformaciones se realizó con leyes de fatiga que representan los materiales y mezclas producidas en Colombia. En el caso particular de la estructura de la alternativa 1, el espesor de capa asfáltica no se pudo reducir, dado que un espesor menor no cumple el criterio de deformación a tracción en la fibra inferior de la capa asfáltica.

- **Alternativa 1:** Colocación de una mezcla asfáltica sobre base granular y está a su vez apoyada sobre el material de terraplén.
- **Alternativa 2:** Colocación de una mezcla asfáltica sobre una base estabilizada con cemento, y está a su vez apoyada sobre el material de terraplén.

TABLA 14. ESPESORES ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ALTERNATIVA 1

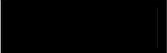
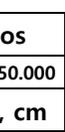
Capa		5 Años	10 Años
		NESE: 7.670.000	NESE: 14.750.000
		Espesor, cm	Espesor, cm
Capa Asfáltica		24	28
Base granular		25	25
Subrasante (Material de Terraplén)			

TABLA 15. ESPESORES ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ALTERNATIVA 2

Capa		5 Años	10 Años
		NESE: 7.670.000	NESE: 14.750.000
		Espesor, cm	Espesor, cm
Capa Asfáltica (rodadura)		7	10
Geomalla Biaxial			
Capa Asfáltica (Intermedia)		6	8
Base estabilizada con Cemento		20	20
Base Granular		20	20
Subrasante (Material de Terraplén)			

- d. Para la alternativa 2 se contempla colocar una geomalla biaxial de refuerzo en la capa asfáltica, con el fin de disminuir el riesgo de reflexión de fisuras a la superficie de la misma, está se debe colocar entre la capa de rodadura y capa intermedia de mezcla asfáltica. No obstante, será el concesionario quien decida finalmente su utilización. En caso de no colocarse, los espesores de pavimento son los mismos.
- e. El diseño para 5 años no es recomendable para la Concesión, ya que si bien la inversión inicial puede ser un poco menor, en comparación con la de 10 años, los costos de mantenimiento y conservación serán mucho más elevados. Por cuanto se recomienda para el proyecto, la estructura de pavimento para 10 años, la cual debe ser reforzada para garantizar una vida de servicio de 20 años.
- f. De acuerdo con la solicitud de actualización de la estructura de pavimento para veinte (20) años, se propuso el reforzamiento de la estructura de pavimento de 10 años, en los años 8 y 16, que consistirá en un fresado y refuerzo de mezcla asfáltica. Los espesores propuestos se presentan a continuación para cada alternativa.

TABLA 16. ESPESORES DE REFUERZO

Alternativa de diseño	Año de Intervención	Espesor de fresado de mezcla, cm	Espesor de reposición de mezcla, cm
1	8	7	8
	16	7	8
2	8	7	9
	16	7	8

- g. Los materiales granulares y estabilizados no tendrán que ser cambiados o mejorados durante el periodo de servicio de las estructuras, por cuanto sólo se tendrá que intervenir parte del espesor de la capa asfáltica existente en el momento de las actividades de mantenimiento y conservación. Lo anterior siempre y cuando no se presente deformaciones importantes de la subrasante, que afecten la funcionalidad de la estructura.
- h. Los reforzamientos fueron propuestos con el fin que las estructuras logren el periodo de servicio requerido por la concesión y que permitan tener una vida remanente luego de un periodo de 20 años. Lo anterior considerando que no es recomendable hacer un diseño de estructura de pavimento para un periodo de 20 años. No obstante, los tiempos y espesores planteados son de referencia, dado que el Concesionario deberá hacer los estudios necesarios para establecer los espesores en esa época, considerando todos los aspectos tanto funcionales como estructurales.
- i. El tiempo real de intervención para mantenimiento y conservación estará definido por la condición de deterioro que presente la vía, los cuales pueden ser antes o después de los tiempos propuestos en el presente informe (año 8 y año 16). A efectos de tener un presupuesto inicial de conservación se

presentan los espesores de acuerdo a lo que habitualmente se considera como periodos de reforzamiento.

