

## CAPITULO IV

### 6. Aplicación Práctica

#### 6.1 Tránsito

Como punto de partida para el análisis estructural del pavimento es necesario analizar el tráfico estimado para el año 2008 del proyecto de la Carretera Río Chambo- Chaupi, el mismo que tomando como referencia los datos expuestos en el desarrollo inicial del proyecto<sup>1</sup> se tiene:

Tabla 6.1 TPDA para el proyecto Cahuají- Pillate - Cotaló

AÑO	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES				TOTAL
			2 EJES	3 EJES	5 EJES	6 EJES	
2008	321	48	38	2	4	4	417

Para el caso del proyecto en estudio se ha determinado según la clasificación expuesta en el capítulo III, que la vía corresponde a una categoría III al ser una vía colectora local, por lo que corresponderá a un periodo de diseño de 10 años.

Con la finalidad de establecer de mejor forma el crecimiento del tráfico futuro, se ha procedido a analizar la ecuación que mejor se ajuste a los datos de tránsito por lo que se ha tomado como referencia los datos de vehículos

---

<sup>1</sup> Tomando del proyecto original: Carretera Río Chambo- Chapi

matriculados y tasas de motorización según tipos de vehículos de la provincia de Tungurahua, en donde se desarrolla la mayor parte del proyecto.

Para esto se ha considerado los datos que constan en las Estadísticas de Transporte en el Ecuador- 2007, elaborado por parte del Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador,

Tabla 6.2. Vehículos matriculados y Tasas de Motorización, según Tipos de Vehículos para la provincia de Tungurahua.

**Vehículos Matriculados y Tasas de Motorización, por Provincias  
según Tipos de Vehículos**  
Período: 1994-2006

PROVINCIAS	Año	Población	Livianos	Buses	Camiones	Tasas de Motorización X 1000 hab.		
						Livianos	Buses	Camiones
TUNGURAHUA	1994	408,997	14,628	453	1,660	35.77	1.11	4.06
	1995	415,375	14,351	303	1,469	34.55	0.73	3.54
	1996	421,746	18,129	455	1,944	42.99	1.08	4.61
	1997	428,116	22,219	458	1,913	51.90	1.07	4.47
	1998	434,465	23,002	422	2,721	52.94	0.97	6.26
	1999	440,771	20,520	276	1,970	46.55	0.63	4.47
	2000	447,017	21,492	329	2,215	48.08	0.74	4.96
	2001	441,034	23,939	382	2,520	54.28	0.87	5.71
	2002	456,192	25,143	589	6,257	55.11	1.29	13.72
	2003	464,985	38,214	484	4,509	82.18	1.04	9.70
	2004	474,063	37,623	513	4,286	79.36	1.08	9.04
	2005	482,877	36,751	388	4,087	76.11	0.80	8.46
	2006	491,629	43,264	641	4,760	88.00	1.30	9.68

Tomando como referencia el periodo (2001 – 2006)

Tabla 6.3. Vehículos matriculados según Tipos de Vehículos para la provincia de Tungurahua periodo (2001-2006)

AÑO	LIVIANO	BUS	CAMION	TOTAL
2001	23939	382	2520	26841
2002	25143	589	6257	31989
2003	38214	484	4509	43207
2004	37623	513	4286	42422
2005	36751	388	4087	41226
2006	43264	641	4760	48665

Para determinar cuál es el modelo de crecimiento que más se ajusta a los datos de tránsito, se procedió a analizar el modelo lineal y el modelo exponencial.

**Modelo**                      **Ecuación**

Lineal                               $y = a + bx$

Año	x	x2	y	Y2	Xy
2001	0	0	26841	720439281	0
2002	1	1	31989	1023296121	31989
2003	2	4	43207	1866844849	86414
2004	3	9	42422	1799626084	127266
2005	4	16	41226	1699583076	164904
2006	5	25	48665	2368282225	243325
$\Sigma$	15	55	234350	9478071636	653898

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{N\sum x^2 - (\sum x)^2}$$

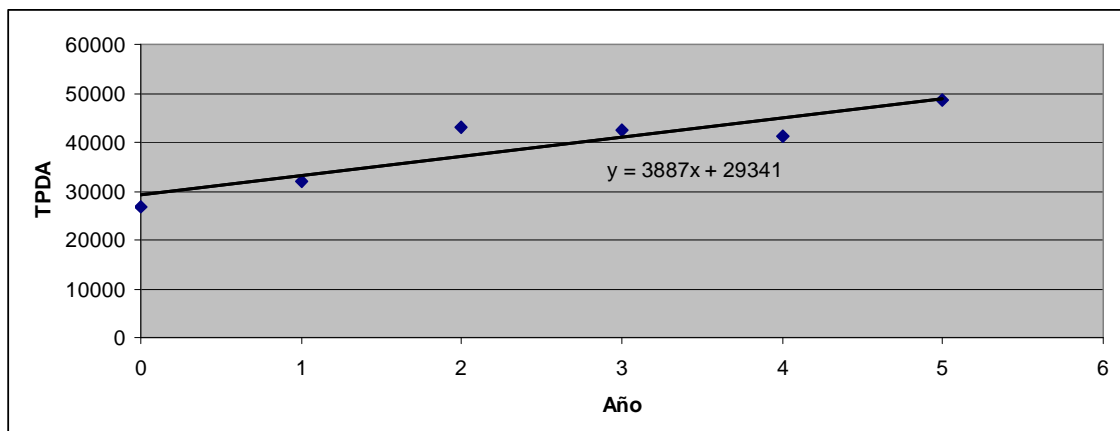
$$b = \frac{N\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{N\sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$a = \frac{(234350)(55) - (15)(653898)}{6(55) - (15)^2} = 29341$$

$$b = \frac{(6)(652898) - (15)(234350)}{(6)(55) - (15)^2} = 3887$$

$$y = 29341 + 3887x$$

Cuadro 6.1 Gráfica de TPDA considerando un modelo lineal



**Modelo****Ecuación**

Exponencial

$$y = ab^x$$

$$y' = a' + b' x$$

Año	y	y' (Log Y)	x	x2	x Log Y	y' 2
2001	26841	4.42879869	0	0	0	19.6142579
2002	31989	4.50500066	1	1	4.50500066	20.295031
2003	43207	4.63555411	2	4	9.27110823	21.4883619
2004	42422	4.62759114	3	9	13.8827734	21.4145998
2005	41226	4.6151712	4	16	18.4606848	21.2998052
2006	48665	4.68721673	5	25	23.4360836	21.9700007
$\Sigma$	234350	27.4993325	15	55	69.5556507	126.08206

$$a' = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{N \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b' = \frac{N \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{N \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$a' = \frac{(234350 * 55) - (15 * 69.555)}{(6 * 55) - (15)^2} = 4.47$$

$$b' = \frac{(6 * 69.555) - (15 * 234350)}{(6 * 55) - (15)^2} = 0.046$$

$$a' = \log a$$

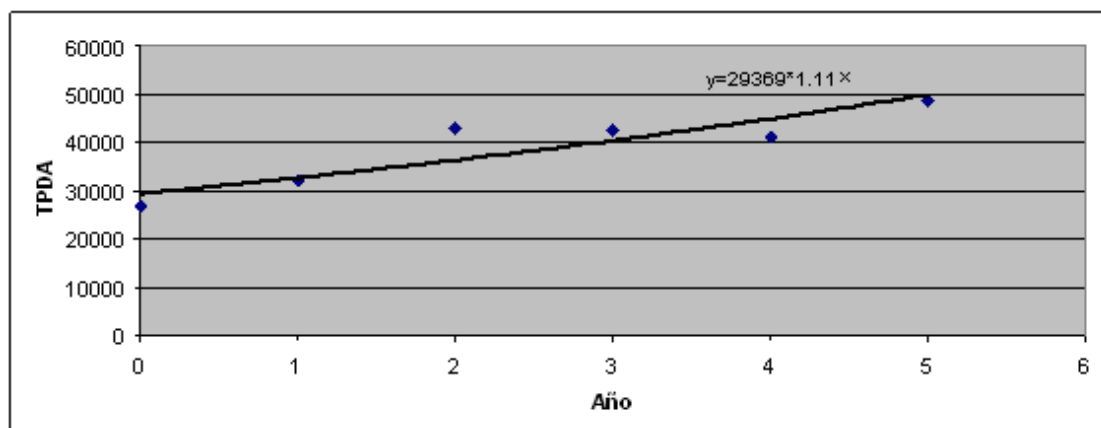
$$a = 29369$$

$$b' = \log b$$

$$b = 1.11$$

$$y = (29369)(1.11)^x$$

Cuadro 6.2 Gráfica de TPDA considerando un modelo exponencial



Para la determinación de la curva de aproximación que mejor se ajuste a los datos se procede a calcular el coeficiente de correlación de las dos curvas de ajuste y escoger la mejor correlación que resulte con el coeficiente más próximo a la unidad.

