

**DISEÑO DEL PAVIMENTO PARA UN CORREDOR VIAL DE ALTO TRÁFICO,  
LOCALIZADO SOBRE LA AUTOPISTA NORTE ENTRE LAS CALLES 134 Y 138.**

**CARLOS HERRERA**

**Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA UMNG  
DIVISIÓN DE POSTGRADO  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS  
BOGOTÁ D.C.**

**2014**

**DISEÑO DEL PAVIMENTO PARA UN CORREDOR VIAL DE ALTO TRÁFICO,  
LOCALIZADO SOBRE LA AUTOPISTA NORTE ENTRE LAS CALLES 134 Y 138.**

**CARLOS HERRERA**

**Ingeniero Civil**

**Monografía de grado para optar al título de  
Especialista en Ingeniería de Pavimentos**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA UMNG  
DIVISIÓN DE POSTGRADO  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS  
BOGOTÁ D.C.**

**2014**

# 1 TABLA DE CONTENIDO

2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA -----	5
3	ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN -----	5
4	OBJETIVOS-----	5
4.1	OBJETIVO GENERAL -----	5
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS -----	5
5	MARCO REFERENCIAL -----	6
5.1	LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO -----	6
5.2	ASPECTOS GEOTÉCNICOS-----	7
5.2.1	Exploración del subsuelo.-----	7
5.2.2	Ensayos de laboratorio-----	8
5.2.2	Caracterización del suelo. -----	9
6	LOCALIZACIÓN DE SONDEOS Y APIQUES-----	9
6.1	ESTUDIO DE TRANSITO-----	10
6.1.1	Volúmenes promedio.-----	10
6.1.2	Composición y distribución del volumen de tránsito. -----	11
6.1.3	Tránsito de diseño, numero de ejes equivalentes.-----	11
6.2	DISEÑO DE LAS ALTERNATIVAS DE PAVIMENTO-----	13
6.2.1	Pavimento flexible (método ASSTHO) -----	13
6.3	ALTERNATIVAS DE DISEÑO PAVIMENTO FLEXIBLE -----	14
6.4	PAVIMENTO RÍGIDO (MÉTODO PCA)-----	14
6.5	DISEÑO DE ALTERNATIVAS -----	15
6.5.1	DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR EL MÉTODO AASHTO 1993 -----	15
6.5.2	Resumen parámetros de diseño -----	17
6.6	DISEÑO PAVIMENTO MÉTODO PORTLAND CEMENT ASSOCIATION PCA-----	20
6.6.1	Criterios de diseño: -----	20
6.6.2	Parámetros de diseño:-----	20
6.6.3	Módulo de Rotura -----	20
6.6.4	Resistencia de la subrasante en términos del módulo de reacción (k)-----	20
6.6.5	Capacidad de soporte de la subrasante y la subbase: -----	21
6.6.6	Materiales de Construcción-----	22
6.6.7	El Suelo: -----	23

6.6.8	Estabilización del Suelo con Cemento: -----	23
7	Base-----	23
7.1	Base Granular: -----	24
7.2	Base de Suelo Cemento:-----	24
7.3	Concreto: -----	24
7.4	Periodo de diseño: -----	25
7.5	Tránsito de diseño:-----	25
7.6	Tránsito de diseño:-----	25
8	TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS-----	25
8.1	Factor de seguridad de carga: -----	26
8.2	RESULTADOS PROGRAMA BS-PCA -----	28
8.3	CARRIL MIXTO-----	28
8.3.1	Alternativa 1 (base granular) -----	28
8.3.2	Informe alternativa 1 (base granular) -----	29
8.3.3	Alternativa 2 (base estabilizada con cemento)-----	29
8.3.4	Informe alternativa 2 (base estabilizada con cemento)-----	30
8.4	CARRIL TRANSMILENIO-----	30
8.4.1	Alternativa 1 (base granular) -----	30
8.4.2	Informe alternativa 1 (base granular) -----	31
8.4.3	Alternativa 2 (base estabilizada con cemento)-----	31
8.4.4	Informe alternativa 2 (base estabilizada con cemento)-----	32
9	CONCLUSIONES-----	33
10	RECOMENDACIONES -----	35
11	MARCO LEGAL-----	36
12	BIBLIOGRAFÍA -----	37
13	ANEXOS-----	38
14	LISTA DE TABLAS-----	46
15	LISTA DE FIGURAS-----	47

## **2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Debido al deterioro progresivo de losas de concreto, con presencia de fallas funcionales y estructurales es necesario determinar cuál es el tipo de pavimento y el diseño óptimo para el corredor vial de alto tráfico.

## **3 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN**

- Estudios previos y/o información existente
- Deterioro de pavimento y ampliación de separador central para mejorar el nivel de servicio.

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar pavimento en vía de alto tráfico, localizada sobre la autopista norte entre las calles 134 y 138.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Recopilar y analizar información existente
- Seleccionar el tipo de diseño apropiado para el sector en estudio
- Seleccionar espesores de diseño acordes con el tránsito previsto y las condiciones de soporte.
- Evaluar los materiales componentes que aseguren los requerimientos de resistencia y durabilidad durante la vida proyectada.

## 5 MARCO REFERENCIAL

### 5.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

Figura 1.



Fuente: Google Earth

En todo proyecto de infraestructura vial, se requieren estudios técnicos preliminares que en definitiva son la base y la garantía de buenos resultados antes, durante y después es decir durante el diseño la construcción y posterior operación de la estructura proyectada, es necesario entonces tener claridad respecto a los siguientes temas:

- Aspectos geotécnicos
- Estudios de tránsito
- Estudio de los materiales
- Confiabilidad del proyecto
- Diseño geométrico

La información arrojada por los estudios anteriormente mencionados conduce al diseño óptimo del pavimento, luego de la escogencia del método que permita el cumplimiento de los criterios técnicos que en definitiva hacen de este un proyecto seguro, rentable y sostenible durante su vida útil y residual.

Los primeros métodos de diseño de pavimentos de concreto (Westergaard y similares) que se desarrollaron, estaban basados exclusivamente en

consideraciones de fatiga mecánica, determinando mediante fórmulas matemáticas el espesor y la calidad del concreto de manera que no se diera la fatiga de las losas. (Fuente propia).

Esos métodos no incluyen en sus variables factores importantes como la presencia de gradientes térmicos, bermas, pasadores, soportes no erosionables, dimensiones de las losas, etc., que de una u otra manera influyen en el funcionamiento del pavimento, esto llevó a hacer ajustes en los métodos de diseño empíricos, en función del comportamiento medido en los pavimentos existentes e inclusive a montar ensayos viales completos como el de la AASHO. Paralelamente con el desarrollo de las computadoras se pudieron refinar los métodos analíticos para incorporarles algunos de los factores mencionados. (Según Cipriano Alberto Londoño N. – 2004).

## 5.2 ASPECTOS GEOTÉCNICOS

### 5.2.1 Exploración del subsuelo.

En lo relativo al diseño del pavimento, la información existente indica que se hicieron 10 apiques, los cuales se complementan con 8 sondeos efectuados para el estudio de suelos. El trabajo de exploración del subsuelo tiene como fin determinar el espesor de los estratos de suelo del sitio, obtener muestras para ensayos de laboratorio y determinar la profundidad del nivel freático.

Los apiques y sondeos realizados se presentan a continuación en la tabla 1

TABLA 1. RELACIÓN DE APIQUES

APIQUES	PROFUNDIDAD (m).	COSTADO	OBSERVACIONES
Apique 1	2.0	Oriental	
Apique 2	3.5	Oriental	NF: a 1.8, Se continuó con sondeo.
Apique 3	2.0	Oriental	
Apique 4	3.5	Oriental	Se continuó con sondeo.
Apique 5	3.8	Oriental	Se continuó con sondeo.
Apique 6	1.2	Oriental	Se encontró placa de concreto.
Apique 7	4.0	Occidental	Se continuó con sondeo.
Apique 8	2.0	Occidental	
Apique 9	0.6	Occidental	Se encontró placa de concreto.
Apique 10	1.0	Occidental	Se encontró placa de concreto.

*Fuente: Autor*

Fuente: Unión temporal AIA-AIM 2010

En términos generales y de acuerdo a los apiques realizados, en el estudio de suelos para fundaciones se considera un nivel freático de 3.2 mt de profundidad.

#### 4.2.2 Ensayos de laboratorio.

Todas las muestras obtenidas se identificaron visualmente y se realizó una descripción detallada de cada una de estas; sobre una cantidad representativa de los suelos encontrados, se realizaron pruebas de laboratorio requeridas para clasificar y determinar las pruebas in situ, a continuación se relacionan los ensayos realizados a las muestras obtenidas.

- Clasificación
- Análisis granulométrico
- Porcentaje que pasa tamiz 200
- Limite liquido
- Limite plástico
- Humedad natural
- CBR inalterado
- CBR

Teniendo en cuenta que en la zona se presentan problemas de drenaje, puesto que el terreno es plano, se hizo consideración de una subrasante saturada, con lo cual se tienen los siguientes resultados en la tabla 2.

TABLA 2. CBR

Apique	Profundidad (m)	CBR sumergido %
2	1.4	3.86
3	1.0	2.3
4	1.5	2.6
7	1.75	1.05
Promedio		2.45 %

Fuente: Unión temporal AIA-AIM 2010

En el apique 8, el CBR es de 6.2% pero se efectuó sobre un material de relleno conformado por gravas arcillosas, a una profundidad de 1.5 mt Los valores más bajos de CBR se encuentran en limos arcillosos de alta compresibilidad y están





## 6.1 ESTUDIO DE TRANSITO

### 6.1.1 Volúmenes promedio.

La proyección del TPD a lo largo de los diferentes años del proyecto nos permite estimar cómo será la variación del tránsito desde el comienzo hasta el último año de la vida útil de este. Con base en lo anterior, del estudio de transito se tienen los siguientes datos tabulados para los sentidos norte –sur y sur-norte.

