

DISEÑO DE ENRIPIADO PARA RUTAS DE BAJO TRÁNSITO EN ZONA FRÍA

Autor: Ing: Oscar V. Cordo
EICAM-UNSJ



Ubicación del proyecto



VARIABLES DE ENTRADA DEL PROBLEMA

- Subrasante
- Materiales estructurales
- Tránsito
- Clima



Subrasante

Acceso	Faro C. Vírgenes Pingüinera		Cementerio	
	M _R (psi)	M _R (kPa)	M _R (psi)	M _R (kPa)
Enero	5000	34450	15000	103350
Febrero	5000	34450	15000	103350
Marzo	5000	34450	15000	103350
Abril	5000	34450	15000	103350
Mayo	5000	34450	15000	103350
Junio	10000	68900	30000	206700
Julio	10000	68900	30000	206700
Agosto	2000	13800	7500	51700
Septiembre	3500	24100	11300	77900
Octubre	5000	34450	15000	103350
Noviembre	5000	34450	15000	103350
Diciembre	5000	34450	15000	103350
CBR (%)	4		20	

Materiales estructurales

Enripiado: CBR= 60% $M_R = 30000 \text{ psi} = 206700 \text{ kPa}$

PTN°200 $\leq 6\%$

IP $< 10\%$

Suelo seleccionado: aplicable a los caso de subrasante de baja capacidad portante (4%) Es el mismo tipo de material especificado para paquete estructural pavimentado (RN 40) CBR= 10% $M_R = 9500 \text{ psi} = 65500 \text{ kPa}$. Sirve como capa de transición para evitar la migración de finos de subrasante.

Para subrasante con CBR= 20% no se prevé la colocación de capa de suelo seleccionado.

Materiales estructurales

	Enripiado	Suelo seleccionado
PT 1 1/2"	100%	
PT 1"	80-100%	
PTN°4	30-50%	100 %
PTN°10	---	60-100 %
PTN°40	10-25%	---
PTN°200	0-6%	5-30 %
LL	$\leq 30\%$	$\leq 35\%$
IP	$\leq 10\%$	$\leq 15\%$
CBR	$\geq 60\%$	$\geq 10\%$

Tránsito

Tránsito muy bajo:

Tránsito liviano, con esporádica presencia de ómnibus turísticos.

Determinación del número de pasadas de ejes tipo (ESALs).

Vida útil=	20	años				
TMDA _{inic}	57					
TMDA _{atr}	19					
TMDA _{tot inic}	76					
TMDA 2do a	78					
	1er año	Resto				
Vehículo	% TMDA	% TMDA	Tasa crec (%)	Feq (1)	g (2)	Nº ejes tipo
Autos	98	98	3,5	0,0002	26,357	76
Omnibus 3 ejes	2	2	3,5	1,3	26,357	10116
Total	100	100			Total	10192

Tránsito

Prorrrateo del tránsito a lo largo del año en que la subrasante presenta igual valor de módulo resiliente

Número de pasadas de ejes tipo a lo largo del año.

Meses	Estado subrasante	Nº de pasadas
Enero-Mayo Octubre-Diciembre	Normal	6795
Junio-Julio	Congelado	1699
Agosto	Deshielo	849
Septiembre	Recuperación	849
	Total	10192

Clima

Precipitación escasa: Pmedia anual 279 mm (Río Gallegos 1995-2004)

Registros meteorológicos correspondientes al período 1961/1990

Mes	Temperatura (°C)			H. relativa (%)	Viento medio (km/h)	Número de días con			Prec. media mensual
	Media	Máxima media	Mínima media			Cielo claro	Cielo cubierto	Prec.	
Enero	14,1	20,1	8,1	53	32,9	0,6	16	11	34,6
Febrero	13,6	20,1	7,8	56	32,4	0,8	11	8	21,7
Marzo	11,1	17,3	5,7	61	29,3	2	9	6	23,2
Abril	7,6	12,9	3,2	69	27	3	10	8	29,4
Mayo	4,2	8,2	0,7	78	22,3	5	11	11	37,5
Junio	1,8	5	-1,2	71	22,8	6	9	7	21,5
Julio	1,2	4,6	-1,9	79	23,3	7	8	7	19,3
Agosto	3,3	7,4	0,1	74	27,3	6	8	5	11,3
Septiembre	5,8	11,6	1,3	66	28,7	5	7	6	11,3
Octubre	8,8	14,9	3,1	59	31	2	10	8	22,3
Noviembre	11,7	17,8	5,7	52	36,5	1	10	8	19,5
Diciembre	13,3	19,4	7,1	51	36,8	0,3	15	9	22,6
Promedio	8,0	13,3	3,3	64,1	29,2	39	124	94	274,2