La ecuación que permite calcular el coeficiente de correlación es la siguiente:

$$r = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[N \sum X^2 - (\sum X)^2][N \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

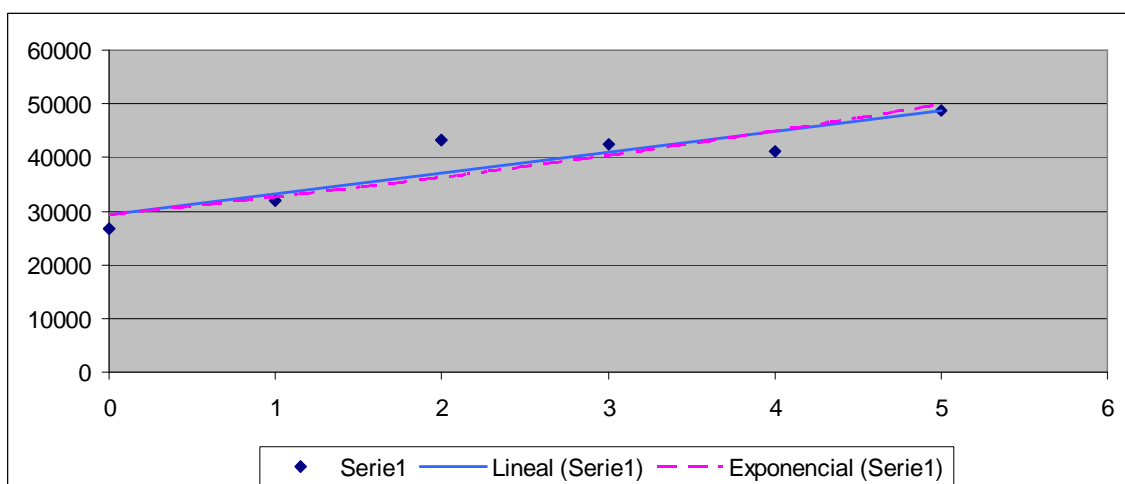
**Ecuación Lineal:**

r= 0.90

**Ecuación Exponencial**

r=0.89

Cuadro 6.3 Gráfica de TPDA comparando el modelo lineal y exponencial



En este caso se puede determinar que tanto la ecuación lineal como la ecuación exponencial se ajustan a los datos censados, por lo que se puede escoger cualquiera de las dos ecuaciones para realizar la proyección de tráfico futuro.

Continuando con el procedimiento de diseño, es necesario establecer las tasas de crecimiento anuales de tráfico vehicular por lo que el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, a través del Departamento de Factibilidad establece dichas tasas de crecimiento por provincia, siendo para el proyecto en estudio, la provincia de Tungurahua, las siguientes:

Tabla 6.4. Tasas de crecimiento establecidas para la provincia de Tungurahua

PERIODO	LIVIANO (%)	BUS (%)	CAMION (%)
2005- 2010	4,49	2,12	3,41
2011- 2015	3,99	1,89	3,03
2016- 2020	3,6	1,7	2,72
2021- 2030	3,27	1,54	2,48

Aplicado al proyecto:

#### 1 Vehículos año 2008.

AÑO	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES				TOTAL
			2 EJES	3 EJES	5 EJES	6 EJES	
2008	321	48	38	2	4	4	417

## 2 Tasas de Crecimiento:

PERIODO	LIVIANO (%)	BUS (%)	CAMION (%)
2005- 2010	4,49	2,12	3,41
2016- 2020	3,6	1,7	2,72
2021- 2030	3,27	1,54	2,48

3 Periodo de Diseño: 10 años

### Livianos 2018

$$TPL = T_o * (1 + i)^n$$

$$TPL = 321 * (1 + 0.036)^{10}$$

$$TPL = 457$$

### Buses 2018

$$TPB = T_o * (1 + i)^n$$

$$TPB = 48 * (1 + 0.017)^{10}$$

$$TPB = 57$$

### Camiones 2018

$$TPC = T_o * (1 + i)^n$$

$$TPC = 48 * (1 + 0.027)^{10}$$

$$TPC = 63$$

### Resumen:

AÑO	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES				TPDA
			2 EJES	3 EJES	5 EJES	6 EJES	
1	321	48	38	2	4	4	417
10	457	57	50	3	5	5	577
20	611	65	62	3	7	7	755

Una vez obtenido el tráfico que circulará por la vía, así como el tráfico futuro, es necesario convertir este tráfico determinado en número de Ejes Equivalentes.

Aplicando el método AASHTO, se obtiene:

### 1. Clasificación del tráfico y porcentajes

		TPDA	%
<b>Autos</b>	<b>Livianos</b>	321	76.98
<b>Buses</b>	<b>L.2 Ejes</b>	48	11.51
<b>Camiones Livianos</b>	<b>P (2DB)</b>	38	9.11
<b>Camiones Pesados</b>	<b>3 E(3ª)</b>	2	0.48
<b>Tracto-camiones</b>	<b>3S2</b>	4	0.96
	<b>3S3</b>	4	0.96
<b>TPDA</b>		417	100.00

### 1. Tasas de Crecimiento

PERIODO	LIVIANO (%)	BUS (%)	CAMION (%)
2005- 2010	4,49	2,12	3,41
2016- 2020	3,6	1,7	2,72
2021- 2030	3,27	1,54	2,48

### 3. Determinación de los factores de equivalencia de carga

Se ha considerado un índice de servicialidad final de 2.5 y un número equivalente aproximado de 3, utilizando las tablas de para cada tipo de eje y carga por eje se obtiene:



## Factores Equivalencia de Carga

P.T.= 2.5  
N.E.= 3

Tipos de Vehículos	Tipo de Eje	Carga por Eje	Porcentaje %	F. Equiv. Carga	Factor Camión Tf
Livianos	Simple	1.7	76.98	0.0035	0.0027
	Simple	2.5		<b>0.0173</b>	<b>0.0134</b>
Buses Mediano dos ejes	Simple	4	11.51	0.0782	0.0090
	Simple	9		<b>1.5256</b>	<b>0.1756</b>
Camiones Medianos 2 ejes (2DB)	Simple	6	9.11	0.3325	0.0303
	Simple	12		<b>4.3919</b>	<b>0.4002</b>
Camiones Tres ejes (3A)	Simple Tándem	6 20	0.48	0.3325 <b>3.3419</b>	0.0016 <b>0.0160</b>
Tracto camión 3 ejes y SR 2 eje - 3S2	Simple	6	0.96	0.3325	0.0032
	Tándem	20		3.0095	0.0289
	Tándem	20		3.0095 <b>6.3514</b>	0.0289 <b>0.0609</b>
Tracto camión 3 ejes y SR 3 ejes - 3S3	Simple	6	0.96	0.3325	0.0032
	Tándem	20		3.0095	0.0289
	Tridem	24		1.5343 <b>4.8762</b>	0.0147 <b>0.0468</b>
			<b>100.00</b>		<b>0.7129</b>

### 4. Obtención del TPDA para 10 años

Para cada tipo de vehículo:

$$N = 321 * 0.5 * 365 * 0.0173 * 11.78$$

$$N = 11.977,38$$

Dando como resultado:

		F. Equiv	Año 10
<b>Autos</b>	<b>Livianos</b>	<b>0.0173</b>	11 977.38
<b>Buses</b>	<b>L.2 Ejes</b>	<b>1.5256</b>	144 346.89
<b>Camiones Livianos</b>	<b>L 2DA</b>	<b>4.3919</b>	344 697.99
<b>Camiones Pesados</b>	<b>3 E(3ª)</b>	<b>3.3419</b>	13 804.70
<b>Tracto-Camiones</b>	<b>3S2</b>	<b>6.3513</b>	52 472.03
	<b>2S2</b>	<b>4.8762</b>	40 284.93
<b>TPDA</b>		<b>47.4549</b>	607 583.93