TABLA 3: PROYECCIONES DEL TRANSITO PROMEDIO DIARIO DE LA CALZADA RÁPIDA DE LA AUTOPISTA NORTE, SECTOR CALLES 134 A 138 SENTIDO SUR-NORTE

Año	Buses Articulados	Livianos	Buses	Camiones de 2 ejes	Camiones de 3 ejes	Camiones de 4 ejes	Camiones de 5 ejes	Camiones de mas de 5 ejes	Motos	Total Mixtos
2012	3393	54733	1413	2469	168	43	116	195	7103	66240
2013	3634	55527	1394	2533	173	44	119	200	7825	67815
2014	3892	56332	1375	2598	177	45	122	205	8620	69474
2015	4188	57149	1357	2665	182	47	125	210	9496	71231
2016	4464	57978	1339	2734	186	48	128	216	10460	73089
2017	4781	58818	1321	2804	191	49	132	221	11523	75059
2018	5120	59671	1303	2877	196	50	135	227	12694	77153
2019	5484	60536	1286	2951	201	51	139	233	13984	79381
2020	5873	61414	1269	3027	206	53	142	239	15404	81754
2021	6290	62305	1252	3105	212	54	146	245	16969	84288
2022	6737	63208	1234	3185	217	56	150	251	18693	86994
2023	7215	64125	1218	3268	223	57	153	258	20593	89895
2024	7728	65054	1201	3352	228	58	157	265	22685	93000
2025	8276	65998	1185	3438	234	60	161	271	24990	96337
2026	8864	66955	1169	3527	240	62	166	278	27529	99926
2027	9493	67925	1154	3618	247	63	170	286	30325	103788
2028	10167	68910	1138	3711	253	65	174	293	33407	107951
2029	10889	69910	1123	3807	259	66	179	301	36801	112446
2030	11662	70923	1108	3905	266	68	183	308	40540	117301
2031	12490	71952	1093	4006	273	70	188	316	44658	122556

Fuente: Unión temporal AIA-AIM 2010

TABLA 4. PROYECCIONES DEL TRANSITO PROMEDIO DIARIO DE LA CALZADA RÁPIDA DE LA AUTOPISTA NORTE, SECTOR CALLES 134 A 138 SENTIDO NORTE-SUR

Año	Buses Articulados	Livianos	Buses	Camiones de 2 ejes	Camiones de 3 ejes	Camiones de 4 ejes	Camiones de 5 ejes	Camiones de mas de 5 ejes	Motos	Total Mixtos
2012	3125	50187	1666	2154	192	29	116	414	5043	59801
2013	3292	53133	1526	2224	198	30	119	428	5460	63118
2014	3468	56251	1397	2298	205	31	123	442	5912	66659
2015	3653	59553	1279	2373	212	32	127	456	6402	70434
2016	3848	63049	1172	2451	219	33	132	471	6932	74459
2017	4054	66750	1073	2532	226	34	136	487	7506	78744
2018	4270	70668	983	2615	233	35	140	503	8127	83304
2019	4498	74817	899	2701	241	36	145	520	8800	88159
2020	4739	79208	824	2790	249	37	150	537	9529	93324
2021	4992	83858	754	2882	257	39	155	554	10318	98817
2022	5258	88780	691	2977	266	40	160	573	11172	104659
2023	5539	93992	632	3075	274	41	165	591	12097	110867
2024	5835	99509	580	3176	283	43	171	611	13099	117472
2025	6146	105350	530	3280	293	44	176	631	14183	124487
2026	6475	111534	486	3388	302	46	182	652	15358	131948
2027	6820	118081	445	3500	312	47	188	673	16629	139875
2028	7185	125013	407	3615	322	49	194	695	18006	148301
2029	7568	132351	372	3734	333	50	201	718	19497	157256
2030	7972	140120	342	3857	344	52	207	742	21112	166776
2031	8398	148345	312	3984	355	53	214	766	22860	176889

Fuente: Unión temporal AIA-AIM 2010

### **6.1.2 Composición y distribución del volumen de tránsito.**

En Colombia se ha designado la siguiente terminología para clasificar los vehículos que circulan en el país:

A= Vehículos livianos

B= Buses

C= Camiones

Los vehículos livianos son aquellos de menos de 5 toneladas de capacidad de carga, tales como automóviles, camionetas y camperos.

Los vehículos comerciales son aquellos de más de 5 toneladas de capacidad de carga, tales como camiones, buses y remolques.

El estudio de tránsito permitió definir en forma directa la distribución y volumen de tránsito, tal como se muestra en las tablas 3 y 4.

### **6.1.3 Tránsito de diseño, numero de ejes equivalentes.**

El análisis de tránsito para el diseño de espesores de pavimentos, es posiblemente la variable más importante en el diseño de una vía, pues si bien el volumen y dimensiones de los vehículos influyen en su diseño geométrico, el número y el peso de los ejes de estos son factores determinantes en el diseño de la estructura del pavimento.

“El análisis se basa en el tránsito que se presenta en la vía, así como en sus proyecciones, para finalmente llegar a obtener el número de ejes equivalentes que utilizará el pavimento durante la vida útil”.

Un pavimento debe ser diseñado para soportar el tránsito inicial y aquel que pase durante su vida de servicio.

Para el cálculo del tránsito de diseño expresado en el número de ejes equivalentes (NEE), se empleó una hoja de cálculo que permite año por año determinar el NEE a partir de la distribución del tráfico en sus diferentes tipos de camiones y buses, el factor daño que tiene cada vehículo comercial y el porcentaje de camiones en el carril de diseño.

Como factores de daño se han empleado los indicados por la metodología del INVIAS y los cuales se resumen a continuación en la tabla 5.

TABLA 5. Factores de Daño INVIAS

TIPO DE VEHÍCULO	FACTOR DAÑO
AUTOS	0
BUSES	1
C2P	1,14
C2G	2,72
C3	3,72
C4	3,72
C5	4,88
>C5	5,23

Fuente: INVIAS 2007

El porcentaje de camiones en el carril de diseño se determina con base en el número de carriles en cada dirección, en el manual de la AASTHO-93, se determina que para 3 carriles se puede emplear un rango entre 60% y 80%, en el caso se determinó un 70%, teniendo en cuenta que se trata de carriles laterales con amplia salida de vehículos pequeños y que la salida principal del tráfico pesado es en la calle 127, por lo cual el tráfico pesado estará concentrado en los carriles centrales.

Con base en los anteriores análisis, se tiene un NEE igual a 71 millones, en el sentido N-S y 66 millones en el sentido S-N, la tabla 6 siguiente se presenta el cálculo para los 20 años del proyecto.

Teniendo en cuenta que los resultados son similares, se adopta para el diseño del pavimento flexible 71 millones de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño, ver tabla 6.

TABLA 6. NEE, Pavimento Flexible

AÑO	TPD	N (BUSETAS)	N (BUSES)	N (C2P)	N (C2G)	N (C3)	N (C2 S2)	N(C3 S2)	N (C3 S3)	N ANUAL	N ACUM.
2012	59001	0	425 603	0	1 496 944	162 408	27 063	144 633	553 214	2 533 506	2 58+06
2013	83158	0	389 893	0	1 545 991	168 191	28 514	148 374	571 921	2 892 484	5 78+06
2014	96059	0	356 534	0	1 597 016	194 844	29 464	153 361	590 629	2 922 251	8 68+06
2015	79434	0	325 765	0	1 649 146	221 498	36 415	158 349	609 337	2 975 622	1 25+07
2016	74159	0	296 140	0	1 703 317	238 151	31 358	164 553	629 381	3 036 273	1 65+07
2017	78744	0	274 152	0	1 759 639	214 864	32 316	169 570	650 761	3 101 241	1 68+07
2018	83704	0	251 157	0	1 817 320	221 457	33 296	174 558	672 141	3 180 699	2 18+07
2019	88159	0	229 496	0	1 877 587	228 561	34 217	180 792	694 256	3 245 708	2 46+07
2020	93324	0	210 132	0	1 939 836	236 665	35 167	187 026	717 574	3 325 592	2 71+07
2021	98817	0	192 847	0	2 002 875	244 266	37 066	193 290	740 291	3 410 469	3 16+07
2022	104859	0	176 551	0	2 068 890	252 322	38 016	199 484	765 680	3 501 481	3 48+07
2023	110967	0	161 476	0	2 137 662	260 426	38 989	205 726	789 723	3 598 304	3 88+07
2024	117172	0	146 190	0	2 207 193	268 650	40 079	213 210	818 455	3 694 900	4 28+07
2025	124487	0	136 415	0	2 279 489	276 885	41 820	219 444	843 183	3 797 616	4 68+07
2026	131948	0	124 173	0	2 354 924	287 036	43 721	226 925	871 245	3 907 627	4 98+07
2027	139879	0	113 898	0	2 432 380	296 544	44 672	234 406	898 306	4 020 965	5 38+07
2028	148381	0	103 955	0	2 512 290	306 646	46 573	241 887	928 704	4 139 481	5 68+07
2029	157268	0	96 568	0	2 594 661	316 633	47 523	250 616	961 438	4 264 196	5 98+07
2030	166778	0	87 381	0	2 680 461	326 958	49 424	258 096	991 509	4 393 622	6 28+07
2031	176989	0	79 716	0	2 769 721	337 413	50 374	266 624	1 023 579	4 526 627	7 18+07
TOTAL EJES EQUIVALENTES AÑO 2031											7 18+07

Fuente: Unión temporal AIA-AIM 2010

Con base en el estudio de tránsito para los 20 años se tienen las siguientes repeticiones, las cuales son requeridas para el diseño del pavimento rígido, ver tabla 7.

TABLA 7. Numero de Repeticiones, Pavimento Rígido

TIPO VEHICULO	REPETICION	EJE SENCILLO				EJE TANDEM		TRIDEM
		40	60	80	110	140	220	240
Buses	4 182 535	4 182 535		4 182 535				
C2P	0							
C2G	15 229 333		15 229 333		15 229 333			
C3	1 358 238		1 358 238				1 358 238	
C2-S2	204 656		204 656		204 656		204 656	
C3-S2	817 856		817 856				1635711	
C3-S3	2 929 052		2 929 052				2 929 052	2 929 052
REPETICIONES		4 182 535	20 539 134	4 182 535	15 433 989	0	6 127 657	2 929 052

Fuente: Unión temporal AIA-AIM 2010

TABLA 8. Numero de Repeticiones, Pavimento Rígido Transmilenio

TIPO VEHICULO	REPETICION	EJE SENCILLO				EJE TANDEM		TRIDEM
		40	75	80	125	140	220	240
Buses	39 104 275		39 104 275		78208550			
C2P	0							
C2G	0		0		0			
C3	0		0				0	
C2-S2	0		0		0		0	
C3-S2	0		0				0	
C3-S3	0		0				0	0
REPETICIONES		0	39 104 275	0	78 208 550	0	0	0

Fuente: Unión temporal AIA-AIM 2010

## 6.2 DISEÑO DE LAS ALTERNATIVAS DE PAVIMENTO

### 6.2.1 Pavimento flexible (método AASTHO)

Se presenta la metodología para los resultados obtenidos en el diseño de las soluciones de construcción propuestas para las vías que conforman el presente estudio.

El diseño de la estructura de los pavimentos se desarrolló según la metodología AASTHO-93.

El método de diseño de la AASTHO, es función del número de ejes equivalentes en el periodo de diseño, el número estructural, la pérdida de servicialidad en el tiempo y el módulo de resiliencia de la subrasante.

### 6.3 ALTERNATIVAS DE DISEÑO PAVIMENTO FLEXIBLE

Se plantea una alternativa tradicional conformada por materiales granulares sin tratar (alternativa 1) y una alternativa con base estabilizada con cemento (alternativa 2), ver tabla 9.