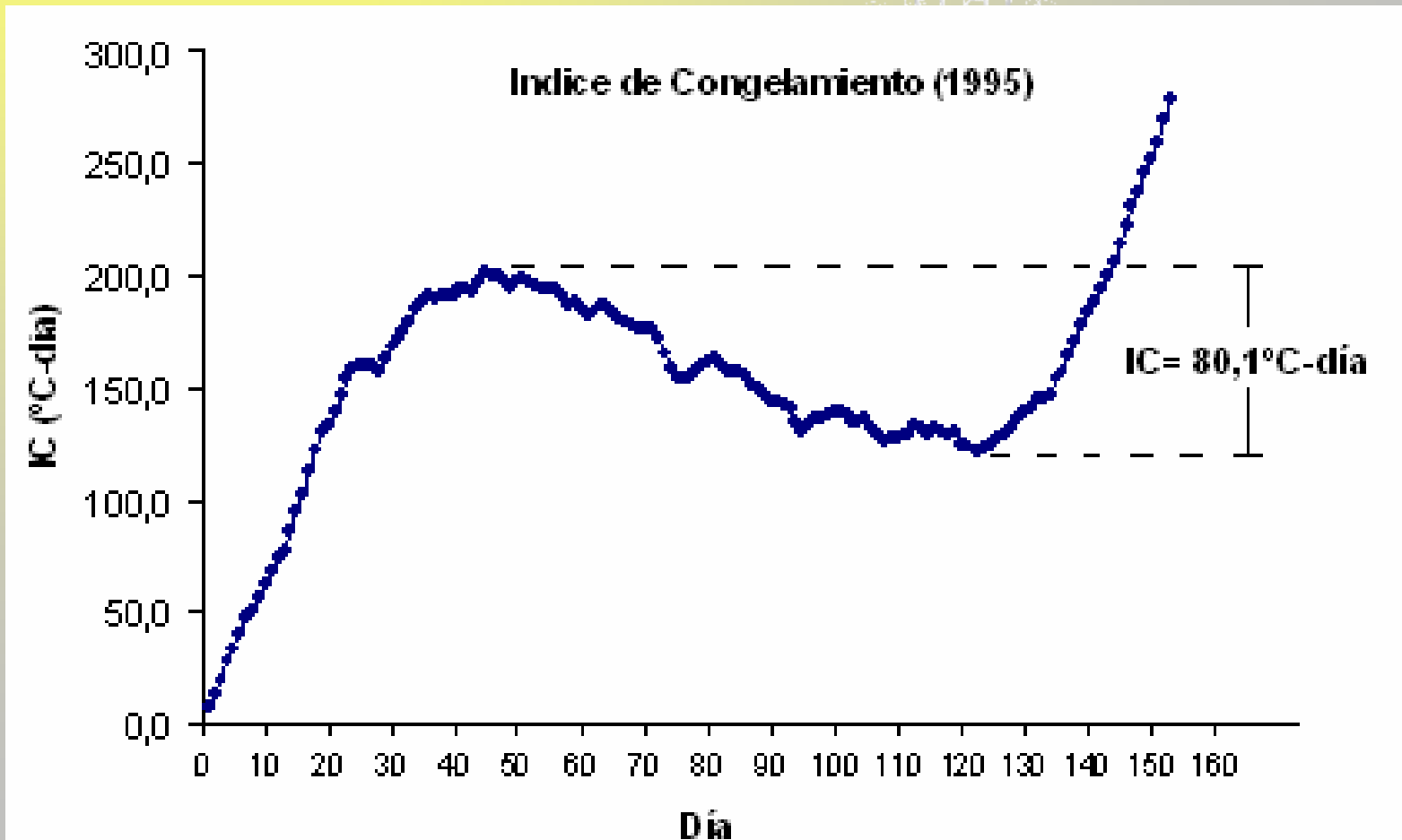
Clima

Temperaturas medias registradas en Río Gallegos en los últimos 10 años.