- j. Dentro del informe se presentan algunas recomendaciones de obra, para la Alternativa N°2: Base estabilizada con cemento con técnicas de prefisuración, para evitar la reflexión de fisuras en la superficie de la capa asfáltica.
- k. Se recomienda el uso de asfaltos modificados, dado la severidad del clima de la zona del proyecto, lo cual ayuda mucho al buen desempeño de la mezcla. Además se debe garantizar la calidad de la adherencia entre el pétreo y el ligante.

10 ANEXOS

ANEXO 1. CÁLCULO DE NESE

ANEXO 2. MEMORIAS DE CÁLCULO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS

David González Herrera

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Ingeniero civil





Anexo 1

CÁLCULO DE NESE

Tránsito Actualizado Palmar de Varela

Periodo	Año	Autos	Buses TPC	CAMIONES						TPD Calzada	1	1.14	3.44	3.76	4.4	4.72	NEE 8,2 Ton	NEE 8,2 Ton acumulado 5 años	NEE 8,2 Ton acumulado 10 años	Refuerzos	
				C2P	C2G	C3	C3-S2	C3-S3	TPC		C2P	C2G	C3	C3-S2	C3-S3	NEE 8,2 Ton acumulado refuerzo año 8				NEE 8,2 Ton acumulado refuerzo año 16	
				0	2013	1,611	717	279	636		125	101	134	3,603	183,194	81,264				558,993	120,085
1	2014	1,641	730	284	648	127	103	137	3,670	186,515	82,721	569,540	122,006	115,793	165,217	1,241,791	2,460,470	2,460,470			
2	2015	1,672	744	289	660	129	105	140	3,739	190,092	84,177	580,087	123,928	118,041	168,834	1,265,159	3,725,629	3,725,629			
3	2016	1,703	758	294	672	131	107	143	3,808	193,669	85,633	590,634	125,849	120,289	172,452	1,288,527	5,014,157	5,014,157			
4	2017	1,735	772	299	685	133	109	146	3,879	197,246	87,090	602,060	127,770	122,538	176,070	1,312,774	6,326,931	6,326,931			
5	2018	1,767	786	305	698	135	111	149	3,951	200,823	88,837	613,486	129,692	124,786	179,688	1,337,313	7,664,244	7,664,244			
6	2019	1,800	801	311	711	138	113	152	4,026	204,656	90,585	624,912	132,574	127,035	183,306	1,363,067		9,027,311			
7	2020	1,834	816	317	724	141	115	155	4,102	208,488	92,333	636,338	135,456	129,283	186,924	1,388,821		10,416,132			
8	2021	1,868	831	323	738	144	117	158	4,179	212,321	94,080	648,643	138,338	131,531	190,542	1,415,455		11,831,587			
9	2022	1,903	847	329	752	147	119	161	4,258	216,409	95,828	660,948	141,220	133,780	194,160	1,442,343		13,273,930	1,442,343		
10	2023	1,939	863	335	766	150	121	164	4,338	220,497	97,575	673,253	144,102	136,028	197,777	1,469,232		14,743,162	2,911,576		
11	2024	1,975	879	341	780	153	123	167	4,418	224,585	99,323	685,558	146,984	138,277	201,395	1,496,121			4,407,697		
12	2025	2,012	895	347	795	156	125	170	4,500	228,673	101,071	698,741	149,866	140,525	205,013	1,523,889			5,931,586		
13	2026	2,050	912	353	810	159	127	173	4,584	233,016	102,818	711,925	152,748	142,773	208,631	1,551,912			7,483,498		
14	2027	2,088	929	360	825	162	129	176	4,669	237,360	104,857	725,109	155,630	145,022	212,249	1,580,227			9,063,725		
15	2028	2,127	946	367	840	165	131	179	4,755	241,703	106,896	738,293	158,512	147,270	215,867	1,608,541			10,672,266		
16	2029	2,167	964	374	856	168	133	182	4,844	246,302	108,935	752,356	161,394	149,519	219,485	1,637,990			12,310,256		
17	2030	2,208	982	381	872	171	135	185	4,934	250,901	110,974	766,418	164,276	151,767	223,103	1,667,439			13,977,695	1,667,439	
18	2031	2,249	1,000	388	888	174	138	188	5,025	255,500	113,013	780,481	167,158	155,140	226,720	1,698,012			15,675,707	3,365,451	
19	2032	2,291	1,019	395	905	177	141	192	5,120	260,355	115,052	795,423	170,040	158,512	231,544	1,730,926				5,096,377	
20	2033	2,334	1,038	402	922	180	144	196	5,215	265,189	117,188	810,193	173,198	161,456	235,844	1,763,067				6,859,444	
21	2034	2,377	1,057	410	939	184	146	199	5,312	270,113	119,364	825,237	176,414	164,454	240,223	1,795,805				8,655,249	
22	2035	2,421	1,077	417	956	187	149	203	5,411	275,129	121,581	840,561	179,690	167,507	244,684	1,829,151				10,484,400	
23	2036	2,466	1,097	425	974	191	152	207	5,511	280,238	123,838	856,169	183,026	170,618	249,227	1,863,116				12,347,516	
24	2037	2,512	1,117	433	992	194	155	211	5,613	285,441	126,138	872,067	186,425	173,786	253,855	1,897,712				14,245,228	
25	2038	2,558	1,138	441	1,011	198	157	214	5,718	290,742	128,480	888,260	189,887	177,013	258,569	1,932,950				16,178,179	
26	2039	2,606	1,159	449	1,029	201	160	218	5,824	296,140	130,866	904,754	193,413	180,300	263,370	1,968,843				18,147,022	