TABLA 9. Alternativas Pavimento Flexible

Capa	Alternativa 1 base granular Espesor en mm	Alternativa 2 base estabilizada con cemento.  Espesor en mm
Carpeta asfáltica.	290	290
Base Estabilizada con cemento.		300
Base granular.	300	
Subbase granular.	460	390
Material granular y rajón. Nota 1.	500	500
Espesor estructura del pavimento	1550	1480

Fuente: Unión temporal AIA-AIM 2010

### 6.4 PAVIMENTO RÍGIDO (MÉTODO PCA)

Para el diseño del pavimento rígido se empleó el método PCA-84, esto teniendo en cuenta que es el método de diseño de pavimentos de más amplia aceptación en el medio, teniendo en cuenta que considera los efectos de erosión y fatiga, factores críticos en este tipo de pavimentos.

Para el diseño del pavimento se empleará software de diseño de pavimentos, cuyos datos de entrada coincidan con los parámetros obtenidos en la información existente.

TABLA 10. Alternativa Pavimento Rígido Con Base Estabilizada.

Capa	Trafico mixto  Espesor en mm	Trafico Transmilenio  Espesor en mm
Losa de concreto (4.5 MPa.)	270	310
MDC2	80	80
Base estabilizada con cemento	220	220
MRS mas rajón nota 2	600	600
Suma	1160	1200

Fuente: Unión temporal AIA-AIM 2010

TABLA 11. Alternativa Pavimento Rígido Con Base Granular

Capa	Trafico mixto	Trafico Transmilenio
	Espesor en mm	Espesor en mm
Losas de concreto (4.5 MPa.)	300	330
MDC2	80	80
Base granular	220	220
MRS mas rajón nota 2	600	600
Suma	1180	1210

Fuente: Unión temporal AIA-AIM 2010

## 6.5 DISEÑO DE ALTERNATIVAS

### 6.5.1 DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR EL MÉTODO AASHTO 1993

#### 6.5.1.1 Parámetros de diseño:

- Transito expresado en NEE de 8.2 toneladas en el carril de diseño (71 millones) durante el periodo de diseño planteado. (20 años).
- Nivel de confiabilidad (R %) empleado para calcular el pavimento y que representa la incertidumbre en la predicción del tránsito y su comportamiento. (R=90% Autopistas y carreteras importantes).
- Error normal combinado (So), este parámetro tiene en cuenta el error o desviación del diseño, la variación de las propiedades de los materiales, la variación de las propiedades de la subrasante, la variación en la estimación del tránsito, la variación de las condiciones climáticas y la variación en la calidad de la construcción, (So= 0.45).
- El nivel de serviciabilidad presente ( $\Delta$  PSI) tiene en cuenta el comportamiento del pavimento y queda definido por una calificación de 1 a 5. Para pavimentos flexibles se parte de un valor inicial de  $P_o = 4.2$  y se determina el valor donde ocurre la falla funcional del pavimento  $P_t = 2.2$ , es decir que la pérdida de serviciabilidad es de  $\Delta PSI = 4.2 - 2.2$ , para el diseño es establecida  $P_t = 1.7$  valor que le permite a la vía al final de su periodo de diseño ser rehabilitada sin llegar a la reconstrucción.
- Módulo resiliente de la subrasante (MR), es la propiedad que caracteriza los materiales de subrasante en el método AASHTO. Este se considera una medida de las propiedades elásticas del suelo que presenta ciertas características no lineales. El módulo resiliente de la subrasante se puede obtener por medio de retrocálculo utilizando las deflexiones obtenidas con el

deflectómetro de impacto, ensayos de módulos resilientes o con ayuda de las correlaciones a partir de los valores de CBR.

- De acuerdo a los valores de CBR obtenidos, se adopta un CBR= 2.5% y para el cálculo de MR se emplea la ecuación  $MR_{(PSI)} = 1500 * CBR$ , obteniéndose un  $MR = 3750$  PSI.
- Calidad del drenaje (mi), los coeficientes de drenaje para las capas de base y subbase granular se seleccionan de acuerdo con las características del material, la calidad del drenaje y el porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.
- Teniendo en cuenta que el área presenta una topografía plana y está proyectado la construcción de un sistema de drenaje que impida la saturación de las capas granulares se adopta un coeficiente de drenaje ( $mi=1.0$ ).
- Numero estructural del pavimento (SN), es una cifra abstracta que representa la resistencia total de un pavimento para unas determinadas condiciones de subrasante, tránsito, índice de servicio y condiciones ambientales. El numero estructural se determina por medio de la expresión general o formula básica de la AASHTO, cuando se parte de conocimiento del tránsito de diseño, de las condiciones de serviciabilidad, de las condiciones ambientales y de la resistencia de la subrasante.

Ecuación AASHTO

$$\log_{10} W_{18} = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

**W18:** Numero de ejes equivalentes de (8.2 toneladas) en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

**Zr:** Desviación normal estándar.

**So:** Error normal combinado de la previsión de tránsito y comportamiento.

**ΔPSI:** Diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial  $P_o$  y final  $P_t$ .

**Mr:** módulo resiliente de la subrasante ( $lb/pulg^2$ ).

**SN:** Numero estructural indicativo del espesor total del pavimento.



## 6.5.2 Resumen parámetros de diseño

TABLA 12. Resumen parámetros de diseño pavimento flexible.

Transito 8.2 ton (NEE)	Confiabilidad ad (R %)	Error normal combinado So	Indice de serviciabilidad ad $\Delta$ PSI	Po	Pt	MR (psi)	Drenaje (mi)
$7.10 \times 10^7$	90 %	0.45	2.5	4.2	1.7	3750	1.0

### 6.5.2.1 Otros parámetros de diseño:

TABLA 13. Coeficientes de aporte de materiales

VALORES ADOPTADOS PARA LOS COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA		
Material	Condición	$a_i$
Mezcla densa en caliente	$T < 13^\circ\text{C}$	0,44
	$13^\circ\text{C} \leq T < 20^\circ\text{C}$	0,37
	$20^\circ\text{C} \leq T < 30^\circ\text{C}$	0,30
Mezcla densa en frio	$T < 13^\circ\text{C}$	0,35
	$13^\circ\text{C} \leq T < 20^\circ\text{C}$	0,30
	$20^\circ\text{C} \leq T < 30^\circ\text{C}$	0,24
Base granular		0,14
Base estabilizada con cemento	suelos A-1	0,16
	suelos A-2-4, A-2-5 y A-3	0,14
	demás suelos	0,13
Base estabilizada con emulsión asfáltica	agregado grueso (BEE1)	0,20
	agregado fino (BEE2)	0,20
	suelo (BEE3)	0,14
Subbase granular		0,11

Calculo de Numero estructural de pavimento:

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. The 'Tipo de Pavimento' is set to 'Pavimento flexible'. The 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' section shows '90 % Zr=-1.282' and 'So = 0.45'. The 'Serviciabilidad inicial y final' section shows 'PSI inicial = 4.2' and 'PSI final = 1.7'. The 'Módulo resiliente de la subrasante' is set to 'Mr = 3750 psi'. The 'Tipo de Análisis' is set to 'Calcular SN', resulting in 'W18 = 7.10e7' and 'Número Estructural SN = 7.07'. Buttons for 'Calcular' and 'Salir' are visible at the bottom.

Figura 4. Fuente aashto.com

Calculo de espesores alternativa 1 (carpeta asfáltica, base granular, subbase granular)

Figura 5. Fuentes aashto.com

6.5.2.2 Informe de resultados alternativa 1:

```

GUÍA AASHTO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS (1993)
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, Colombia. 2005.

PAVIMENTO FLEXIBLE
Confiabilidad : 90 % Zr = - 1.282
Desviación estándar (So) : 0.45
PSI inicial : 4.20
PSI final : 1.70
Tránsito de diseño (W18) : 7.100E+007
Módulo resiliente de la subrasante (Mr)-psi- : 3.750E+003
=====
Capa  Módulo (psi)  a ( )  m ( )
=====
1  3.575e+005  0.30  1.00
2  3.000e+004  0.14  1.00
3  1.500e+004  0.11  1.00
=====
SN necesario: 7.07. SN dispuesto: 7.11
=====
SN  D (plg)  D redon(plg)  D*(plg)  SN*
=====
3.78  1.26E+01  1.30E+01  1.30E+01  3.90
4.70  5.71E+00  6.00E+00  6.00E+00  0.84
7.07  2.12E+01  2.15E+01  2.15E+01  2.37
=====
Tránsito real para la estructura dispuesta : 7.437E+007
ADVERTENCIA: El control de límites de variables está desactivado.
    
```

Figura 6. Fuente aashto.com

Calculo de espesores alternativa 2 (carpeta asfáltica, base estabilizada con cemento, subbase granular)

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vásquez

**Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)**  
Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento:  Flexible  Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So):  
90 %  $Z_r = -1.282$    
So: 0.45

Serviciabilidades inicial y final:  
PSI inicial: 4.2   
PSI final: 1.7

Tránsito de diseño: W18: 71000000

Pavimento flexible

Capa	Módulo de elasticidad (psi)	Coefficiente de capa (a)	Coefficiente de drenaje (m)	SN necesario	Espesor D (plg.)		SN* dispuesto	
1	357500	¿E/a?	0.30	1.00	¿m?	2.66	8.87 9.0	9.0 2.70
2	85800	¿E/a?	0.16	1.00	¿m?	4.70	12.50 12.5	12.5 2.00
3	15000	¿E/a?	0.11	1.00	¿m?	7.07	21.55 22.0	22.0 2.42
4	3750	MR						7.12 OK 7.57E+007

W18 real: 7.57E+007

SN:  W18:

Quitar el control de variables

Figura 7. Fuente aashto.com

6.5.2.3 Informe de resultados alternativa 2:

```

GUÍA AASHTO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS (1993)
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, Colombia. 2005.

PAVIMENTO FLEXIBLE
Confiabilidad : 90 % Zr = - 1.282
Desviación estándar (So) : 0.45
PSI inicial : 4.20
PSI final : 1.70
Tránsito de diseño (W18) : 7.100E+007
Módulo resiliente de la subrasante (Mr)-psi- : 3.750E+003
=====
Capa  Módulo (psi)  a()  m()
=====
1  3.575e+005  0.30  1.00
2  8.580e+004  0.16  1.00
3  1.500e+004  0.11  1.00
=====
SN necesario: 7.07. SN dispuesto: 7.12
=====
SN  D (plg)  D redon(plg)  D*(plg)  SN*
=====
2.66  8.87E+00  9.00E+00  9.00E+00  2.70
4.70  1.25E+01  1.25E+01  1.25E+01  2.00
7.07  2.16E+01  2.20E+01  2.20E+01  2.42
=====
Tránsito real para la estructura dispuesta : 7.566E+007
ADVERTENCIA: El control de límites de variables está desactivado.
    
```

Figura 8. Fuente aashto.com

## 6.6 DISEÑO PAVIMENTO RÍGIDO MÉTODO DE LA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION PCA

El método PCA incluyó condiciones o variables diferentes en sus análisis que nunca habían sido tenidas en cuenta en el diseño de los pavimentos rígidos:

- Grado de transferencia de cargas (según el pavimento en estudio)
- El efecto de usar bermas ligadas al pavimento.
- El efecto de usar una subbase de concreto pobre (resistencia a la erosión).
- Los ejes triples (tridem), que son más dañinos desde el punto de vista de la erosión.