$$N_{8.2} = 607583 = 6.1 \times 10^5$$

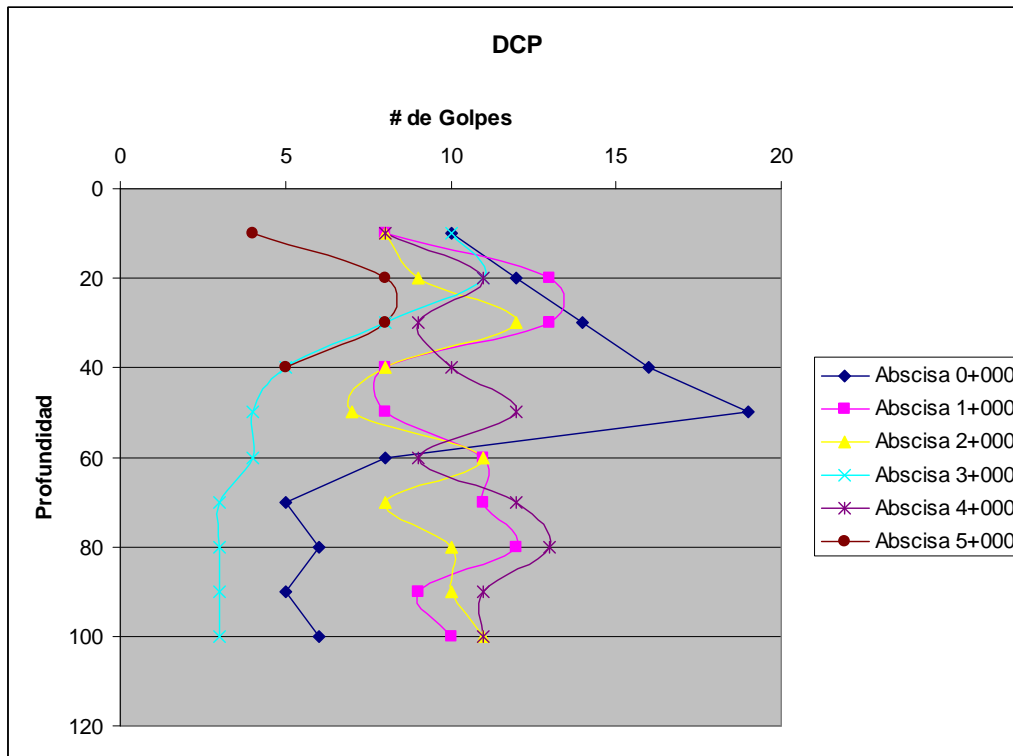
## 6.2 Subrasante

El análisis de la subrasante del proyecto se realizó en base a ensayos de DCP, tomando con ejemplo algunos datos obtenemos lo siguiente:

Tabla 6.5 Ensayos DCP, profundidad vs. número de Golpes

	Abciscado 0+000	Abciscado 1+000	Abciscado 2+000	Abciscado 3+000	Abciscado 4+000	Abciscado 5+000
<b>Profundidad (cm.)</b>	<b># de Golpes</b>	<b># de Golpes</b>	<b># de Golpes</b>	<b># de Golpes</b>	<b># de Golpes</b>	<b># de Golpes</b>
10	10	8	8	10	8	4
20	12	13	9	11	11	8
30	14	13	12	8	9	8
40	16	8	8	5	10	5
50	19	8	7	4	12	
60	8	11	11	4	9	
70	5	11	8	3	12	
80	6	12	10	3	13	
90	5	9	10	3	11	
100	6	10	11	3	11	

Cuadro 6.4 Gráfica DCP vs. Profundidad



Utilizando las correlaciones descritas en el Capítulo III, se obtuvo los siguientes resultados:

Abscisa 5+500

Tipo de suelo: SM

Profundidad (cm.)	# de Golpes	CBR (%)				Promedio
		CIE USA	Livneh	Kleyn	TRL	
10	10	22.15	30.90	22.39	26.49	25.48
20	15	16.05	22.54	15.54	19.54	18.42
30	19	13.28	18.56	12.53	16.34	15.18

Para el proyecto, el CBR en base al DCP para cada abscisa es el siguiente:

		<b>CBR</b>
<b>ABSCISA</b>	<b>TIPO DE MATERIAL</b>	<b>DCP</b>
0+000	SM	18
0+500	SM	18
1+000	SM	23
1+500	SM	18
2+000	SM	16
2+500	SM	7
3+000	SM	18
3+500	SM	14
4+000	SM	21
4+500	G	7
5+000	G	9
5+500	SM	23
6+000	G	18
6+500	SM	13
7+000	SM	26
7+500	SM	18
8+000	SM	14
8+500	G	16
9+000	G	11
9+500	SM	9
10+000	G	18
10+500	G	21
11+000	G	14
11+500	SM	5
12+000	SM	21
12+500	SM	14
13+000	SM	2
13+500	SM	5
14+000	SM	5
14+500	SM	5
15+000	SM	5
15+500	SM	4
16+000	G	14
16+500	SM	5
17+000	SM	4
17+500	SM	9
18+000	ML	5
18+500	G	7
19+000	ML	5
19+500	ML	7
20+000	ML	4
20+500	ML	2
21+000	G	
21+500	G	
22+000	ML	2

22+500	ML	4
23+000	ML	5
23+500	ML	2
24+000	ML	2
24+500	ML	2
25+000	ML	2
25+500	ML	2
26+000	ML	2

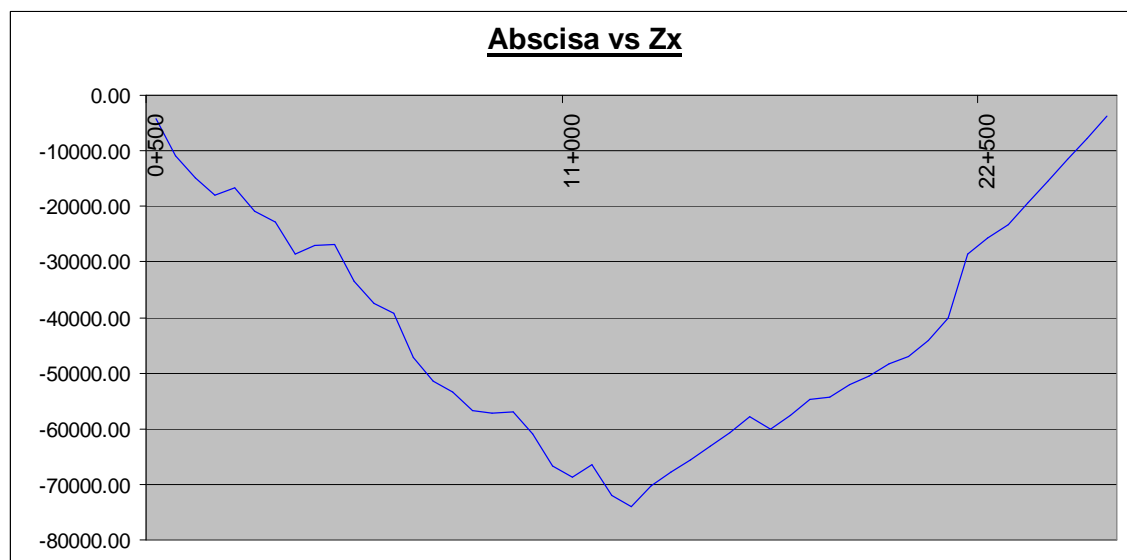
Una vez establecidos los datos de campo se puede definir el diseño estructural del pavimento por tramos homogéneos, por lo que utilizando los criterios para definir tramos de la Guía AASHTO, se obtiene:

ABSCISA	DCP	Área parcial	Área Acumulada	Ax prom	Zx
0+000	18	0	0	0	0
0+500	18	9000	9000	4855.77	-4144.23
1+000	23	11500	20500	9750.00	-10750.00
1+500	18	9000	29500	14625.00	-14875.00
2+000	16	8000	37500	19500.00	-18000.00
2+500	7	3500	41000	24375.00	-16625.00
3+000	18	9000	50000	29250.00	-20750.00
3+500	14	7000	57000	34125.00	-22875.00
4+000	21	10500	67500	39000.00	-28500.00
4+500	7	3500	71000	43875.00	-27125.00
5+000	9	4500	75500	48750.00	-26750.00
5+500	23	11500	87000	53625.00	-33375.00
6+000	18	9000	96000	58500.00	-37500.00
6+500	13	6500	102500	63375.00	-39125.00
7+000	26	13000	115500	68250.00	-47250.00
7+500	18	9000	124500	73125.00	-51375.00
8+000	14	7000	131500	78000.00	-53500.00
8+500	16	8000	139500	82875.00	-56625.00
9+000	11	5500	145000	87750.00	-57250.00
9+500	9	4500	149500	92625.00	-56875.00
10+000	18	9000	158500	97500.00	-61000.00
10+500	21	10500	169000	102375.00	-66625.00
11+000	14	7000	176000	107250.00	-68750.00
11+500	5	2500	178500	112125.00	-66375.00
12+000	21	10500	189000	117000.00	-72000.00
12+500	14	7000	196000	121875.00	-74125.00
13+000	2	1000	197000	126750.00	-70250.00
13+500	5	2500	199500	131625.00	-67875.00
14+000	5	2500	202000	136500.00	-65500.00
14+500	5	2500	204500	141375.00	-63125.00