Anexo 2

MEMORIA DE CÁLCULO DE
DISEÑO DE PAVIMENTOS

DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE - MÉTODO AASHTO-93

Proyecto: Palmar de Varela Alternativa 1: Base Granular

Ecuación del método

$$\log NEE = Z_r \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10} Mr - 8.07$$

Parámetros de entrada del método

R, %	90	Confiabilidad
So	0.45	Error estándar combinando
Po	4	Índice de Servicio Inicial
Pf	2.2	Índice de Servicio Final
Zr	-1.282	Desviación estándar normal
ΔPSI	1.8	Pérdida de Serviciabilidad final

Variables de entrada del diseño

CBR, %	15	CBR de la Subrasante
NEE	7.67E+06	Ejes equivalentes de 8,2 ton
Mr, PSI	14,254	Modulo resiliente
Mr, Kg/cm²	998	Modulo resiliente
TMAP, °C	27.5	
Periodo Diseño	5	Años

Número estructural efectivo

Log NEE req	6.88	Log NEE diseño	6.89
SN req		3.75	

Coeficientes estructurales, Drenaje y Módulos Resilientes por capas

	a	m	PSI	Kg/cm ²
Capa asfáltica	a1	0.31	1	204,836
Base Granular	a2	0.14	1	30,000
Subbase granular	a3	0.11	0.9	15,000

Estructura de pavimento

Capa	Espesor, Pulg	Espesor, cm	Mr, PSI	Mr, Kg/cm ²	SN capa
CA	9.5	24	204,836	14,339	2.92
BG	10	25	30,000	2,100	1.36
SBG	0.0	0	15,000	1,050	0.00
SR			14254	998	
Total	19.5	49.0			4.28

Verificación del diseño

SN req	3.75	
SN dis	4.28	Cumple

DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE - MÉTODO AASHTO-93

Proyecto: Palmar de Varela Alternativa 2: Base Estabilizada con Cemento

Ecuación del método

$$\log NEE = Z_r \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10} Mr - 8.07$$

Parámetros de entrada del método

R, %	90	Confiability
So	0.45	Error estándar combinando
Po	4	Índice de Servicio Inicial
Pf	2.2	Índice de Servicio Final
Zr	-1.282	Desviación estándar normal
ΔPSI	1.8	Pérdida de Serviciabilidad final