### 6.6.1 Criterios de diseño:

- **Criterio de Fatiga:** para proteger al pavimento de la acción repetida de cargas. El control efectuado corresponde al consumo de esfuerzo, el cual debe ser menor al 100%.
- **Criterio de Erosión:** para evitar la migración de finos, es decir, una falla repentina por la pérdida de soporte. El control efectuado corresponde al consumo de erosión, el cual y considerando como soporte capas granulares no tratadas (erodables) este debe ser menor al 100%.
- **Tipo de Pavimento:** Se considera un pavimento de concreto hidráulico sin bermas y con pasadores.

### 6.6.2 Parámetros de diseño:

Los parámetros de diseño contemplados en el diseño del corredor vial de alto tráfico localizado sobre la autopista Norte entre las calles 134 y 138, serán presentados a continuación.

### 6.6.3 Módulo de Rotura

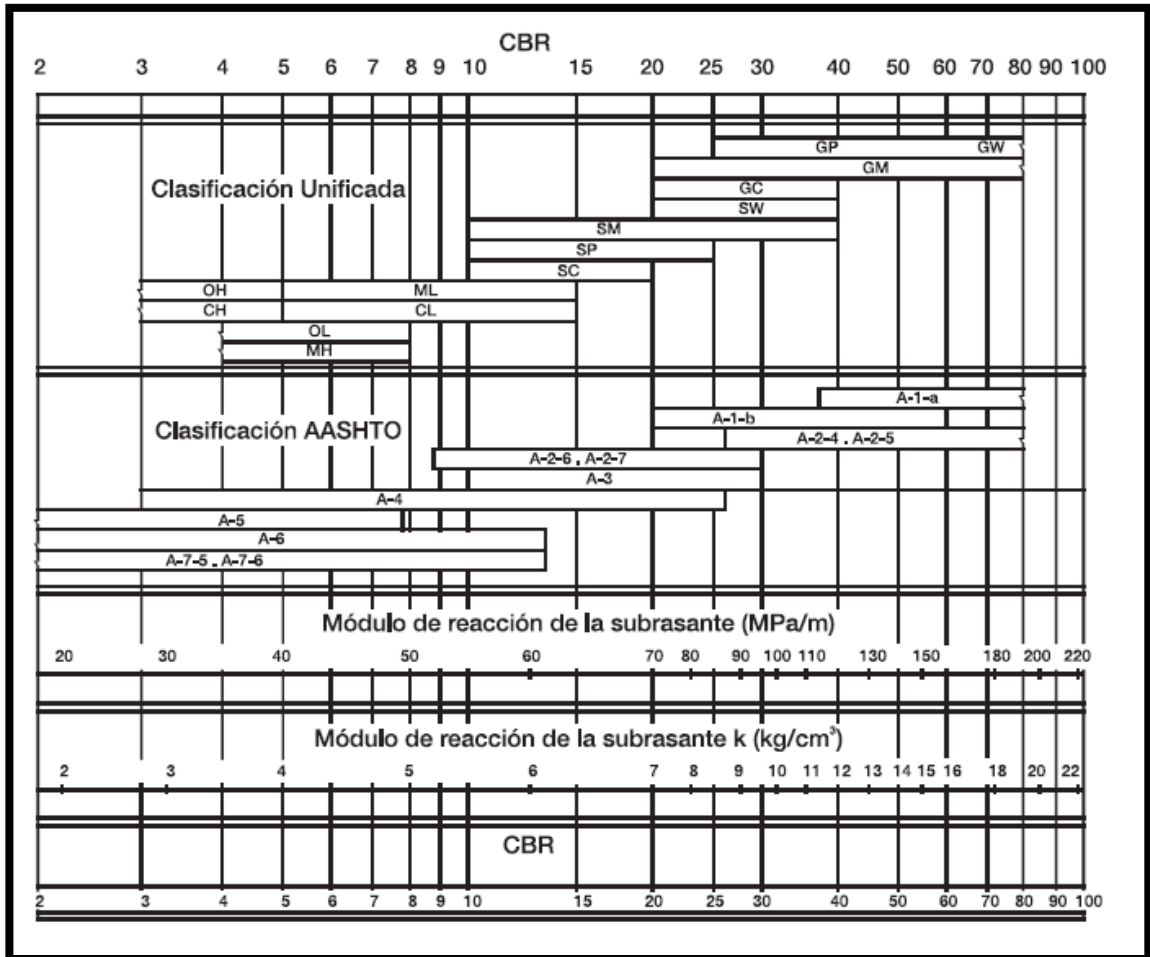
Este dato de entrada se presenta en función de la disponibilidad de los materiales en la zona, para este caso en particular por disponer de concretos certificados se adopta un valor de 4.5 Mpa.

### 6.6.4 Resistencia de la subrasante en términos del módulo de reacción (k)

Dada la dificultad de realizar el ensayo para determinar el módulo de reacción de la subrasante, y teniendo en cuenta que para el diseño de los pavimentos de concreto se admiten aproximaciones en la determinación de la capacidad de

soporte del suelo, se puede recurrir a correlaciones entre el valor k con el del CBR y la clasificación de suelos, siguiendo las aproximaciones de la figura 9.

**Figura 9**



### 6.6.5 Capacidad de soporte de la subrasante y la subbase:

La capacidad de soporte se mide en términos del módulo de reacción (k), determinado por pruebas de placa directa, debido a que estas pruebas son complejas y costosas, el valor de k se estima generalmente por correlación con pruebas más sencillas como el CBR.

Este procedimiento es válido, por cuanto no es indispensable la determinación exacta del módulo k, ya que variaciones no muy grandes de él, prácticamente no afectan los espesores necesarios de pavimento. Las relaciones que se muestran en la figura 4 se consideran satisfactorias para efectos del diseño de un pavimento por este método.

Las subbases se recomiendan con el objeto de prevenir el fenómeno del bombeo, sin embargo su presencia tiene como consecuencia un incremento en la capacidad de soporte del pavimento que se puede aprovechar para efectos de diseño porque puede disminuir en algo el espesor de la losa. En la **tabla 14** se muestra el incremento que es de esperar en el módulo si se coloca una subbase granular y en la **tabla 15** el que se logra con una subbase tratada con cemento.

**TABLA 14**

Valor de k para subrasante		Valor de k para la base							
		100 mm		150 mm		225 mm		300 mm	
MPa/m	Lb/pulg <sup>3</sup>	MPa/m	Lb/pulg <sup>3</sup>	MPa/m	Lb/pulg <sup>3</sup>	MPa/m	Lb/pulg <sup>3</sup>	MPa/m	Lb/pulg <sup>3</sup>
20	73	23	85	26	96	32	117	38	140
40	147	45	165	49	180	57	210	66	245
60	220	64	235	66	245	76	280	90	330
80	295	87	320	90	330	100	370	117	430

**TABLA 15**

Valor de k para subrasante		Valor de k para la base							
		100 mm		150 mm		225 mm		300 mm	
MPa/m	Lb/pulg <sup>3</sup>	MPa/m	Lb/pulg <sup>3</sup>	MPa/m	Lb/pulg <sup>3</sup>	MPa/m	Lb/pulg <sup>3</sup>	MPa/m	Lb/pulg <sup>3</sup>
20	73	603	220	80	300	105	400	134	500
40	147	100	370	130	500	185	680	230	850
60	220	140	520	190	700	245	900		

### 6.6.6 Materiales de Construcción

**Materiales de Soporte:** Cuando se habla de pavimentos se debe tener en cuenta que el termino hace referencia a todas las capas que conforman la estructura y no solo a la superior, o de rodadura, que en el caso de los pavimentos de concreto pueden estar constituidos por varias capas a saber: nivelación, base y losa.

Las losas de los pavimentos de concreto se pueden construir sobre el suelo directamente o sobre una base, que puede ser granular o estabilizada con cemento. La decisión si el pavimento lleva base, se hace en función de la capacidad que tiene el suelo de resistir la acción conjunta de la humedad y el tránsito de vehículos pesados por día.

La subrasante tiene una gran influencia en las operaciones de construcción del pavimento y en el comportamiento del mismo a largo plazo. Las subrasantes inestables presentan problemas relativos a la colocación y compactación de los materiales de base y no dan soporte adecuado para las subsiguientes operaciones de pavimentación.

### **6.6.7 El Suelo:**

Las losas de concreto se pueden construir directamente sobre el terreno natural o subrasante, siempre y cuando en este no exista presencia de materia orgánica o de arcilla y además se cumpla con las siguientes condiciones:

- El número promedio diario de vehículos pesados que han de circular por la vía, en un día, no sea superior a los 125.
- El índice de plasticidad del suelo no supera el 6%.
- Material que pasa por el tamiz 200 es inferior al 40%.

También se pueden construir las losas de concreto directamente sobre el terreno natural o subrasante cuando el pavimento será solicitado por menos de 25 vehículos comerciales por día, aun cuando no se cumplan los requisitos pedidos en el párrafo anterior.

Independientemente de la presencia, o no, de bases granulares, o estabilizadas con cemento, la subrasante debe estar libre de materia orgánica y el proceso de compactación de ella, se debe hacer de tal manera que alcance el 95% del Proctor modificado.

### **6.6.8 Estabilización del Suelo con Cemento:**

Es una mezcla de cemento y de suelo, con determinadas proporciones de agua, que se compacta y cura para obtener mayor densidad. Cuando el cemento se hidrata, la mezcla se transforma en un material duro, durable y rígido que se puede usar como plataforma para la construcción del pavimento, dado que se controlan los cambios volumétricos, se aumenta la capacidad de soporte y la durabilidad, se reduce su permeabilidad y compresibilidad. La cantidad de cemento en peso varía entre 2 y 20%.

## **7 BASE**

Las principales funciones de esta capa son las de soporte uniforme y constante al apoyo de losas, controlar las variaciones volumétricas de la subrasante y aumentar la capacidad de soporte de la fundación.

Básicamente hay dos clases de base, las granulares y las de suelo cemento.