Mes \ Año	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	T _{med} (95-04)
Enero	13,8	12,4	14,1	13,4	13,8	13,3	12,9	13,1	12,7	14,8	13,4
Febrero	13,4	12,0	11,4	14,4	12,8	11,7	12,3	13,6	12,8	15,1	13,0
Marzo	10,3	10,6	11,3	12,1	10,4	10,0	9,7	8,4	10,5	11,8	10,5
Abril	8,8	7,3	7,3	9,0	8,5	7,9	7,9	7,6	7,2	7,9	7,9
Mayo	5,5	6,8	3,5	5,5	4,7	4,7	3,8	1,2	5,7	4,6	4,6
Junio	0,5	2,5	1,9	3,8	-0,4	1,3	1,9	-0,9	1,0	4,3	1,6
Julio	-1,3	2,5	0,4	4,6	1,3	0,6	-1,2	0,8	4,0	0,9	1,3
Agosto	-0,7	3,5	3,4	5,1	2,9	2,8	2,3	1,8	4,2	3,6	2,9
Septiembre	5,2	7,0	4,7	5,8	4,9	2,6	5,8	6,1	5,5	6,1	5,4
Octubre	8,9	8,1	7,9	9,1	9,5	7,6	9,0	7,1	7,5	7,8	8,3
Noviembre	11,7	11,5	10,7	11,4	12,5	10,2	10,3	9,4	9,4	11,3	10,8
Diciembre	13,7	12,8	11,5	12,3	12,4	10,7	13,4	13,2	11,3	13,1	12,4
Promedio	7,5	8,1	7,3	8,9	7,8	7,0	7,3	6,8	7,7	8,4	7,7

Clima

Indice de Congelamiento: 80°C-día



Dimensionado

Pérdida de serviciabilidad

Serviciabilidad inicial: 3,5

Serviciabilidad final: 0,5

Pérdida de serviciabilidad por condiciones ambientales

A 20 años:

Subrasante con CBR= 20% $\Delta PSI_{FH} = 0,01$ con 49 cm de penetración de helada

Subrasante con CBR= 4% $\Delta PSI_{FH} = 0,39$ con 46 cm de penetración de helada

Dimensionado

Pérdida de serviciabilidad

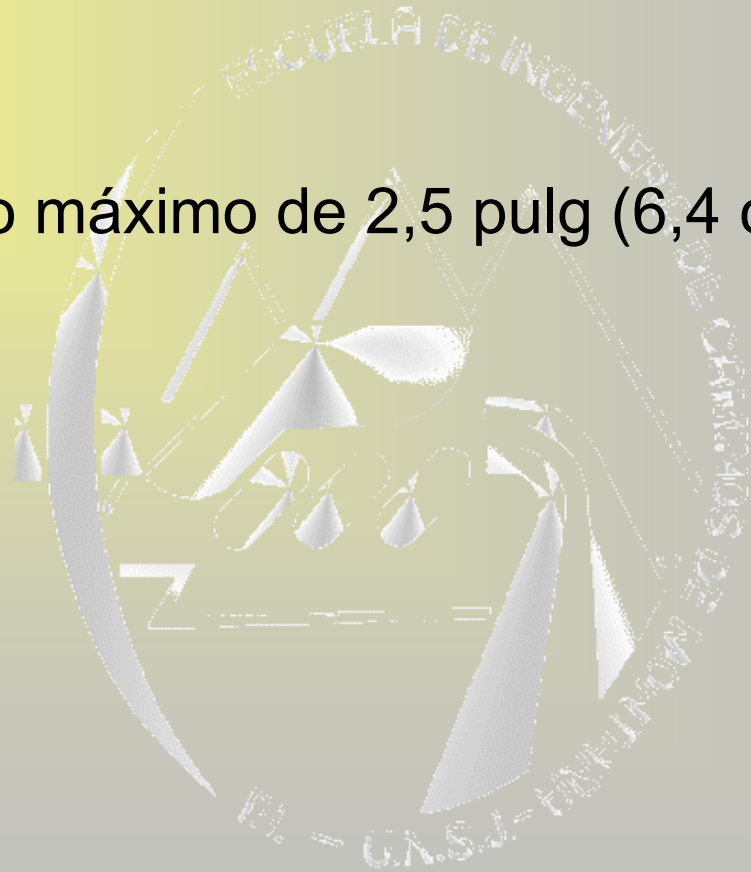
Variación de serviciabilidad para diseño de enripiados.