Variables de entrada del diseño

CBR, %	15	CBR de la Subrasante
NEE	7.67E+06	Ejes equivalentes de 8,2 ton
Mr, PSI	14,254	Modulo ivanov
Mr, Kg/cm ²	998	Modulo ivanov
TMAP, °C	27.5	
Periodo Diseño	5	Años

Número estructural efectivo

Log NEE req	6.88	Log NEE diseño	6.89
SN req	3.75		

Coefficientes estructurales, Drenaje y Módulos Resilientes por capas

	a	m	PSI	Kg/cm ²
Capa asfáltica	a1	0.31	1	204,836
Base estabilizada cemento	a2	0.16	1	85,750
Base granular	a3	0.14	1	30,000

Estructura de pavimento

Capa	Espesor, Pulg	Espesor, cm	Mr, PSI	Mr, Kg/cm ²	SN capa
CA	5	13	204,836	14,339	1.58
BEC	8	20	85,750	6,003	1.26
SBG	8	20	30,000	2,100	1.09
SR			14254	900	
Total	21	53			3.93

Verificación del diseño

SN req	3.75	Cumple
SN dis	3.93	

DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE - MÉTODO AASHTO-93

Proyecto: Palmar de Varela Alternativa 1: Base Granular

Ecuación del método

$$\log NEE = Z_r \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10} Mr - 8.07$$

Parámetros de entrada del método

R, %	90	Confiabilidad
So	0.45	Error estándar combinando
Po	4	Índice de Servicio Inicial
Pf	2.2	Índice de Servicio Final
Zr	-1.282	Desviación estándar normal
ΔPSI	1.8	Pérdida de Serviciabilidad final

Variables de entrada del diseño

CBR, %	15	CBR de la Subrasante
NEE	1.48E+07	Ejes equivalentes de 8,2 ton
Mr, PSI	14,254	Modulo resiliente
Mr, Kg/cm²	998	Modulo resiliente
TMAP, °C	27.5	
Periodo Diseño	10	Años

Número estructural efectivo

Log NEE req	7.17	Log NEE diseño	7.17
SN req	4.15		

Coeficientes estructurales, Drenaje y Módulos Resilientes por capas

	a	m	PSI	Kg/cm²
Capa asfáltica	a1	0.31	1	204,836
Base Granular	a2	0.14	1	30,000
Subbase granular	a3	0.11	0.9	15,000

Estructura de pavimento

Capa	Espesor, Pulg	Espesor, cm	Mr, PSI	Mr, Kg/cm²	SN capa
CA	11.0	28	204,836	14,339	3.41
BG	10	25	30,000	2,100	1.36
SBG	0.0	0	15,000	1,050	0.00
SR			14254	998	
Total	21	53			4.76

Verificación del diseño

SN req	4.15	
SN dis	4.76	Cumple

DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE - MÉTODO AASHTO-93

Proyecto: Palmar de Varela Alternativa 2: Base Estabilizada con Cemento

Ecuación del método

$$\log NEE = Z_r \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10} Mr - 8.07$$

Parámetros de entrada del método

R, %	90	Confiability
So	0.45	Error estándar combinando
Po	4	Índice de Servicio Inicial
Pf	2.2	Índice de Servicio Final
Zr	-1.282	Desviación estándar normal
ΔPSI	1.8	Pérdida de Serviciabilidad final

Variables de entrada del diseño

CBR, %	15	CBR de la Subrasante
NEE	1.48E+07	Ejes equivalentes de 8,2 ton
Mr, PSI	14,254	Modulo ivanov
Mr, Kg/cm ²	998	Modulo ivanov
TMAP, °C	27.5	
Periodo Diseño	10	Años

Número estructural efectivo

Log NEE req	7.17	Log NEE diseño	7.17
SN req	4.15		

Coefficientes estructurales, Drenaje y Módulos Resilientes por capas

	a	m	PSI	Kg/cm ²
Capa asfáltica	a1	0.31	1	204,836
Base estabilizada cemento	a2	0.16	1	85,750
Base granular	a3	0.14	1	30,000