### **7.1 BASE GRANULAR:**

Es la base más usada en los pavimentos de concreto y deben cumplir con ciertas características que se estipulan en normas o especificaciones; para el caso en concreto, en Colombia, el Instituto Nacional de Vías las regula mediante sus especificaciones técnicas, particularmente en el caso de la base granular Artículo INV 330-07.

### **7.2 BASE DE SUELO CEMENTO:**

El suelo, cemento es una mezcla íntima entre el suelo, cemento y el agua en unas proporciones definidas en función de la calidad del suelo con el que se desea trabajar y cuyo contenido de cemento depende de la clasificación del suelo.

El Instituto Nacional de Vías, regula la implementación de este material mediante el artículo INV 341-07 “Bases estabilizadas con cemento”.

Su aplicabilidad cubre todo el extenso abanico de alternativas de pavimentación, en distintos rangos de exigencia en espesor, resistencia y durabilidad. Como elemento modificador, sirve para adaptar materiales de la zona para uso en pavimentos con la inclusión de bajas adiciones de cemento, con el fin de bajar el índice de plasticidad y disminuir los potenciales cambios de volumen en los materiales finos y a su vez aumentar su capacidad de soporte.

### **7.3 CONCRETO:**

Para el caso de diseño de pavimentos de concreto simples, sin ningún tipo de refuerzo de acero para reforzar las losas, esta condición tiene dos implicaciones, la primera de carácter económico, la segunda de orden técnico.

La implicación económica es que al no utilizar refuerzo se obtienen pavimentos más económicos. La consecuencia técnica es que el concreto debe atender los esfuerzos de tracción que en los concretos reforzados atiende el acero de refuerzo. El concreto sin refuerzo para pavimentos debe atender por sí mismo, los esfuerzos generados en la losa de concreto, esto obliga a refinar los procesos constructivos, a ser más exigentes, de manera especial, en lo que atañe al vibrado, al curado y al corte de juntas.

En los pavimentos de concreto monolíticos, el material debe atender los esfuerzos de compresión, tracción por flexión y abrasión. En cuanto a la resistencia a la abrasión se ha encontrado que cuando el concreto ofrece una resistencia a la compresión del orden de 250 kg/cm<sup>2</sup>, no se presenta abrasión en la superficie del concreto bajo el tránsito de los vehículos pesados.



#### 7.4 PERIODO DE DISEÑO:

El periodo de diseño adoptado corresponde al mínimo que se recomienda para el diseño de pavimentos rígidos.

Teniendo en cuenta los costos que resultaría diseñar para tiempos menores, considerando lo referente a mantenimientos y/o reparación de las losas antes del periodo de diseño.








#### 7.5 TRÁNSITO DE DISEÑO:

A continuación se presenta tabulado el cálculo de los ejes equivalentes proyectados en el carril de diseño del corredor vial localizado sobre la Autopista Norte entre las calles 134 y 138.

#### 7.6 TRÁNSITO DE DISEÑO:

A continuación se presenta tabulado el cálculo de los ejes equivalentes proyectados en el carril de diseño del corredor vial localizado sobre la Autopista Norte entre las calles 134 y 138.

### 8 TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS

Tipo de vehículo	Esquema	Eje direccional (t)	Eje del tractor-camión (t)	Eje del remolque o semirremolque (t)
BUS		I 6,0	I 9,0	
C2-PEQUEÑO		I 6,0	I 11,0	
C2-GRANDE		I 6,0	I 11,0	
C3		I 6,0	<u>II</u> 22,0	
C2-S2		I 6,0	I 11,0	<u>II</u> 22,0
C3-S2		I 6,0	<u>II</u> 22,0	<u>II</u> 22,0
C3-S3		I 6,0	<u>II</u> 22,0	<u>III</u> 24,0

Fuente: Elaboración Propia. Pesos máximos admisibles tomados de la Resolución del Ministerio de Transporte 004100 del 28 de Diciembre de 2004.

Figura 10. Fuente propia.

TABLA 16: Numero De Repeticiones Pavimento Rígido

TIPO VEHICULO	REPETICIONES	EJE SENCILLO				EJE TANDEM		TRIDEM
		40	60	80	110	140	220	240
BUSES	4.182.535	4.182.535		4.182.535				
C2P	0							
C2G	15.229.333		15.229.333		15.229.333			
C3	1.358.238		1.358.238				1.358.238	
C2-S2	204.656		204.656		204.656		204.656	
C3-S2	817.856		817.856				1.635.711	
C3-S3	2.929.052		2.929.052				2.929.052	2.929.052
<b>REPETICIONES</b>		<b>4.182.535</b>	<b>20.539.135</b>	<b>4.182.535</b>	<b>15.433.989</b>	<b>0</b>	<b>6.127.657</b>	<b>2.929.052</b>
			<b>44.338.194</b>				<b>6.127.657</b>	<b>2.929.052</b>

TABLA 17: Numero De Repeticiones Pavimento Rígido Transmilenio

TIPO VEHICULO	REPETICIONES	EJE SENCILLO				EJE TANDEM		TRIDEM
		40	75	80	125	140	220	240
BUSES	39.104.275		39.104.275	0	78.208.550	0	0	0
C2P	0		0	0	0	0	0	0
C2G	0		0	0	0	0	0	0
C3	0		0	0	0	0	0	0
C2-S2	0		0	0	0	0	0	0
C3-S2	0		0	0	0	0	0	0
C3-S3	0		0	0	0	0	0	0
<b>REPETICIONES</b>		<b>0</b>	<b>39.104.275</b>	<b>0</b>	<b>78.208.550</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
			<b>117.312.825</b>			<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

### 8.1 FACTOR DE SEGURIDAD DE CARGA:

Las tensiones inducidas en el pavimento de concreto por las cargas de los vehículos en movimiento son menores que las producidas por las mismas cargas cuando el vehículo está detenido o transita a baja velocidad, por lo que es necesario considerar un factor de seguridad con respecto a las cargas para toda la vía. La tabla 14 presenta los tres valores posibles de dicho factor; para el presente diseño y con base en la categorización del proyecto se establece, según las recomendaciones de la PCA un factor de seguridad de 1.2.

TABLA 18. Factores De Seguridad De Carga

Factor de Seguridad de Cargas	Casos
1,2	Calles del sistema de tránsito general con alto volumen de tránsito pesado en condiciones de flujo interrumpido
1,1	Calles del sistema arterial mayor con moderado volumen de tránsito de camiones
1,0	Calles de los sistemas colector y local que soporten un tránsito reducido de camiones

Fuente: PCA

TABLA 19. Resumen de parámetros de diseño pavimento rígido.

ALTERNATIVA	PAVIMENTO RÍGIDO PCA
Módulo de Rotura (Mpa)	4.5 Mpa
Modulo Elasticidad Concreto (Mpa)	22000
Factor de Seguridad de Carga	1.2
Uso de barras de transferencia	SI
Consideración del efecto berma	NO
CBR de la subrasante %	2.5%
Módulo de Reacción combinado (Mpa/m)	
Consumo por Erosión (%)	
Consumo por Fatiga (%)	
Espesor de la losa (cm)	27 / 31
MDC2 (cm)	8
Subbase Granular (cm)	0
Subrasante (MR) rajón + granular (cm)	60

## 8.2 RESULTADOS PROGRAMA BS-PCA

### 8.3 CARRIL MIXTO

#### 8.3.1 Alternativa 1 (base granular)

The screenshot shows the 'BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA' software window. The interface includes a menu bar with 'Opciones', 'Sensibilidad', and 'Terminar'. The main area contains several input fields and buttons:

- Resistencia K del Apoyo:** 42 Mpa/m
- Espesor de la Losa:** 300 mm
- Módulo de Rotura Losa:** 4.5 Mpa
- Con Bermas
- Con Pasadores
- TRANSITO:** kN
- Factor de Seguridad Carga:** 1.2
- Factor de Mayoración de Repeticiones:** 1
- Ejes Sencillos** (selected), **Ejes Tandem**, **Ejes Tridem**
- Total Consumo Esfuerzo (%):** 0
- Total Consumo Erosión (%):** 123.8041

Buttons on the right side include 'Cargar', 'Guardar', 'Calcular', 'Imprimir', and 'Salir'.

Figura 11. Fuente Bs-pca

### 8.3.2 Informe alternativa 1 (base granular)

DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS - METODO PCA  
 UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
 Software : BS-PCA

Datos :

Resistencia K del Apoyo : 42 Mpa/m  
 Espesor Losa : 300 mm  
 Modulo de Rotura : 4.5 Mpa  
 Bermas : NO  
 Pasadores : SI  
 Factor de Seguridad Cargas : 1.2  
 Factor de Mayoración Repeticiones : 1

Resultados :

Carga KN	Carga FS KN	Repeticiones Esperadas	Repeticiones Admisib_Fatiga	Consumo Fatiga %	Repeticiones Admisi_Erosion	Consumo Erosion %
<b>EJES SIMPLES</b>						
Esfuerzo Equivalente: 1.0 Factor Esfuerzo: 0.2251 Factor Erosion: 2.3090						
40.00	48.00	4182535	Inf	0.00	Inf	0.00
60.00	72.00	20539135	Inf	0.00	Inf	0.00
80.00	96.00	4182535	Inf	0.00	Inf	0.00
110.00	132.00	15433989	Inf	0.00	71515864	21.58
<b>EJES TANDEM</b>						
Esfuerzo Equivalente: 1.0 Factor Esfuerzo: 0.2178 Factor Erosion: 2.5450						
220.00	264.00	6127657	Inf	0.00	7202430	85.08
<b>EJES TRIDEM</b>						
Esfuerzo Equivalente: 0.8 Factor Esfuerzo: 0.1671 Factor Erosion: 2.7230						
240.00	288.00	2929052	Inf	0.00	17083786	17.15
				Total :	0.00	123.80

Figura 12. Fuente Bs-pca

### 8.3.3 Alternativa 2 (base estabilizada con cemento)

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo : 147 Mpa/m

Espeor de la Losa : 270 mm

Módulo de Rotura Losa : 4.5 Mpa

Con Bermas

Con Pasadores

TRANSITO

kN

Factor de Seguridad Carga : 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones : 1

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Total Consumo Esfuerzo (%): 0

Total Consumo Erosión (%): 137,0689

Calcular Imprimir Salir

Figura 13. Fuente Bs-pca

### 8.3.4 Informe alternativa 2 (base estabilizada con cemento)

```

DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS - METODO PCA
UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
Software : BS-PCA

Datos :
    Resistencia K del Apoyo : 147 Mpa/m
    Espesor Losa : 270 mm
    Modulo de Rotura : 4.5 Mpa
    Bermas : NO
    Pasadores : SI
    Factor de Seguridad Cargas : 1.2
    Factor de Mayoración Repeticiones : 1

Resultados :