15+000	5	2500	207000	146250.00	-60750.00
15+500	4	2000	209000	151125.00	-57875.00
16+000	14	7000	216000	156000.00	-60000.00
16+500	5	2500	218500	160875.00	-57625.00
17+000	4	2000	220500	165750.00	-54750.00
17+500	9	4500	225000	170625.00	-54375.00
18+000	5	2500	227500	175500.00	-52000.00
18+500	7	3500	231000	180375.00	-50625.00
19+000	5	2500	233500	185250.00	-48250.00
19+500	7	3500	237000	190125.00	-46875.00
20+000	4	2000	239000	195000.00	-44000.00
20+500	2	1000	240000	199875.00	-40125.00
22+000	2	3000	243000	214500.00	-28500.00
22+500	4	2000	245000	219375.00	-25625.00
23+000	5	2500	247500	224250.00	-23250.00
23+500	2	1000	248500	229125.00	-19375.00
24+000	2	1000	249500	234000.00	-15500.00
24+500	2	1000	250500	238875.00	-11625.00
25+000	2	1000	251500	243750.00	-7750.00
25+500	2	1000	252500	248625.00	-3875.00
26+000	2	1000	253500	253500.00	0.00

**Al graficar:**

**Cuadro 6.5. Determinación de Secciones Homogéneas**



Se puede observar que existen dos pendientes bien marcadas en la abscisa 12+500 empieza una pendiente positiva en conclusión se definirán dos secciones homogéneas estableciéndose dos tramos:

Tramo 1: 0+000 – 12+500

Tramo 2: 12+500 – 26+000

Una vez definidos los tramos homogéneos es necesario establecer el CBR que representará a dicho tramo, el mismo que corresponderá al CBR de diseño utilizado para el diseño del pavimento, para esto se establecieron dos métodos:

#### **TRAMO 1: 0+000-12+500**

##### **Método estadístico**

<b>No</b>	<b>ABSCISA</b>	<b>CBR</b>
1	0+000	18
2	0+500	18
3	1+000	23
4	1+500	18
5	2+000	16
6	2+500	7
7	3+000	18
8	3+500	14
9	4+000	21
10	4+500	7
11	5+000	9
12	5+500	23
13	6+000	18
14	6+500	13
15	7+000	26
16	7+500	18
17	8+000	14
18	8+500	16
19	9+000	11
20	9+500	9

21	10+000	18
22	10+500	21
23	11+000	14
24	11+500	5
25	12+000	21
26	12+500	14
		410

Valor medio u

$$u = \frac{\sum C_s}{n}$$

$$u = \frac{410}{26}$$

$$u = 15.76$$

Cálculo de la desviación estándar:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{n * \sum C_s^2 - (\sum C_s)^2}{n(n-1)}}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{26 * 7196 - 248.66}{26(26-1)}}$$

$$\varepsilon = 5.41$$

Con t (factor de seguridad) = 0.5

$$CBR = u - t * \varepsilon$$

$$CBR = 15.76 - 0.5 * 5.41$$

$$CBR = 13.06$$

### Método del Instituto de Asfalto

Tabla 6.6. CBR de Diseño método del Instituto de Asfalto

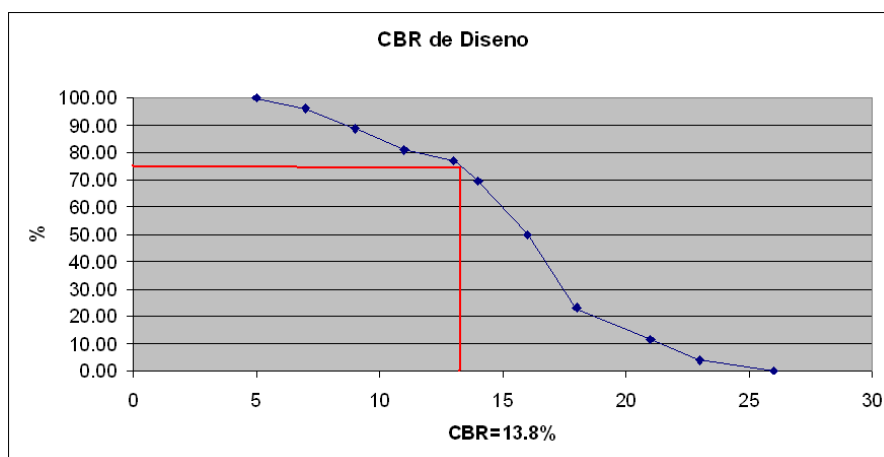
No	ABSCISA	CBR	Numero	%
1	11+500	5	26	100.00
2	4+500	7		
3	2+500	7	25	96.15
4	9+500	9		
5	5+000	9	23	88.46
6	9+000	11	21	80.77
7	6+500	13	20	76.92
8	12+500	14		



9	11+000	14		
10	8+000	14		
11	3+500	14	18	69.23
12	8+500	16		
13	2+000	16	13	50.00
14	10+000	18		
15	7+500	18		
16	6+000	18		
17	3+000	18		
18	1+500	18		
19	0+500	18		
20	0+000	18	6	23.08
21	12+000	21		
22	10+500	21		
23	4+000	21	3	11.54
24	5+500	23		
25	1+000	23	1	3.85
26	7+000	26	1	3.85

Tomando en cuenta la tabla del Instituto del Asfalto que recomienda el percentil de confiabilidad para determinar la resistencia del suelo en función del número de ejes de 8.2T en el carril de diseño en nuestro caso, corresponde al 75%.

Cuadro 6.6. Determinación Gráfica del CBR de Diseño Tramo 0+000 – 12+500



**TRAMO 2: 13+000- 26+000**

**Método Estadístico**

Mediciones	ABSCISA	CBR
1	13+000	2
2	13+500	5
3	14+000	5
4	14+500	5
5	15+000	5
6	15+500	4
7	16+000	14
8	16+500	5
9	17+000	4
10	17+500	9
11	18+000	5
12	18+500	7
13	19+000	5
14	19+500	7
15	20+000	4
16	20+500	2
17	22+000	2
18	22+500	4
19	23+000	5
20	23+500	2
21	24+000	2
22	24+500	2
23	25+000	2
24	25+500	2
25	26+000	2
		111

$$u = \frac{\sum C_s}{n}$$

Valor medio u

$$u = \frac{111}{25}$$

$$u = 4.44$$

Cálculo de la desviación estándar:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{n * \sum C_s^2 - (\sum C_s)^2}{n(n-1)}}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{25 * 111 - 12321}{25(25-1)}}$$

$$\varepsilon = 2.75$$

Con t (factor de seguridad) = 0.5

$$CBR = u - t * \varepsilon$$

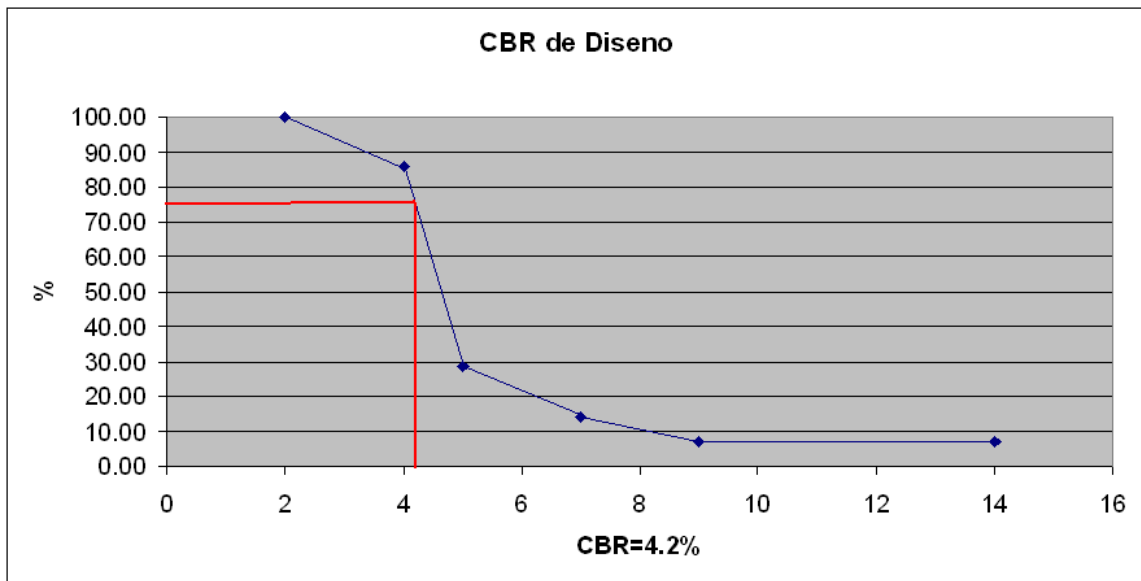
$$CBR = 4.44 - 0.5 * 2.75$$

$$CBR = 3.06$$

### Método del Instituto de Asfalto

No	ABSCISA	CBR	Número	%
1	13+000	2	14	100.00
2	20+500	2		
3	22+000	2		
4	23+500	2		
5	24+000	2		
6	24+500	2		
7	25+000	2		
8	25+500	2		
9	26+000	2		
10	15+500	4	12	85.71
11	17+000	4		
12	20+000	4		
13	22+500	4		
14	13+500	5		
15	14+000	5		
16	14+500	5		
17	15+000	5		
18	16+500	5		
19	18+000	5		
20	19+000	5		
21	23+000	5		
22	18+500	7	2	14.29
23	19+500	7		
24	17+500	9	1	7.14
25	16+000	14	1	7.14

Cuadro 6.7. Determinación Gráfica del CBR de Diseño Tramo 12+500 – 26+000



### **6.3 Factores Estadísticos**

Para realizar el diseño del pavimento hay que tomar muy en cuenta el nivel de servicio que deseamos obtener al inicio y al final, siendo necesario establecer parámetros estadísticos, confiabilidad y desviación estándar, que nos permitan establecer un criterio técnico para mantener condiciones adecuadas de operación de su vida útil.