Topónimo	Progresiva	CBR (%)	Serv inicial	Serv final	Por congelamiento	Δ PSI
Faro C. Vírgenes	95575	4	3,5	0,5	0,39	2,61
Cementerio	99020	20	3,5	0,5	0,01	2,99
Pingüinera	101854	4	3,5	0,5	0,39	2,61

Dimensionado

Ahuellamiento

Se adopta un ahuellamiento máximo de 2,5 pulg (6,4 cm)



Dimensionado

Adopción de espesores

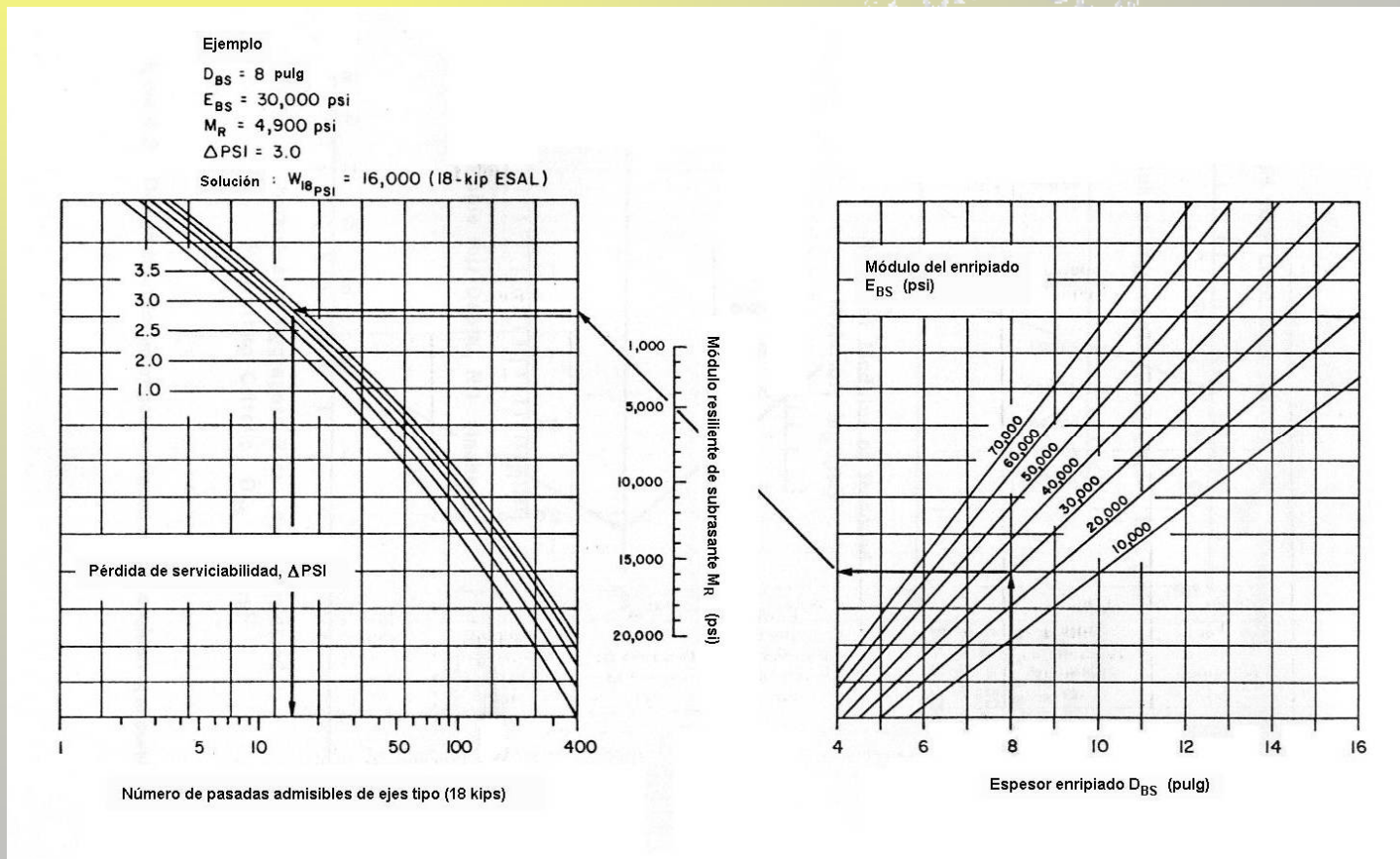
Subrasante: características resistentes variables a lo largo del año → análisis mediante el criterio de consumo de fatiga.