```

Carga KN	Carga FS KN	Repeticiones Esperadas	Repeticiones Admisib_Fatiga	Consumo Fatiga %	Repeticiones Admisi_Erosion	Consumo Erosion %
<b>EJES SIMPLES</b>						
Esfuerzo Equivalente: 0,9		Factor Esfuerzo: 0,2073	Factor Erosion: 2,3982			
40,00	48,00	4.182.535	Inf	0,00	Inf	0,00
60,00	72,00	20.539.135	Inf	0,00	Inf	0,00
80,00	96,00	4.182.535	Inf	0,00	Inf	0,00
110,00	132,00	15.433.989	Inf	0,00	25.473.321	60,59
<b>EJES TANDEM</b>						
Esfuerzo Equivalente: 0,8		Factor Esfuerzo: 0,1758	Factor Erosion: 2,5165			
220,00	264,00	6.127.657	Inf	0,00	8.637.090	70,95
<b>EJES TRIDEM</b>						
Esfuerzo Equivalente: 0,6		Factor Esfuerzo: 0,1322	Factor Erosion: 2,6130			
240,00	288,00	2.929.052	Inf	0,00	52.926.558	5,53
Total :				0,00	137,07	

Figura 14. Fuente Bs-pca

## 8.4 CARRIL TRANSMILENIO

### 8.4.1 Alternativa 1 (base granular)

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo: 42 Mpa/m

Espesor de la Losa: 330 mm

Módulo de Rotura Losa: 4.5 Mpa

Con Bermas

Con Pasadores

TRANSITO: kN

Factor de Seguridad Carga: 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones: 1

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Total Consumo Esfuerzo (%): 0

Total Consumo Erosión (%): 94,8914

Calcular Imprimir Salir

Figura 15. Fuente Bs-pca

### 8.4.2 Informe alternativa 1 (base granular)

```

DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS - METODO PCA
UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
Software : BS-PCA

Datos :
    Resistencia K del Apoyo : 42 Mpa/m
    Espesor Losa : 330 mm
    Modulo de Rotura : 4.5 Mpa
    Bermas : NO
    Pasadores : SI
    Factor de seguridad Cargas : 1.2
    Factor de Mayoración Repeticiones : 1

Resultados :

Carga      Carga  Repeticiones  Repeticiones  Consumo  Repeticiones  Consumo
KN         FS      Esperadas     Admisib_Fatiga  Fatiga   Admisi_Erosion  Erosion
           KN
EJES SIMPLES

Esfuerzo Equivalente: 0,9  Factor Esfuerzo: 0,1964  Factor Erosion: 2,1880
75,00  90,00  39.104.275      Inf  0,00      Inf  0,00
125,00 150,00  78.208.550      Inf  0,00      82.418.966  94,89

EJES TANDEM

Esfuerzo Equivalente: 0,9  Factor Esfuerzo: 0,1958  Factor Erosion: 2,4450

EJES TRIDEM

Esfuerzo Equivalente: 0,7  Factor Esfuerzo: 0,1496  Factor Erosion: 2,6430

Total : -----
           0,00      -----
           94,89
    
```

Figura 16. Fuente Bs-pca

### 8.4.3 Alternativa 2 (base estabilizada con cemento)

Figura 17. Fuente Bs-pca

#### 8.4.4 Informe alternativa 2 (base estabilizada con cemento)

```

DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS - METODO PCA
UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
Software : BS-PCA

Datos :
      Resistencia K del Apoyo : 147 Mpa/m
      Espesor Losa : 310 mm
      Modulo de Rotura : 4.5 Mpa
      Bermas : NO
      Pasadores : SI
      Factor de Seguridad Cargas : 1.2
      Factor de Mayoración Repeticiones : 1

Resultados :

      Carga      Carga      Repeticiones      Repeticiones      Consumo      Repeticiones      Consumo
      KN         FS         Esperadas      Admisib_Fatiga   Fatiga      Admisi_Erosion   Erosion
      kN         kN                                     %
EJES SIMPLES
Esfuerzo Equivalente: 0.8  Factor Esfuerzo: 0.1700  Factor Erosion: 2.2183
75.00  90.00  117312825      Inf  0.00      Inf  0.00
125.00 150.00  78208550      Inf  0.00      53176158 147.07
EJES TANDEM
Esfuerzo Equivalente: 0.7  Factor Esfuerzo: 0.1496  Factor Erosion: 2.3648
EJES TRIDEM
Esfuerzo Equivalente: 0.5  Factor Esfuerzo: 0.1122  Factor Erosion: 2.4830

Total : -----
      0.00      147.07

```

Figura 18. Bs-pca



## 9 CONCLUSIONES

- apoyados en la información geotécnica existente de la zona donde fue proyectado el diseño, se concluye que el material de subrasante no presenta homogeneidad y propiedades estructurales competentes que permitan hacer uso de la misma como soporte de la(s) estructura(s) de pavimento, sin que antes se realice el retiro y posterior reemplazo con material que ofrezca mayor resistencia y uniformidad.
- El CBR de diseño adoptado fue de 2.5%, obtenido con la ayuda de los ábacos que correlacionan ensayos, clasificación de suelos y modulo, a su vez se emplearon las ecuaciones  $MR_{(Mpa/m)}=10CBR$ ;  $MR_{(Psi)}=1500CBR$  que para valores de CBR menores a 10%, permiten iterar en los programas de diseño.
- El tránsito de diseño fue calculado mediante aforo de los volúmenes presentes y proyecciones hasta el último año del periodo de diseño, siguiendo parámetros de clasificación, composición vehicular y factores de daño reglamentados por la metodología INVIAS y el Ministerio del Transporte en su resolución 4100.
- El estudio de tránsito arroja el número de ejes equivalentes (NEE) de 71 millones para el diseño de pavimento por metodología AASHTO 93 (alternativa flexible) y el espectro de carga para el diseño por metodología PCA 84 (alternativa rígido).
- los resultados obtenidos luego de modelar las estructuras de la alternativa con pavimento flexible empleando base granular y base estabilizada con cemento indican que para la alternativa 1 (base granular) los espesores son los siguientes (carpeta asfáltica 330 mm; base granular 150 mm; Subbase granular 558 mm) frente a los propuestos en la información existente (carpeta asfáltica 290 mm; base granular 300 mm; Subbase granular 460). Las diferencias en los espesores anteriormente señalados, tienen su origen en los valores de módulo de los materiales adoptados en la información existente, que se encuentran por encima de los típicos empleados.
- Los espesores obtenidos para la alternativa 2 (base estabilizada con cemento) son los siguientes: (carpeta asfáltica 228mm; base estabilizada con cemento 317 mm; Subbase granular 558 mm) vs (carpeta asfáltica 290mm; base estabilizada con cemento 300 mm; Subbase granular 558 mm), lo anterior deja una notoria reducción de los espesores en la carpeta asfáltica con el empleo de la base estabilizada con cemento, haciéndola un alternativa funcional y económicamente viable.

- Los resultados obtenidos en concreto rígido luego de realizar la corrida en el software y realizado el análisis, determinan que las repeticiones de carga se vuelven infinitas por fatiga sin que se presente falla lo que orienta la atención en la erosión y por ende en la base de soporte de la estructura.
- Debido a la localización del proyecto y la no disponibilidad de espacio el diseño no tuvo en cuenta la construcción de bermas, parámetro que permite junto con la transferencia de carga (dovelas) disminuir espesores y reducir esfuerzos en los bordes por redistribución de cargas en las losas.
- las alternativas presentadas en pavimento rígido arrojan resultados por encima del 100% en el factor de erosión, lo que indica que efectivamente a futuro pueden presentarse fallas por deformaciones críticas verticales en la losa bien sean de borde, esquina o longitudinales. En las alternativas propuestas se incluye entonces una capa de mezcla densa caliente de 8 cm de espesor dispuesta sobre la base estabilizada con un doble propósito, en primer lugar atacar el factor erosión para que se ubique por debajo del 100% lo que permite que la base sea menos erodable y evitar reflejo de las fisuras presentes en la capa estabilizada posterior al curado en las losas de concreto.
- la tendencia en la construcción de estructuras de pavimento se orienta a la estabilización de materiales granulares con cemento, alternativas que demuestran ser durables y sostenibles evitando impactos económicos negativos por mayores volúmenes de excavación y acarreo de materiales de rechazo.
- Finalmente se recomienda la alternativa de pavimento de concreto hidráulico, base granular estabilizada con cemento para carriles mixtos con espesores de losa de 270 mm. En los carriles de tránsito de transporte masivo losas de concreto con espesores de 330 mm y base granular. Esta alternativa frente a las propuestas en flexible permite reducir costos en la construcción, operación y mantenimiento.

## 10 RECOMENDACIONES

- Considerar el control de índices de plasticidad y estabilización de materiales con cal inicialmente e intervenir luego con cemento.
- Frente a la fisuración que pueda presentarse en las capas tratadas con cemento, optar por construir estructuras inversas.
- Emplear la metodología de diseño que permita optimizar las estructuras, logrando minimizar altos niveles de incertidumbre y subjetividad.
- Realizar mantenimiento permanente a estructuras sistemas de drenaje dispuestos, para evitar saturación en las capas granulares que posteriormente conducen a fallos en la capa de rodadura.
- Evitar que los ejes de carga transiten cercanos al borde de las losas de concreto para ello se recomienda la disposición de bordillos o señalización (pintura), con el propósito de controlar deflexiones y humedad en las zonas laterales.

## **11 MARCO LEGAL**

- Resoluciones y artículos Instituto Nacional de Vías INVIAS.
- Manuales de diseño INVIAS
- Resoluciones y decretos Ministerio del Medio Ambiente
- Especificaciones técnicas INVIAS / IDU

## 12 BIBLIOGRAFÍA

- Asociación Colombiana de Productores de Concreto. (2014). Obtenido de [www.asocreto.org.co](http://www.asocreto.org.co).
- ICONTEC, I. C. (s.f.). Bogotá.
- N., C. A. (2004). Diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto. Medellín: Instituto colombiano de productores de cemento ICPC.
- R, R. C., & G., J. C. (2013). Ingeniería de tránsito.fundamentos y aplicaciones. Mexico: Alfaomega.
- Rodríguez, A. R., & Castillo, H. d. (2003). La ingeniería de suelos en la vías terrestres: carreteras,ferrocarriles y aeropistas. Mexico: Limusa.
- Rodríguez, A. S. (2011). Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos,2da edición. Mexico: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.
- Sandoval, C. H. (2010). Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras. Tunja: UPTC.
- Sandoval, C. H. (2011). Mecanica de pavimentos principios basicos. Tunja: UPTC.