Estructura de pavimento

Capa	Espesor, Pulg	Espesor, cm	Mr, PSI	Mr, Kg/cm ²	SN capa
CA	7	18	204,836	14,339	2.19
BEC	8	20	85,750	6,003	1.26
SBG	8	20	30,000	2,100	1.09
SR			14254	900	
Total	23	58			4.54

Verificación del diseño

SN req	4.15	Cumple
SN dis	4.54	



BISAR 3.0 - Block Report

Palmar de Varela Final

System 3: Base Granular 5 años

Structure

Loads

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Vertical		Horizontal (Shear)		Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
					Load (kN)	Stress (MPa)	Load (kN)	Stress (MPa)				
1	0.240	1.440E+03	0.35	1	2.012E+01	5.490E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.080E-01	0.000E+00	1.620E-01	0.000E+00
2	0.250	2.100E+02	0.40	2	2.012E+01	5.490E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.080E-01	0.000E+00	-1.620E-01	0.000E+00
3		9.900E+01	0.45									

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses			Strains			Displacements		
					XX (MPa)	YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX μ strain	YY μ strain	ZZ μ strain	UX (μ m)	UY (μ m)	UZ (μ m)
1	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-3.051E-01	-1.252E-01	0.000E+00	-1.815E+02	-1.277E+01	1.046E+02	0.000E+00	0.000E+00	3.162E+02
2	1	0.000E+00	0.000E+00	2.400E-01	2.827E-01	1.812E-01	-6.742E-02	1.687E+02	7.350E+01	-1.596E+02	0.000E+00	0.000E+00	3.097E+02
3	2	0.000E+00	0.000E+00	2.400E-01	4.575E-03	-9.703E-03	-6.742E-02	1.687E+02	7.350E+01	-3.113E+02	0.000E+00	0.000E+00	3.097E+02
4	1	0.000E+00	1.620E-01	2.400E-01	2.858E-01	2.250E-01	-6.964E-02	<u>1.607E+02</u>	1.037E+02	-1.725E+02	0.000E+00	1.456E+01	2.990E+02
5	2	0.000E+00	1.620E-01	2.400E-01	4.114E-03	-4.431E-03	-6.964E-02	1.607E+02	1.037E+02	-3.310E+02	0.000E+00	1.456E+01	2.990E+02
6	2	0.000E+00	0.000E+00	4.900E-01	2.376E-02	2.038E-02	-2.901E-02	1.296E+02	1.070E+02	-2.222E+02	0.000E+00	0.000E+00	2.477E+02
7	3	0.000E+00	0.000E+00	4.900E-01	-1.671E-03	-3.210E-03	<u>-2.901E-02</u>	1.296E+02	1.070E+02	<u>-2.708E+02</u>	0.000E+00	0.000E+00	2.477E+02



BISAR 3.0 - Block Report

Palmar de Varela Final

System 4: Base estabilizada cemento 5 años

Structure

Loads

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Vertical		Horizontal (Shear)		Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
					Load (kN)	Stress (MPa)	Load (kN)	Stress (MPa)				
1	0.130	1.440E+03	0.35	1	2.012E+01	5.490E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.080E-01	0.000E+00	1.620E-01	0.000E+00
2	0.200	6.000E+02	0.25	2	2.012E+01	5.490E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.080E-01	0.000E+00	-1.620E-01	0.000E+00
3	0.200	2.100E+02	0.40									
4		9.900E+01	0.45									