Se determina el número de ESALs a soportar con un espesor determinado en función del módulo resiliente variable.

Consumo de fatiga ≤ 1 , → diseño razonable y económico.

Dimensionado

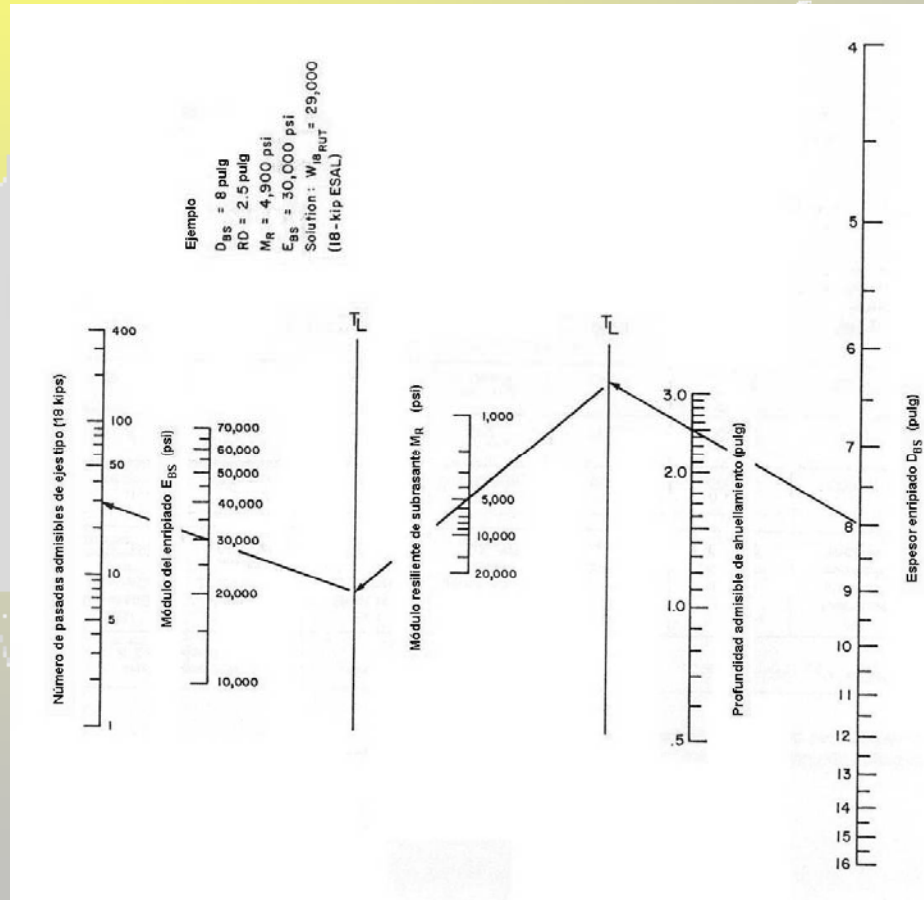
Adopción de espesores



Ábaco para diseño de enriados mediante criterio de pérdida de serviciabilidad.