13 ANEXOS

TABLAS DE PARÁMETROS DE DISEÑO MÉTODO AASHTO 1993

<b>Number of Lanes in Each Direction</b>	<b>Percent of 18-kip ESAL in Design Lane</b>
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

**Table 2.2. Suggested Levels of Reliability for Various Functional Classifications**

<b>Functional Classification</b>	<b>Recommended Level of Reliability</b>	
	<b>Urban</b>	<b>Rural</b>
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

<b>Quality of Drainage</b>	<b>Water Removed Within</b>
Excellent	2 hours
Good	1 day
Fair	1 week
Poor	1 month
Very poor	(water will not drain)

**Table 2.4. Recommended  $m_1$  Values for Modifying Structural Layer Coefficients of Untreated Base and Subbase Materials in Flexible Pavements**

Quality of Drainage	Percent of Time Pavement Structure is Exposed to Moisture Levels Approaching Saturation			
	Less Than 1%	1-5%	5-25%	Greater Than 25%
Excellent	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Good	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Fair	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Poor	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Very poor	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

**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

**MONOGRAPH SOLUTION:**

$$\log_{10} W_{18} = F_{RS} + 5.34 \log_{10} (SN_{e1}) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1.094}{(SN_{e1})^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_e - 8.07$$

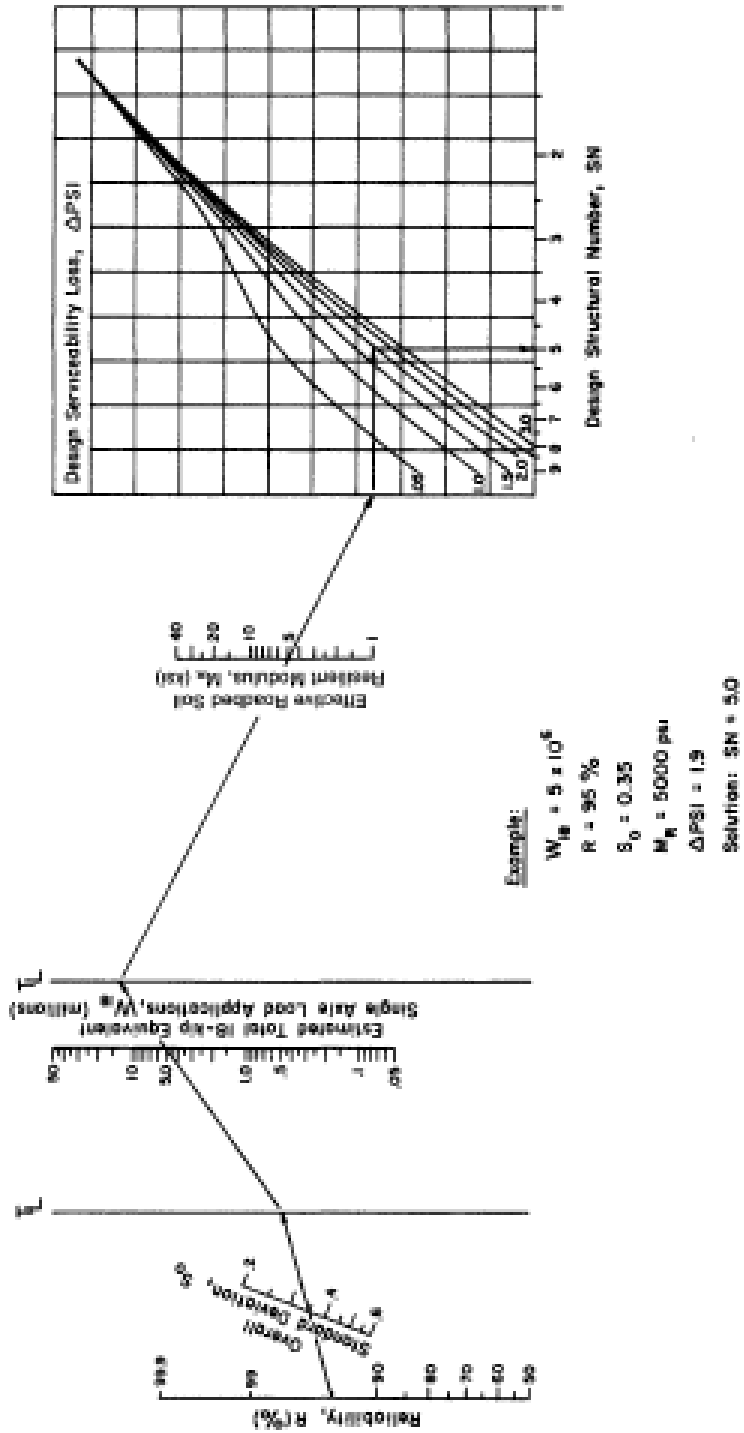
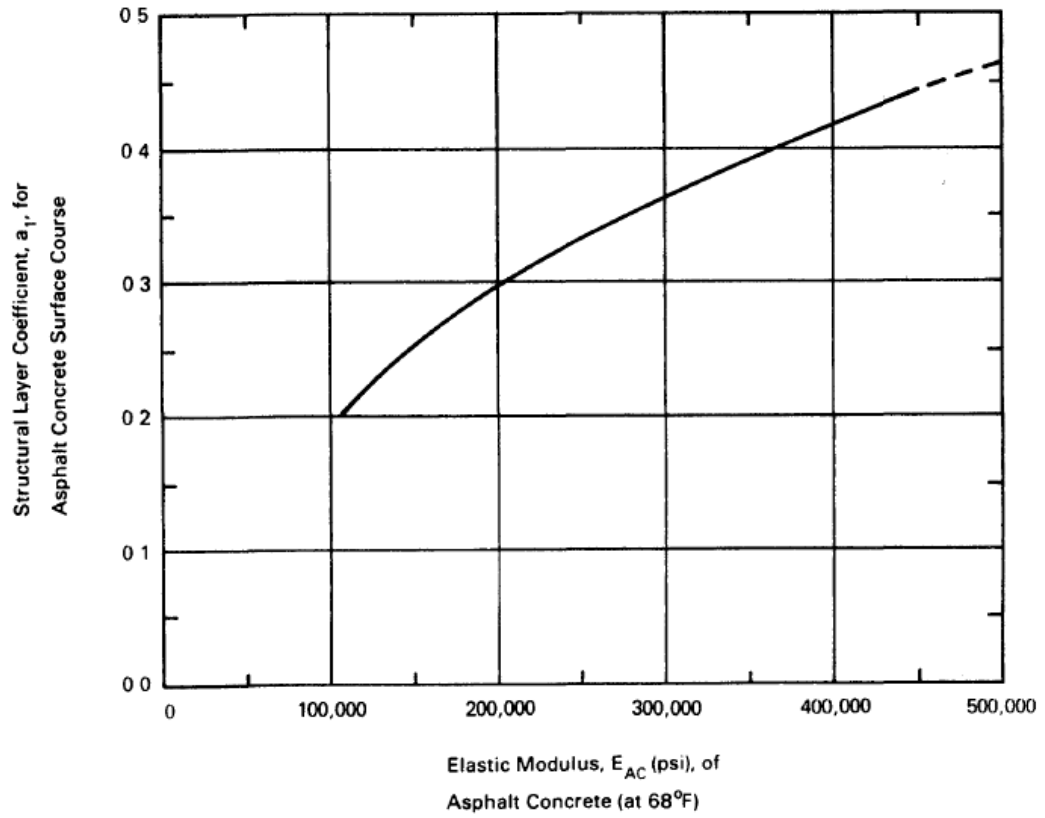
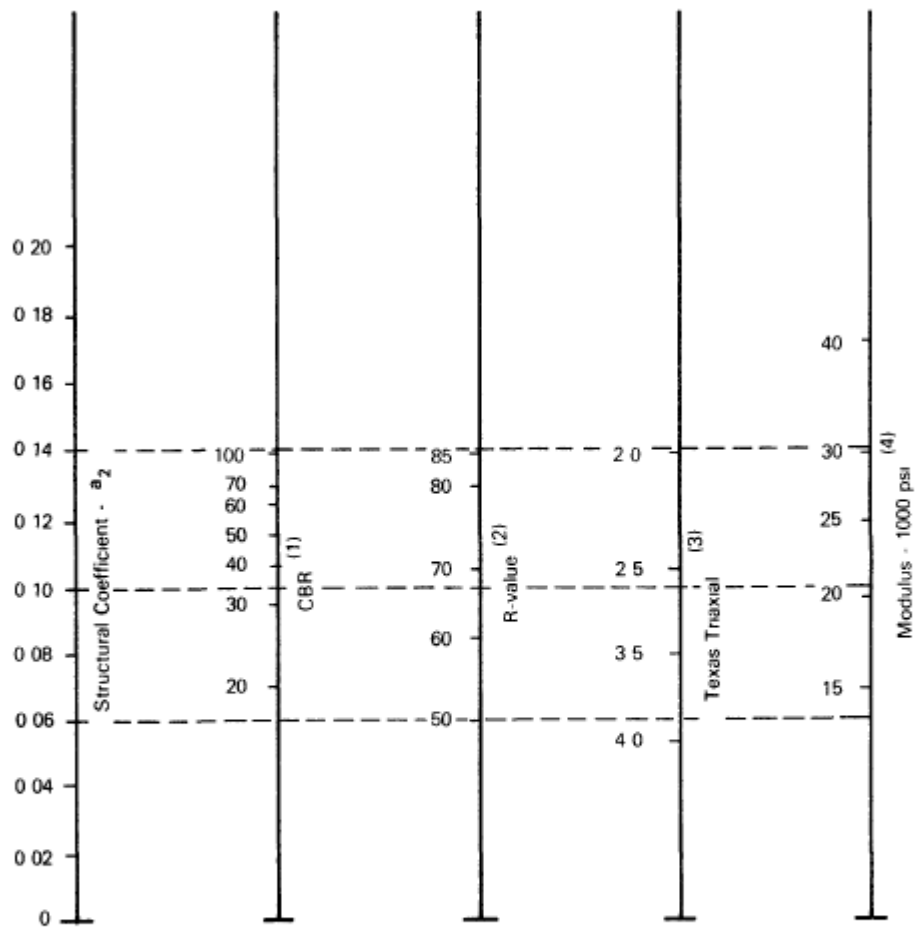


Figure 3.1. Design Chart for Flexible Pavements Based on Using Mean Values for Each Input