Es por esto que se ha considerado necesario comprender lo que significa la desviación estándar y la confiabilidad dentro del proyecto;

Para un periodo de diseño de 10 años, servicialidad inicial 4.2 y servicialidad final 2 obtenemos:

NUMERO DE AÑOS	EJES ACUMULADOS
1	54254.7788
2	109921.587
3	167037.174
4	225639.245
5	285766.488
6	347458.597
7	410756.298
8	475701.379
9	542336.714
10	610706.294

Para desviación estándar 0.3, 0.4 y 0.45

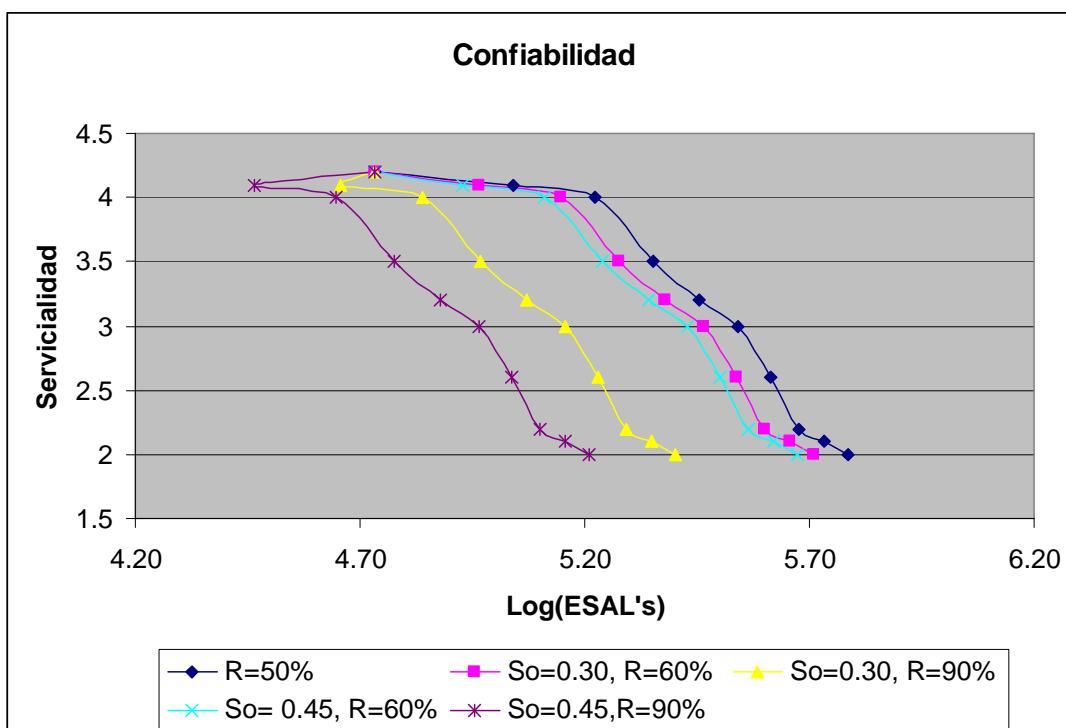
R	ZR	ZR x So		
		0.3	0.4	0.45
50	0	0	0	0
60	-0.253	-0.0759	-0.1012	-0.11385
70	-0.524	-0.1572	-0.2096	-0.2358
75	-0.674	-0.2022	-0.2696	-0.3033
80	-0.841	-0.2523	-0.3364	-0.37845
85	-1.037	-0.3111	-0.4148	-0.46665
90	-1.282	-0.3846	-0.5128	-0.5769
91	-1.34	-0.402	-0.536	-0.603
92	-1.405	-0.4215	-0.562	-0.63225
93	-1.476	-0.4428	-0.5904	-0.6642
94	-1.555	-0.4665	-0.622	-0.69975
95	-1.645	-0.4935	-0.658	-0.74025
96	-1.751	-0.5253	-0.7004	-0.78795
96.5	-1.816	-0.5448	-0.7264	-0.8172
97	-1.881	-0.5643	-0.7524	-0.84645
98	-2.054	-0.6162	-0.8216	-0.9243
99	-2.327	-0.6981	-0.9308	-1.04715
99.9	-3.09	-0.927	-1.236	-1.3905
99.99	-3.75	-1.125	-1.5	-1.6875

Analizando confiabilidades de 50%, 60% y 90%

$$R_{50\%} = \text{LOG} (\text{ESAL}'s)$$

$$R_{x\%} = R_{x\%} + (ZR_{x\%} \times So)$$

NUMERO DE AÑOS	EJES ACUMULADOS	Pt - Po	So=0.3			So=0.45		
			50%	60%	90%	50%	60%	90%
1	54254.7788	4.2	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73
2	109921.587	4.1	5.04	4.97	4.66	5.04	4.93	4.46
3	167037.174	4	5.22	5.15	4.84	5.22	5.11	4.65
4	225639.245	3.5	5.35	5.28	4.97	5.35	5.24	4.78
5	285766.488	3.2	5.46	5.38	5.07	5.46	5.34	4.88
6	347458.597	3	5.54	5.47	5.16	5.54	5.43	4.96
7	410756.298	2.6	5.61	5.54	5.23	5.61	5.50	5.04
8	475701.379	2.2	5.68	5.60	5.29	5.68	5.56	5.10
9	542336.714	2.1	5.73	5.66	5.35	5.73	5.62	5.16
10	610706.294	2	5.79	5.71	5.40	5.79	5.67	5.21



Cuadro 6.8 Comparación grafica entre la confiabilidad y desviación estándar

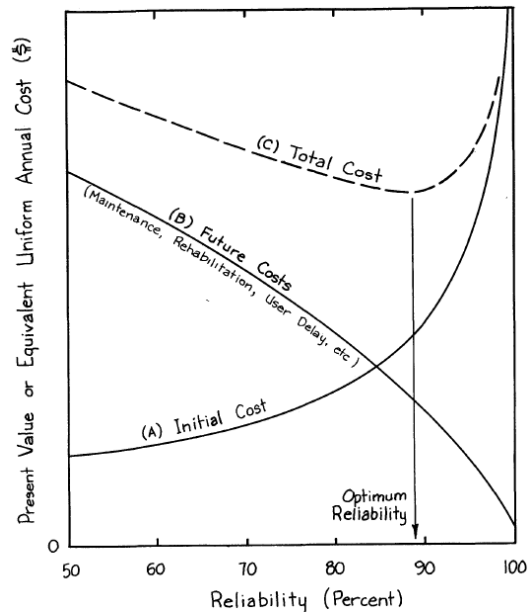


Fig. 6.1 Costo Anual Uniforme en función del porcentaje de confiabilidad de diseño

Analizando las dos gráficas para el proyecto se trabajará con el 90% de confiabilidad con una desviación estándar de 0.45, debido a que aún si el costo inicial del proyecto será alto del que en realidad se requiere según la curva de diseño ( $R=50\%$ ), el costo futuro de mantenimiento disminuye, lo que a largo plazo constituye un beneficio al costo final del proyecto.

## **6.4 Diseño del Pavimento**

### **6.4.1 Pavimento Flexible**

#### **Método AASHTO 1993**

Considerando la ecuación de diseño y el análisis de diseño multicapa, se procedió a elaborar una hoja electrónica en Microsoft Excel, la cual permite de una manera más práctica y considerando todos los parámetros de diseño encontrar el Número Estructural (SN) de pavimento para de esta manera calcular el espesor de pavimento como se indica a continuación:



## Tramo 0+000 – 12+500

**CBR: 14%**

Se obtuvieron los siguientes espesores:

<b>CAPAS DE PAVIMENTO</b>	<b>ESPESOR (cm)</b>
CAPA HORMIGÓN ASFÁLTICO	12
BASE GRANULAR	10.6

Se debe tener presente que no es práctico ni económico colocar estratos de un espesor menor que el mínimo requerido; además de que, al especificar estratos con un cierto espesor por encima del mínimo, éstos serán más estables.