Dimensionado

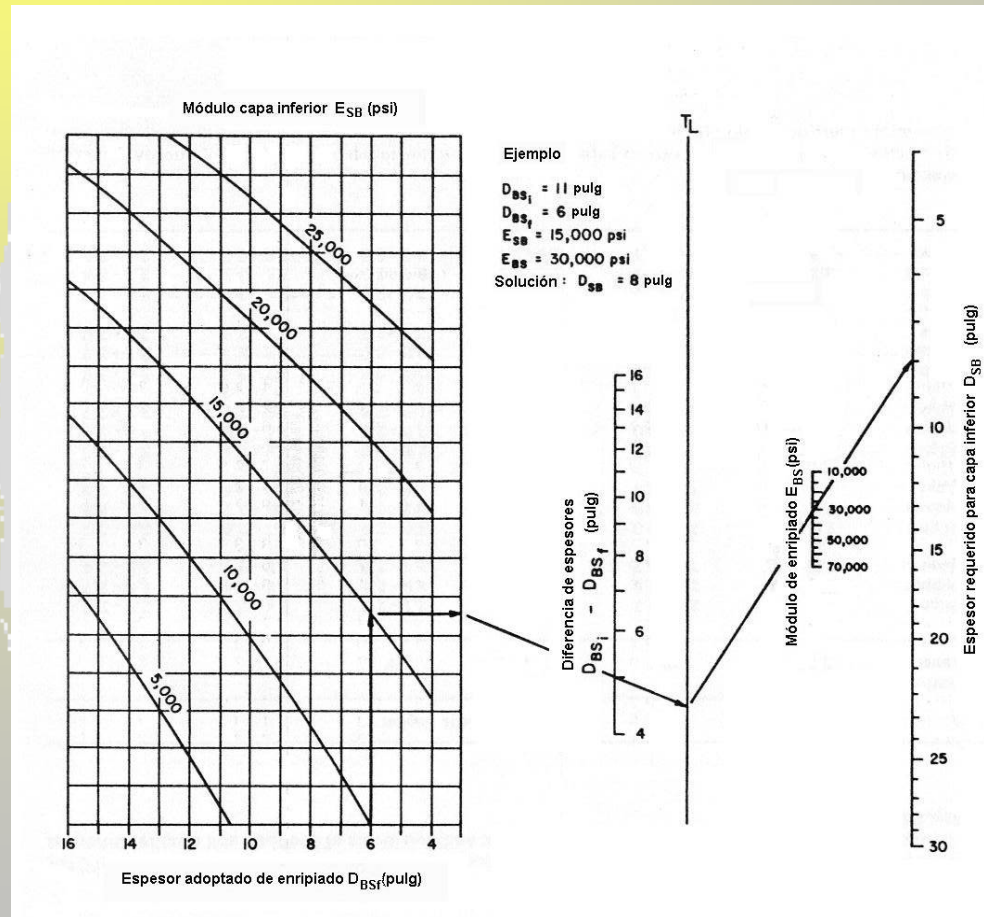
Adopción de espesores



Ábaco para diseño de enripiados mediante criterio de ahuellamiento máximo..

Dimensionado

Adopción de espesores



Ábaco para determinación de espesor de capa inferior de enripiados.

Dimensionado

Pérdida de material

Causas: tránsito y tareas de mantenimiento

Fórmulas empíricas propuestas por Guía AASHTO '86:

$$GL = 0,12 + 0,1223 LT$$

Donde:

GL= pérdida total de agregados (pulgadas).

LT= número de camiones cargados ($\times 10^3$).

Dimensionado

Pérdida de material

$$GL = \frac{\left(\frac{B}{25,4} \right)}{\left(0,0045 LADT + \frac{3380,6}{R} + 0,467 G \right)}$$

Donde:

GL= pérdida de agregados (pulgadas) durante el período considerado.

B= número de perfilados durante el período considerado.

LADT= tránsito medio diario anual en la trocha de diseño.

R= radio medio de las curvas, en pies.

G= valor absoluto de la pendiente longitudinal, en %.

Dimensionado

Pérdida de material

Fórmula de Patterson (HDM III):

$$MLA = 3,65 (3,46 + 0,246 MMP RF + KT ADT)$$

Donde:

MLA= pérdida de agregados (mm/año).

RF= ondulación o “serrucho” de la calzada (m/Km).

ADT= tránsito medio diario en ambas direcciones (Veh/día).

KT= coeficiente de pérdida de agregados debido al tránsito, función de la lluvia, geometría de la calzada y características de materiales.

Dimensionado

Pérdida de material

Fórmula de Patterson (HDM III):

$$KT = Máx \left[0; \left(0,022 + 0,969 \frac{C}{57300} + 0,00342 MMP P075 - 0,0092 MMP IP - 0,101 MMP \right) \right]$$

Donde:

C= curvatura horizontal media de la calzada (°/Km)

MMP= precipitación media mensual (m/mes).

P075= % PTN°200 del material de enripiado.

IP= índice de plasticidad del material de enripiado (%).

Dimensionado

Pérdida de material

Determinación de la pérdida de material para el enripiado a diseñar.