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses			Strains			Displacements		
					XX (MPa)	YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX μ strain	YY μ strain	ZZ μ strain	UX (μ m)	UY (μ m)	UZ (μ m)
1	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-3.104E-01	-9.279E-02	0.000E+00	-1.930E+02	1.101E+01	9.800E+01	0.000E+00	0.000E+00	3.096E+02
2	1	0.000E+00	0.000E+00	1.300E-01	8.273E-02	-9.115E-02	-1.289E-01	1.109E+02	-5.207E+01	-8.749E+01	0.000E+00	0.000E+00	3.123E+02
3	2	0.000E+00	0.000E+00	1.300E-01	1.969E-02	-5.855E-02	-1.289E-01	1.109E+02	-5.207E+01	-1.987E+02	0.000E+00	0.000E+00	3.123E+02
4	1	0.000E+00	1.620E-01	1.300E-01	1.401E-01	1.007E-01	-2.329E-01	1.294E+02	9.250E+01	-2.203E+02	0.000E+00	3.517E+00	3.109E+02
5	2	0.000E+00	1.620E-01	1.300E-01	1.999E-02	2.270E-03	-2.329E-01	1.294E+02	9.251E+01	-3.975E+02	0.000E+00	3.517E+00	3.109E+02
6	2	0.000E+00	0.000E+00	3.300E-01	9.340E-02	6.680E-02	<u>-5.313E-02</u>	<u>1.500E+02</u>	9.456E+01	-1.553E+02	0.000E+00	0.000E+00	2.773E+02
7	3	0.000E+00	0.000E+00	3.300E-01	1.153E-02	3.217E-03	<u>-5.313E-02</u>	1.500E+02	9.456E+01	-2.811E+02	0.000E+00	0.000E+00	2.773E+02
8	3	0.000E+00	0.000E+00	5.300E-01	2.343E-02	2.037E-02	-2.611E-02	1.225E+02	1.021E+02	-2.078E+02	0.000E+00	0.000E+00	2.316E+02
9	4	0.000E+00	0.000E+00	5.300E-01	-4.505E-04	-1.843E-03	<u>-2.611E-02</u>	1.225E+02	1.021E+02	<u>-2.533E+02</u>	0.000E+00	0.000E+00	2.316E+02



BISAR 3.0 - Block Report

Palmar de Varela Final

System 1: Base Granular 10 años

Structure

Loads

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Vertical		Horizontal (Shear)		Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
					Load (kN)	Stress (MPa)	Load (kN)	Stress (MPa)				
1	0.280	1.440E+03	0.35	1	2.012E+01	5.490E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.080E-01	0.000E+00	1.620E-01	0.000E+00
2	0.250	2.100E+02	0.40	2	2.012E+01	5.490E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.080E-01	0.000E+00	-1.620E-01	0.000E+00
3		9.900E+01	0.45									

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses			Strains			Displacements		
					XX (MPa)	YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX μ strain	YY μ strain	ZZ μ strain	UX (μ m)	UY (μ m)	UZ (μ m)
1	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-2.600E-01	-9.304E-02	0.000E+00	-1.579E+02	-1.423E+00	8.581E+01	0.000E+00	0.000E+00	2.875E+02
2	1	0.000E+00	1.620E-01	0.000E+00	-6.479E-01	-6.054E-01	-5.490E-01	-1.693E+02	-1.295E+02	-7.664E+01	0.000E+00	-1.365E+01	3.128E+02
3	1	0.000E+00	0.000E+00	2.800E-01	2.429E-01	1.733E-01	-5.523E-02	1.400E+02	7.472E+01	-1.395E+02	0.000E+00	0.000E+00	2.782E+02
4	2	0.000E+00	0.000E+00	2.800E-01	5.646E-03	-4.140E-03	-5.523E-02	1.400E+02	7.472E+01	-2.658E+02	0.000E+00	0.000E+00	2.782E+02
5	1	0.000E+00	1.620E-01	2.800E-01	2.358E-01	1.873E-01	-5.456E-02	<u>1.315E+02</u>	8.600E+01	-1.407E+02	0.000E+00	1.325E+01	2.688E+02
6	2	0.000E+00	1.620E-01	2.800E-01	5.101E-03	-1.725E-03	-5.456E-02	1.315E+02	8.600E+01	-2.663E+02	0.000E+00	1.325E+01	2.688E+02
7	2	0.000E+00	0.000E+00	5.300E-01	1.994E-02	1.747E-02	-2.431E-02	1.080E+02	9.152E+01	-1.870E+02	0.000E+00	0.000E+00	2.259E+02
8	3	0.000E+00	0.000E+00	5.300E-01	-1.374E-03	-2.496E-03	<u>-2.431E-02</u>	1.080E+02	9.152E+01	<u>-2.279E+02</u>	0.000E+00	0.000E+00	2.259E+02