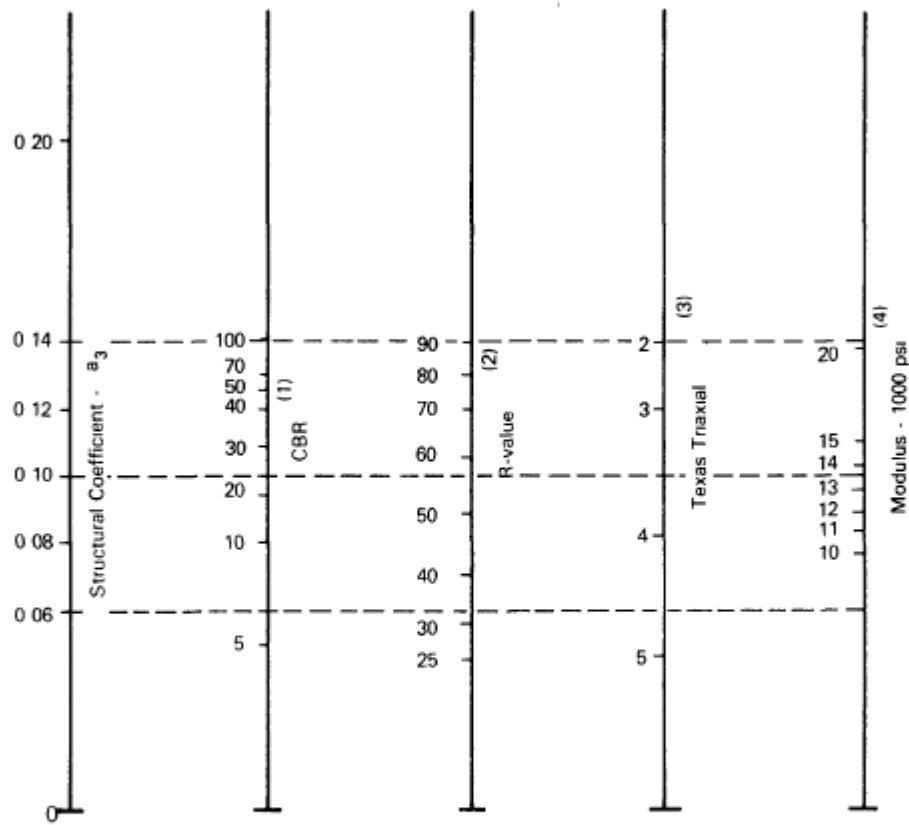


**Figure 2.5. Chart for Estimating Structural Layer Coefficient of Dense-Graded Asphalt Concrete Based on the Elastic (Resilient) Modulus (3)**



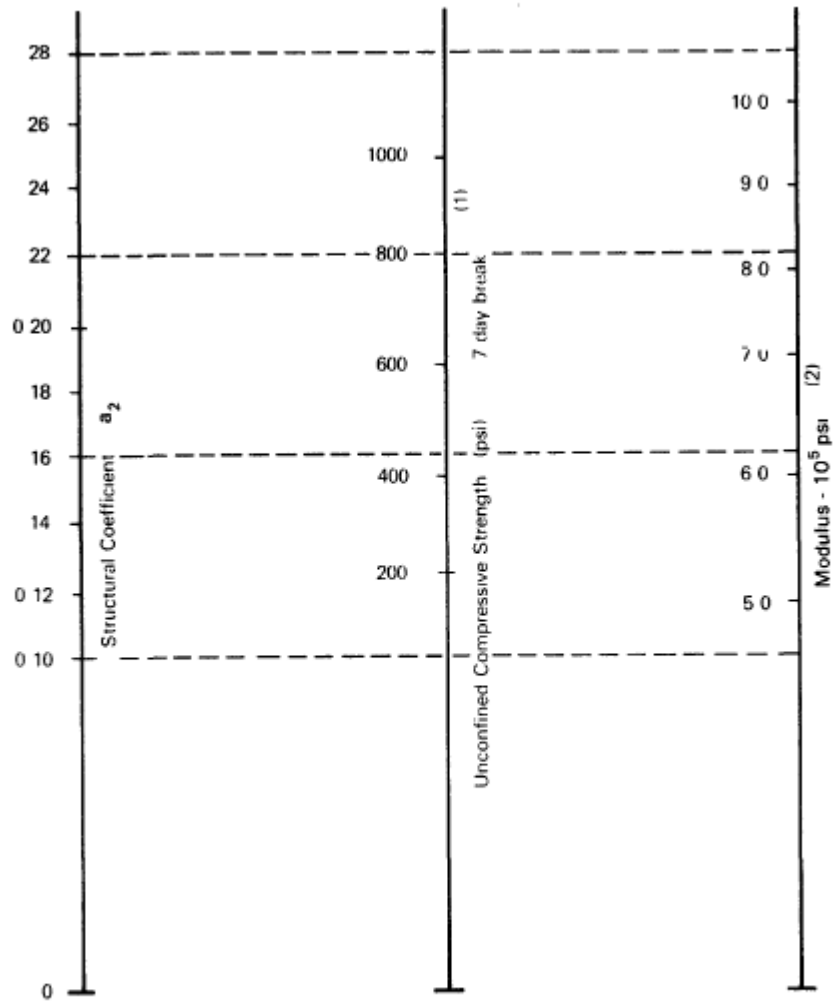
- (1) Scale derived by averaging correlations obtained from Illinois
- (2) Scale derived by averaging correlations obtained from California, New Mexico and Wyoming
- (3) Scale derived by averaging correlations obtained from Texas
- (4) Scale derived on NCHRP project (3)

**Figure 2.6. Variation in Granular Base Layer Coefficient ( $a_2$ ) with Various Base Strength Parameters (3)**



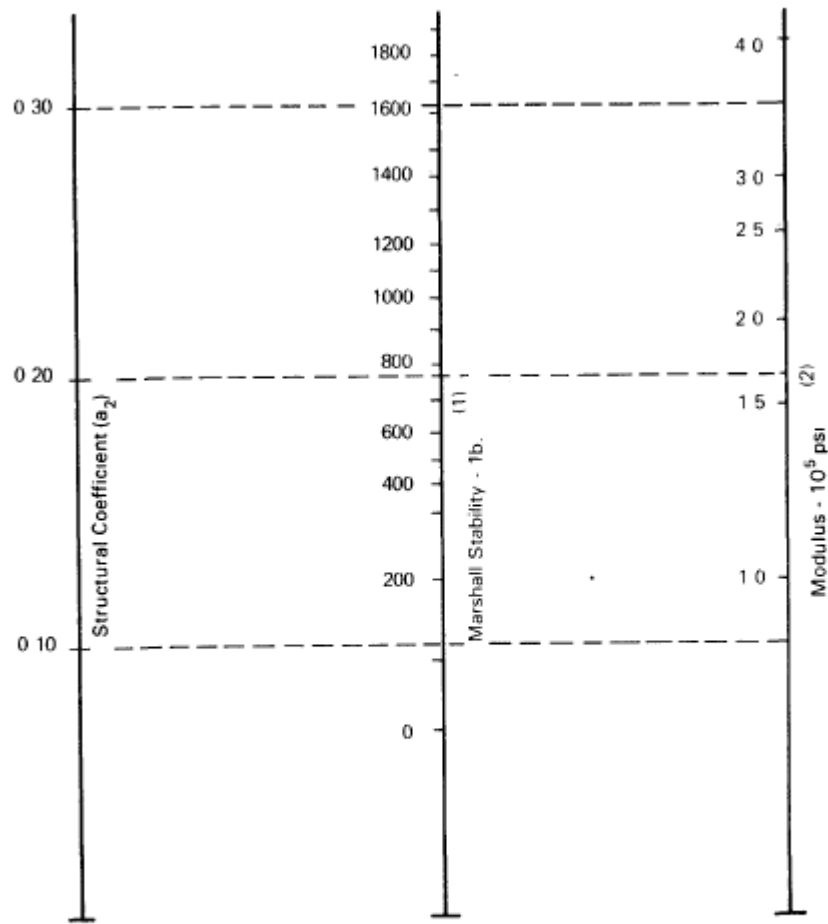
- (1) Scale derived from correlations from Illinois
- (2) Scale derived from correlations obtained from The Asphalt Institute, California, New Mexico and Wyoming
- (3) Scale derived from correlations obtained from Texas
- (4) Scale derived on NCHRP project (3)

**Figure 2.7. Variation in Granular Subbase Layer Coefficient ( $a_3$ ) with Various Subbase Strength Parameters (3)**



- (1) Scale derived by averaging correlations from Illinois Louisiana and Texas
- (2) Scale derived on NCHRP project (3)

**Figure 2.8. Variation in  $a_2$  for Cement-Treated Bases with Base Strength Parameter (3)**



- (1) Scale derived by correlation obtained from Illinois
- (2) Scale derived on NCHRP project (3)

**Figure 2.9. Variation in  $a_2$  for Bituminous-Treated Bases with Base Strength Parameter (3)**

## 14 LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Relación apiques.
- Tabla 2. CBR.
- Tabla 3. Proyecciones del tránsito promedio diario de la calzada rápida de la autopista Norte sector calles 134 a 138 sentido Sur – Norte.
- Tabla 4. Proyecciones del tránsito promedio diario de la calzada rápida de la autopista Norte sector calles 134 a 138 sentido Norte – Sur.
- Tabla 5. Factores de daño INVIAS.
- Tabla 6. NEE pavimento flexible.
- Tabla 7. Numero de repeticiones pavimento rígido.
- Tabla 8. Numero de repeticiones pavimento rígido TRANSMILENIO.
- Tabla 9. Alternativas pavimento flexible.
- Tabla 10. Alternativa pavimento rígido base estabilizada.
- Tabla 11. Alternativa pavimento rígido base granular.
- Tabla 12. Resumen parámetros de diseño pavimento flexible.
- Tabla 13. Coeficientes de aporte materiales.
- Tabla 14. Valores de modulo (k) con empleo de base granular.
- Tabla 15. Valores de modulo (k) con empleo de subbase tratada con cemento.
- Tabla 16. Numero de repeticiones pavimento rígido.
- Tabla 17. Numero de repeticiones pavimento rígido TRANSMILENIO.
- Tabla 18. Factores de seguridad de carga.
- Tabla 19. Resumen parámetros de diseño pavimento rígido.

## 15 LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Localización proyecto.
- Figura 2. Sondeos.
- Figura 3. Localización sondeos.
- Figura 4. Calculo de número estructural de pavimento.
- Figura 5. Calculo de espesores alternativa 1 (carpeta asfáltica, base granular, subbase granular).
- Figura 6. Informe de resultados alternativa 1.
- Figura 7. Calculo de espesores alternativa 2 (carpeta asfáltica, base estabilizada con cemento, subbase granular).
- Figura 8. Informe de resultados alternativa 2.
- Figura 9. Resistencia de la subrasante en términos de módulo de reacción (k).
- Figura 10. Tipología de vehículos.
- Figura 11. Alternativa 1 (base granular) mixto.
- Figura 12. Informe alternativa 1 (base granular) mixto.
- Figura 13. Alternativa 2 (base estabilizada con cemento) mixto.
- Figura 14. Informe alternativa 2 (base estabilizada con cemento ) mixto.
- Figura 15. Alternativa 1 (base granular) Transmilenio.
- Figura 16. Informe alternativa 1 (base granular) Transmilenio.
- Figura 17. Alternativa 2 (base estabilizada con cemento) Transmilenio.
- Figura 18. Informe alternativa 2 (base estabilizada con cemento) Transmilenio.