Muchas veces se especifica un mínimo espesor con el fin de mitigar los efectos de los suelos expansivos, evitar las migraciones capilares del agua, y espesores mínimos para tratamientos superficiales.

Para el caso de combinaciones de carpetas asfálticas y bases granulares, la tabla siguiente muestra valores de espesores mínimos sugeridos por CORPECUADOR en función del tránsito.

Tabla 6.1 Espesores mínimos recomendados para carpeta asfáltica y base granular en función del número de ESAL's.

<b>ESPEORES MINIMOS SUGERIDOS (cm)</b>		
<b>NUMERO DE ESAL's</b>	<b>CARPETA ASFALTICA</b>	<b>BASE GRANULAR</b>
< 150.000	5.0	10.0
< 500.000	6.5	10.0
< 2'000.000	7.5	15.0
< 7'000.000	9.0	15.0
> 7'000.000	10.0	15.0

Para el proyecto el número de ESAL's corresponde a 607. 584 por lo que el espesor mínimo corresponde a:

- Carpeta Asfáltica                                7.5 cm
- Base Granular                                      15 cm

Como se puede observar el espesor de la carpeta asfáltica se encuentra sobre el mínimo sugerido, sin embargo el espesor de la base granular se encuentra por debajo del mínimo sugerido por lo que es necesario reestablecer el diseño de la siguiente forma:

<b>CAPAS DE PAVIMENTO</b>	<b>ESPEOR ADOPTADO (cm)</b>
CAPA HORMIGÓN ASFÁLTICO	12.0
BASE GRANULAR	15.0

**Tramo 12+500 – 26+000**

**CBR: 4%**

Se obtuvieron los siguientes espesores:

<b>CAPAS DE PAVIMENTO</b>	<b>ESPEJOR (cm)</b>
CAPA HORMIGÓN ASFÁLTICO	12
BASE GRANULAR	10.6
SUB-BASE GRANULAR	23.3

Como se puede observar el espesor de la base granular se encuentra por debajo del mínimo sugerido por lo que es necesario reestablecer el diseño de la siguiente forma:

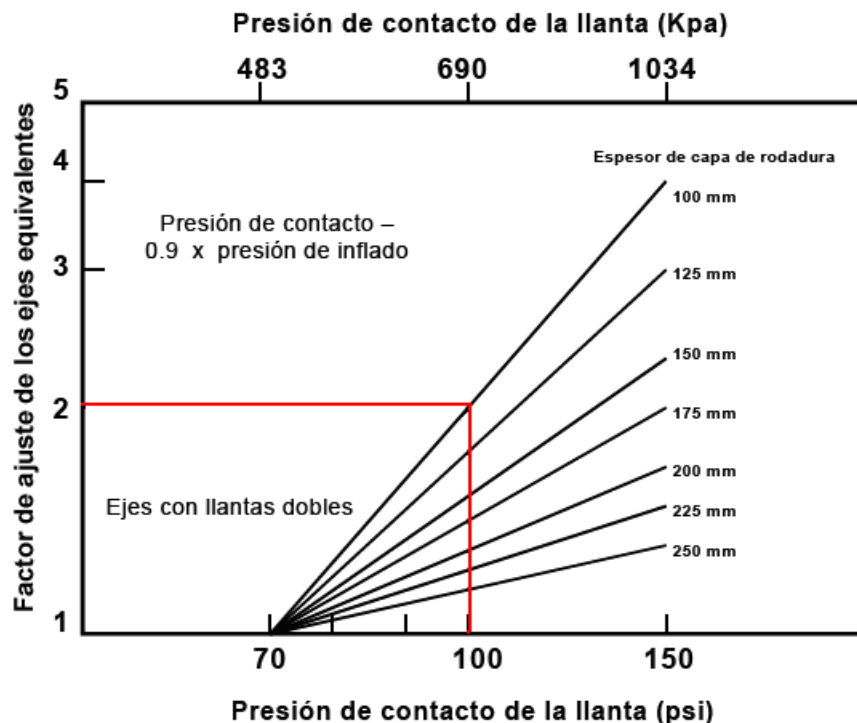
<b>CAPAS DE PAVIMENTO</b>	<b>ESPEJOR ADOPTADO (cm)</b>
CAPA HORMIGÓN ASFÁLTICO	12.0
BASE GRANULAR	15.0
SUB-BASE GRANULAR	18.2

### 6.4.2 Método del Instituto del Asfalto

El diseño del pavimento por este método requiere de la ejecución ordenada de los siguientes pasos:

- a) La estimación del tránsito esperado durante 10 años, corresponde a 607.584 ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño.

Considerando una presión de inflado de 8bars, tomada del manual de presiones de inflado para neumáticos de camión 2009 (Michelín), la presión de contacto de la llanta es 104.4psi por lo que el factor de ajuste será 2.



Siendo el tráfico de diseño:  $607.584 \times 2 = 1'215.168$

b) Determinación de la resistencia de los suelos típicos de subrasante:

Tramo 0+000 – 12+500

CBR: 14%

$$Mr = 10.3 * CBR$$

$$Mr = 10.3 * (14)$$

$$Mr = 144.2(Mpa)$$

Tramo 12+500 – 26+000

CBR: 4%

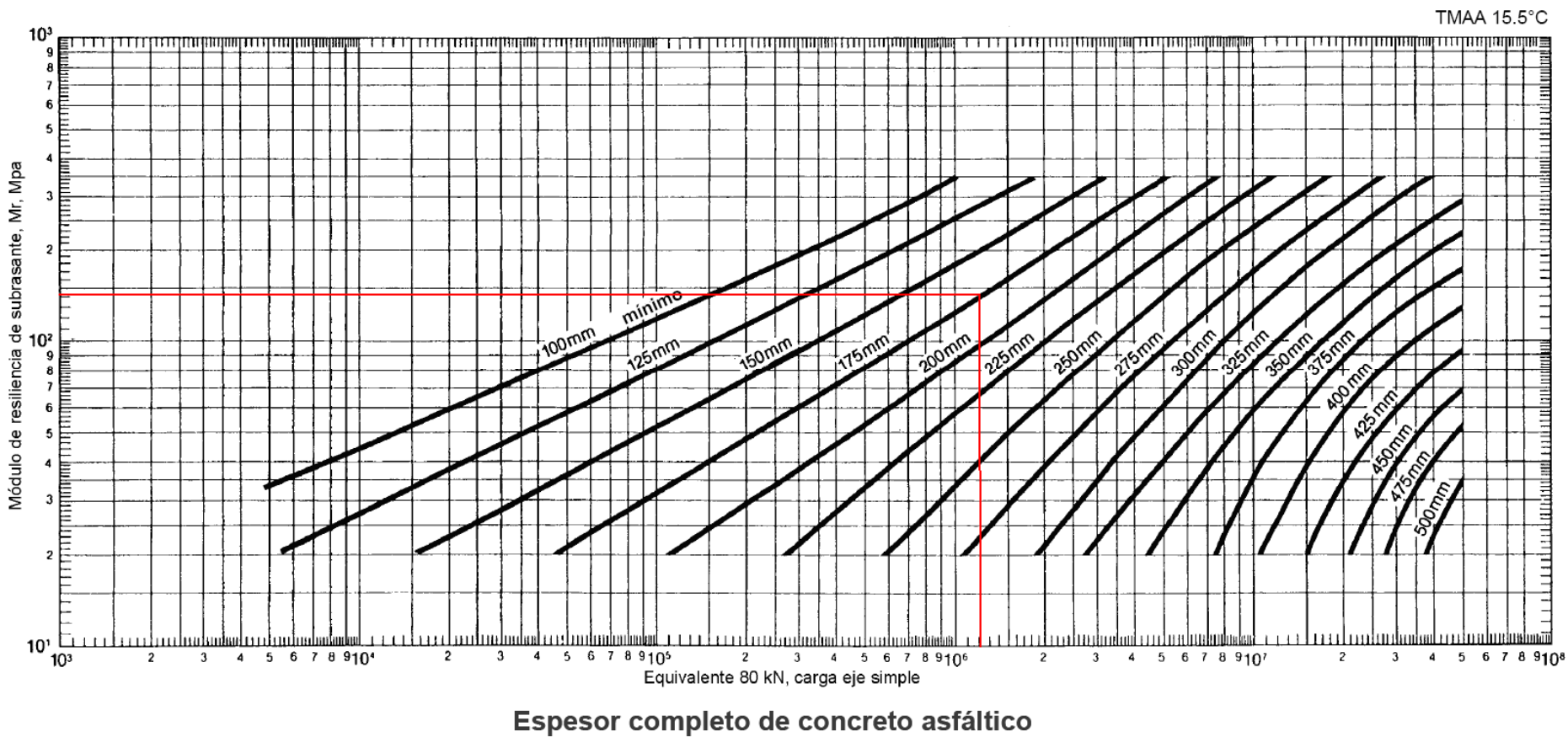
$$Mr = 10.3 * CBR$$

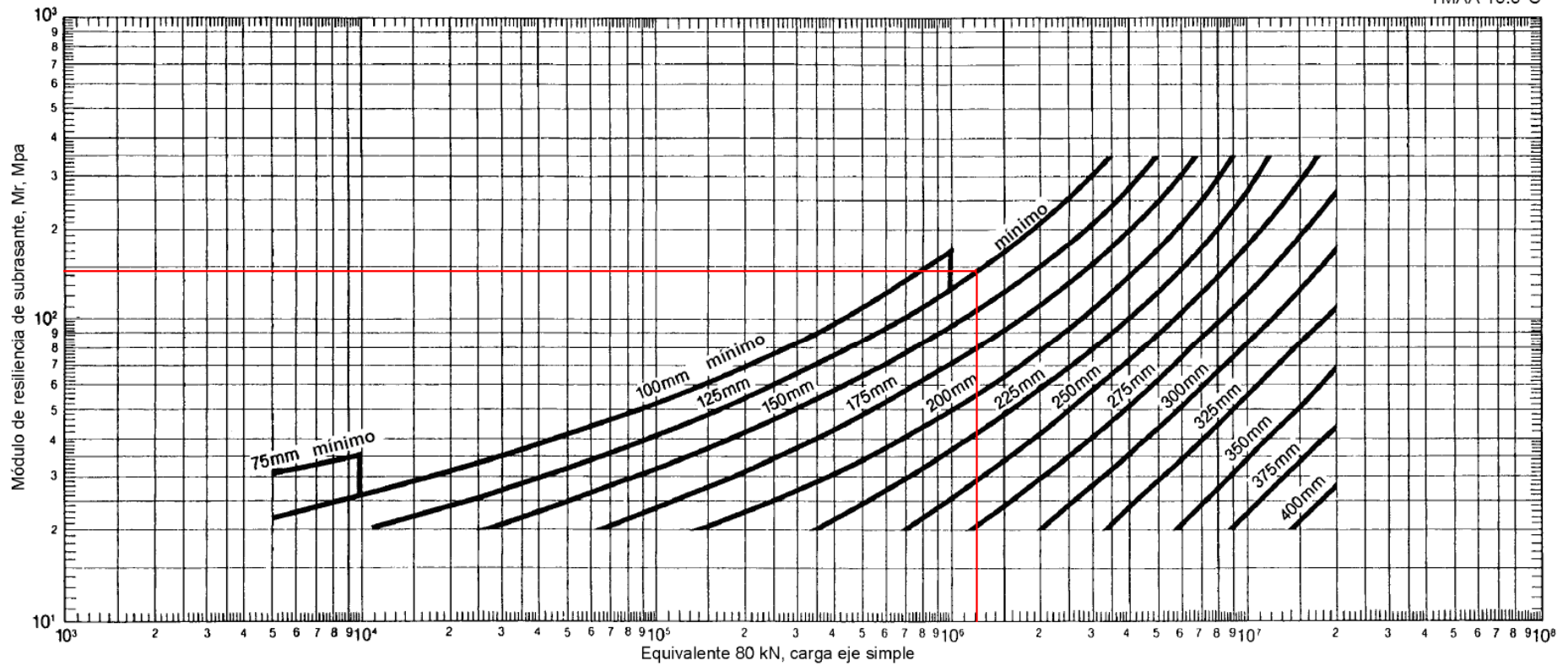
$$Mr = 10.3 * (4)$$

$$Mr = 41.2(Mpa)$$

c) Elección de los tipos de base y capa de rodadura a utilizar: en este caso para definir el método se ha utilizado las graficas de diseño que permiten determinar los espesores de las diversas capas del pavimento.