PTN°200 enripiado (%)	3 (1)
IP enripiado (%)	10 (1)
Promedio prec mensual (m)	0,023 (2)
Curvatura media horizontal (°/Km)	0 (3)
KT	0,018
ADT (Veh/día)	102 (4)
RF (m/Km)	8,87 (5)
MLA (mm/año)	19,4
Pérdida total (pulg)	0,8

(1) Ver Tabla 2.

(2) Ver Tabla 5.

(3) La curvatura es muy pequeña.

(4) Promedio entre 57 veh/día (tránsito inicial) y $76(1+3,5/100)^{(20-1)}$ (Ver Tabla 3).

(5) A modo simplificado, RF se asimila al IRI y de acuerdo a la expresión: $PSR = 5e^{(-0,0041IRI)}$

Dimensionado

Pérdida de material

Pérdida de 0,8 pulg por año → Incremento de espesor de enripiado a colocar:

$$\Delta D = 0,5 GL$$

Donde:

ΔD = incremento de espesor para compensar pérdida de agregados.

GL = pérdida de agregados.

Si hay tareas de mantenimiento anuales: agregar $0,5 \times 0,8 = 0,4$ pulg = 10 mm

Dimensionado

Dimensionado para CBR= 4%

Accesos a Cabo Vírgenes y a Pingüinera

Paquete	CBR (%)=	4							
W18	10192	ESALs							
Δ PSI	2,6								
Ahuellamiento máx (pulg)	2,5								
Espesor total (pulg)	7,5						Adoptado (pulg)	Adoptado (cm)	
Espesor enripiado (pulg)	5,5	MR (psi)	30000		Espesor necesario (pulg)	5,9	6,0	15,0	
Espesor suelo seleccionado (pulg)	6,0	MR (psi)	9500				6,0	15,0	
		Subrasante	Enripiado	Δ PSI		Ahuellamiento			
	W18	MR (psi)	MR (psi)	W18 adm	Daño	W18 adm	Daño		
Enero-Mayo Octubre-Diciembre	6795	5000	30000	11000	0,62	24000	0,28		
Junio-Julio	1699	10000	30000	50000	0,03	53000	0,03		
Agosto	849	2000	30000	4500	0,19	9000	0,09		
Septiembre	849	3500	30000	6700	0,13	17000	0,05		
			Consumo de fatiga		0,97		0,46		

Dimensionado

Dimensionado para CBR= 20%

Accesos a Cementerio

Paquete	CBR (%)=	20							
W18	10192	ESALs							
Δ PSI	2,99								
Ahuellamiento máx (pulg)	2,5								
Espesor total (pulg)	5,5						Adoptado (pulg)	Adoptado (cm)	
Espesor enripiado (pulg)	5,5	MR (psi)	30000		Espesor necesario (pulg)	5,9	6,0	15,0	
Espesor suelo seleccionado (pulg)	0,0	MR (psi)	9500				0,0	0,0	
		Subrasante	Enripiado	Δ PSI		Ahuellamiento			
	W18	MR (psi)	MR (psi)	W18 adm	Daño	W18 adm	Daño		
Enero-Mayo, Octubre-Diciembre	6795	15000	30000	105000	0,06	32000	0,21		
Junio-Julio	1699	30000	30000	1000000	0,00	70000	0,02		
Agosto	849	7500	30000	12000	0,07	16000	0,05		
Septiembre	849	11300	30000	41000	0,02	23000	0,04		
				Total	0,16		0,33		

Conclusiones

- Se ha empleado un método empírico para diseño de enripiados en rutas de bajo tránsito, que ha sido probado en otros lugares del mundo.
- El resultado del diseño da espesores razonables.
- Se dispone de una buena subbase ($\text{CBR} \geq 60\%$) con una capa de transición para el caso de subrasantes finas, para una posterior construcción de un pavimento, si los requerimientos de tránsito futuro así lo requieren. En este caso es recomendable colocar por encima del enripiado, una base de tipo drenante, dado que por la presencia de finos, el enripiado tiene características drenantes pobres.
- Debería hacerse un seguimiento de la evolución de la pérdida de material de enripiado dado que la zona se caracteriza por poseer un clima con ciclos de congelamiento y deshielo, y la expresión utilizada debida a Patterson no tiene en cuenta este fenómeno. Con un buen seguimiento de la pérdida de material, dicha expresión podría calibrarse para casos de clima frío.