BISAR 3.0 - Block Report

Palmar de Varela Final

System 2: Base estabilizada cemento 10 años

Structure

Loads

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Vertical		Horizontal (Shear)		Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
					Load (kN)	Stress (MPa)	Load (kN)	Stress (MPa)				
1	0.180	1.440E+03	0.35	1	2.012E+01	5.490E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.080E-01	0.000E+00	1.620E-01	0.000E+00
2	0.200	6.000E+02	0.25	2	2.012E+01	5.490E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.080E-01	0.000E+00	-1.620E-01	0.000E+00
3	0.200	2.100E+02	0.40									
4		9.900E+01	0.45									

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses			Strains			Displacements		
					XX (MPa)	YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX μ strain	YY μ strain	ZZ μ strain	UX (μ m)	UY (μ m)	UZ (μ m)
1	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-2.594E-01	-7.825E-02	0.000E+00	-1.611E+02	8.709E+00	8.207E+01	0.000E+00	0.000E+00	2.775E+02
2	1	0.000E+00	0.000E+00	1.800E-01	1.095E-01	6.469E-05	-1.133E-01	1.036E+02	9.684E-01	-1.053E+02	0.000E+00	0.000E+00	2.766E+02
3	2	0.000E+00	0.000E+00	1.800E-01	2.867E-02	-2.058E-02	-1.133E-01	1.036E+02	9.679E-01	-1.922E+02	0.000E+00	0.000E+00	2.766E+02
4	1	0.000E+00	1.620E-01	1.800E-01	1.326E-01	9.311E-02	-1.544E-01	<u>1.069E+02</u>	6.995E+01	-1.620E+02	0.000E+00	5.722E+00	2.709E+02
5	2	0.000E+00	1.620E-01	1.800E-01	2.818E-02	1.043E-02	-1.544E-01	1.069E+02	6.996E+01	-2.733E+02	0.000E+00	5.722E+00	2.709E+02
6	2	0.000E+00	0.000E+00	3.800E-01	7.689E-02	5.987E-02	<u>-4.188E-02</u>	1.206E+02	8.520E+01	-1.268E+02	0.000E+00	0.000E+00	2.466E+02
7	3	0.000E+00	0.000E+00	3.800E-01	1.076E-02	5.445E-03	-4.188E-02	1.206E+02	8.520E+01	-2.303E+02	0.000E+00	0.000E+00	2.466E+02
8	3	0.000E+00	0.000E+00	5.800E-01	1.943E-02	1.734E-02	<u>-2.138E-02</u>	1.002E+02	8.628E+01	<u>-1.719E+02</u>	0.000E+00	0.000E+00	2.089E+02

Cálculo de refuerzos Alternativas de diseño

Alternativa de diseño	Año de Intervención	MR diseño, Kg/cm2	NESE	Espesor CA existente, cm	Espesor de BG existente, cm	Espesor BEC existente, cm	Espesor de fresado de mezcla, cm	SN efectivo	SN Requerido	Espesor de reposición de mezcla, cm
1	8	997	15,675,707	28	25		7	3.25	4.19	8
	16	997	18,147,022	29	25		7	3.35	4.29	8
2	8	997	15,675,707	18	20	20	7	3.13	4.19	9
	16	997	18,147,022	20	20	20	7	3.33	4.29	8

Coefficientes estructurales

Mezcla Asfáltica nueva	0.31
Mezcla Asfáltica existente	0.25
Base Granular existente	0.12
Base estabilizada con cemento	0.14