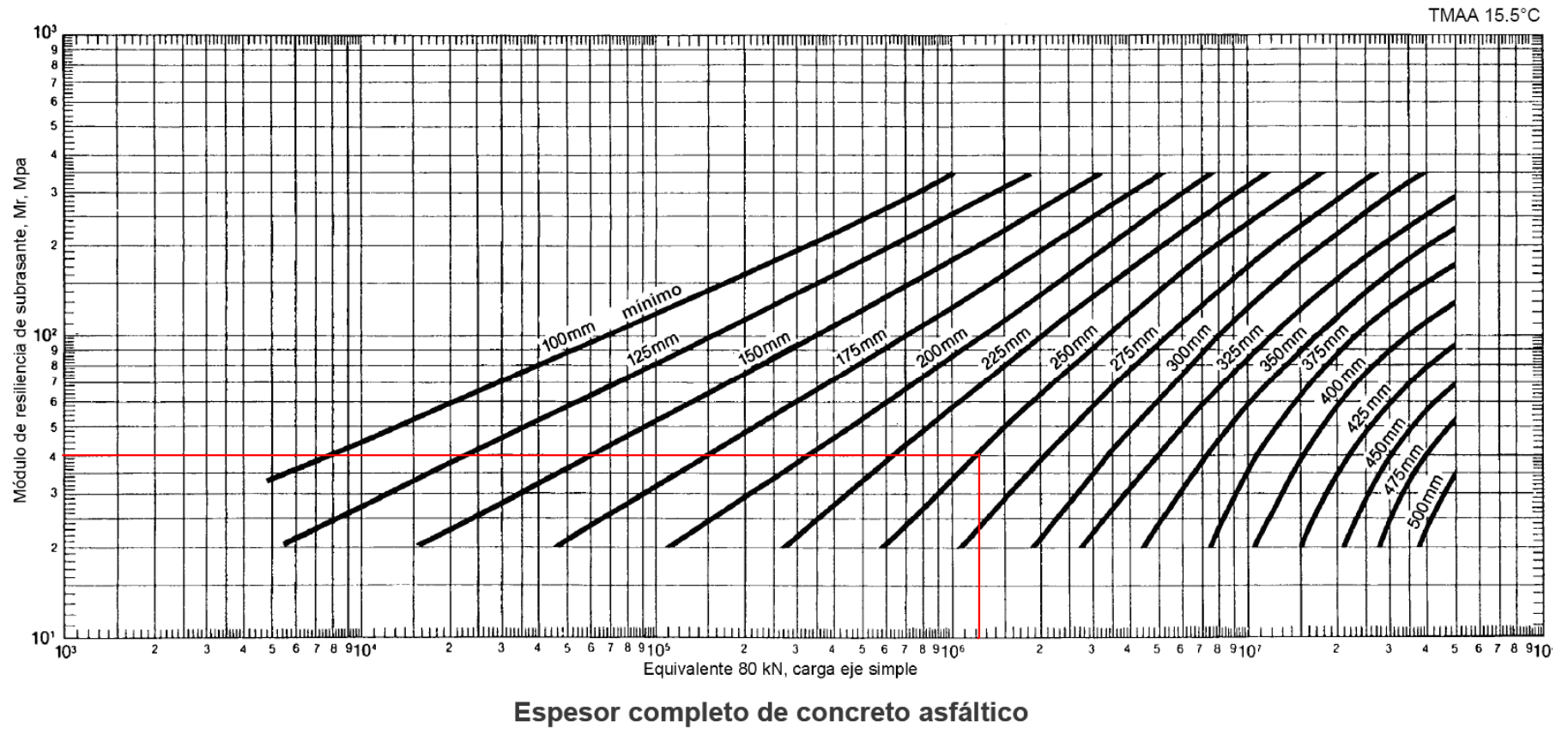
# TRAMO 1



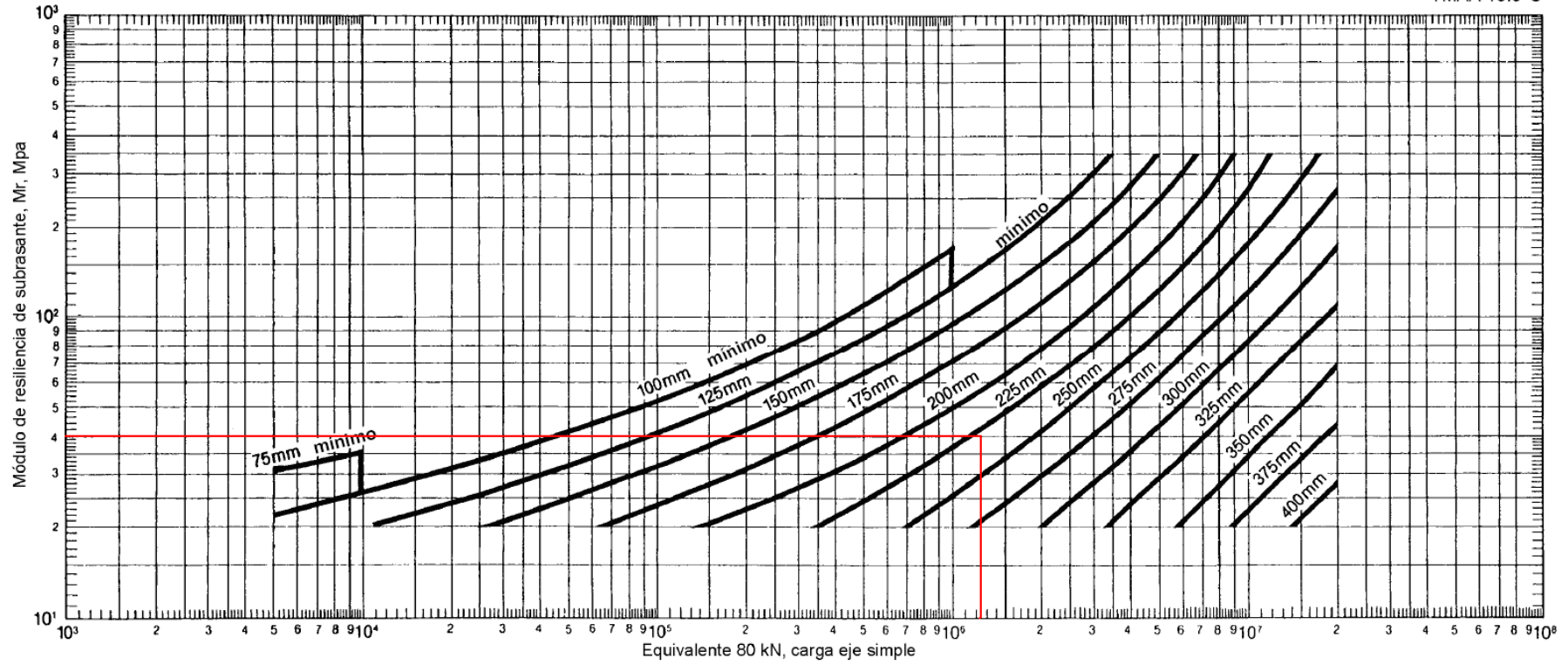


**Agregado de base de 150 milímetros de espesor**

## TRAMO II

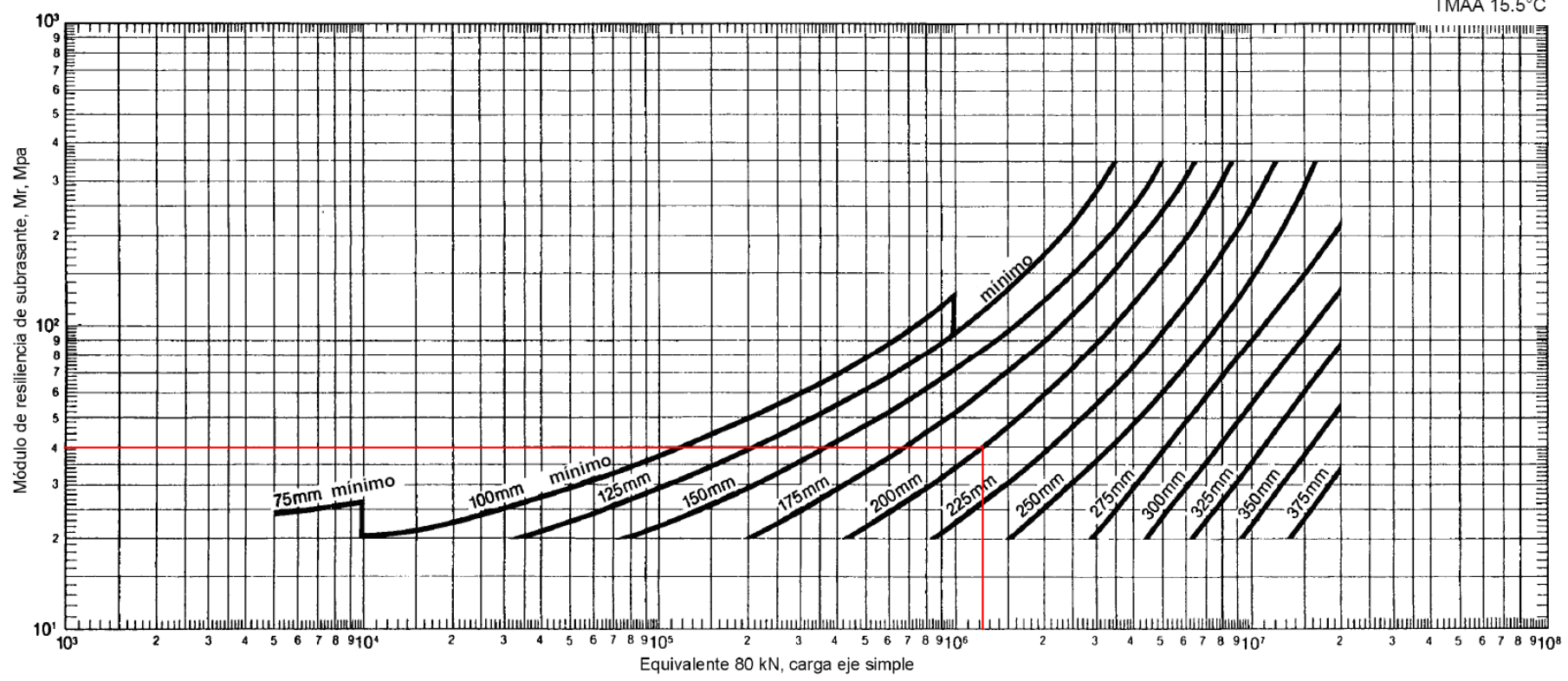






**Agregado de base de 150 milímetros de espesor**

TMAA 15.5°C



**Agregado de base de 300 milímetros de espesor**

### **Tramo 0+000 – 12+500 (CBR: 14%)**

#### 1. Alternativa en espesor pleno de concreto asfáltico

A partir de los datos básicos, se tiene que el espesor del pavimento, en concreto asfáltico es de 17.5cm.

#### 2. Alternativa de pavimento con capas granulares

- Si se desea colocar capas granulares de 15cm de espesor, se determina que sobre ella se deben colocar 12.5cm de concreto asfáltico.

### **Tramo 12+500 – 26+000 (CBR: 4%)**

#### 1. Alternativa en espesor pleno de concreto asfáltico

A partir de los datos básicos, se tiene que el espesor del pavimento, en concreto asfáltico es de 25cm.

#### 2. Alternativa de pavimento con capas granulares

- a. Si se desea colocar base granular de 15cm de espesor, se determina que sobre ella se deben colocar 22.5cm de concreto asfáltico.
- b. Si se desea colocar base granular de 30cm de espesor, se debe colocar 20cm de concreto asfáltico.

## Resumen

Para el resumen se ha considerando lo siguiente:

- Se ha tomado en cuenta para el Tramo II, en el caso del Instituto del Asfalto, la alternativa que considera 30cm de espesor de base granular, espesor semejante al utilizado en el Método AASHTO.

Tramo	Método de Diseño			
	AASHTO		Instituto del Asfalto	
0+000 – 12+500 CBR: 14%	Concreto Asfáltico	12.0cm	Concreto Asfáltico	12.5cm
	Base Granular	15.0cm	Base Granular	15.0cm
12+500 – 26+000 CBR: 4%	Concreto Asfáltico	12.0cm	Concreto Asfáltico	20.0cm
	Base Granular	15.0cm	Base Granular	30.0cm
	Subbase Granular	18.2cm		

En la aplicación práctica claramente se puede observar en el tramo I (CBR=14%) subrasante excelente, los espesores calculados ya sea por el método AASHTO como por el método del Instituto del Asfalto son relativamente equivalentes.

En el tramo II (CBR=4%) subrasante buena- media, existe un conflicto con los espesores de pavimento entre los dos métodos, debido a que en el método del Instituto del Asfalto la capa de concreto asfáltico es la que absorbe los mayores esfuerzos además que se incrementa considerablemente el espesor debido al factor de ajuste por la presión de contacto de las llantas en los ejes equivalentes de 8,2Tn.

El método AASHTO permite más opciones de cambio tanto en los espesores, propiedades de los materiales, drenaje y otros parámetros que le hacen mucho más práctico para el cálculo de los espesores de pavimento flexible.