

3º CONGRESO PARAGUAYO DE VIALIDAD Y TRANSITO

Presentación de Trabajo Técnico

“Diseño de Pavimento sobre caminos empedrados. Estimación del Módulo de la capa empedrada mediante la medición de deflexiones”

Diseño Estructural de Pavimentos

Autor

Ing. MSc. Nelson Figueredo Kamm

nelsonkamm@gmail.com

CONTENIDO

Introducción	3
Métodos de Diseño de Pavimentos	3
Diseño con el método AASHTO 93.....	3
Diseño con métodos Mecanicistas	4
Consideraciones sobre El Empedrado	5
Comportamiento Estructural Comparado	5
Experiencias Locales	7
El concepto de falla.....	8
Metodología Aplicada para la estimación de modulos	10
Proyecto de Mejoramiento del Corredor de Exportación.....	10
Tramo Natalio – Rio Tembey.....	10
Tramo Pte. Franco – Cedrales.....	13
Otras Experiencias Recientes	15
Tramo San Cristobal – Naranjal – Ruta 6	15
Verificación del diseño estructural por el Método Mecánico	16
Conclusiones y Recomendaciones	21

INTRODUCCIÓN

La presente ponencia se enmarca dentro del área del Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles, específicamente para pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito, con el título de “Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles con Empedrado”.

Sabido es que, muchas de las rutas de la red vial de Paraguay están pavimentadas con pavimento tipo Empedrado, según datos recientes del MOPC, se tienen aproximadamente 1.300 Km de empedrado, ver cuadro siguiente:

RESUMEN DE LA RED VIAL DEL PAIS									
31/12/2017		Total Red Inventariada a Nivel Pais (Km.):							75.120,00
TIPO DE RED	TIPO DE SUPERFICIE								TOTALES POR TIPO DE RED(km)
	PAVIMENTADA(km)						NO PAVIMENTADA(km)		
	PCA	TRAT. SUPERF.	H°CP	ADOQUINADO	EMPEDRADO	EMPEDRADO/ENRIPIADO	ENRIPIADO	TIERRA	
NACIONAL(km)	2.992,00	207,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	402,00	3.616,00
DEPARTAMENTAL (km)	3.127,00	369,00	0,00	26,00	656,00	252,00	197,00	9.211,00	13.838,00
VECINAL(km)	73,00	0,00	0,00	0,00	633,00	79,00	696,00	56.183,00	57.664,00
TOTALES POR TIPO DE SUPERFICIE(km)	6.192,00	576,00	15,00	26,00	1.289,00	331,00	895,00	65.796,00	75.120,00
%	8,24	0,77	0,02	0,03	1,72	0,44	1,19	87,59	100,00
PAVIMENTADA ASFALTICA(km)OTROS	6.768,00		1.661,00				66.691,00		75.120,00
%	9,01		2,21				88,78		100,00
%	11,22			88,78			75.120,00		75.120,00
%	100,00						75.120,00		75.120,00

Si bien este tipo de pavimento tiene sus desventajas técnicas, debemos asumir como un hecho la existencia de muchos caminos de todo tiempo con este tipo de superficie, y que han sido construidos con criterio de economía y como una solución para una mejora progresiva, ya que el mismo puede ser utilizado como capa de rodadura en un inicio, para luego ejecutar un pavimento de tipo superior, pasando a integrar la base o sub base.

Muchos de estos pavimentos Empedrados han sido mejorados mediante un refuerzo con carpeta de rodadura de concreto asfáltico, mejorando substancialmente su transitabilidad y confort.

MÉTODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS

Se ha abordado la problemática del Empedrado considerando los métodos de diseño mas utilizados en el Paraguay y recomendadas por el Manual de Carreteras.

DISEÑO CON EL MÉTODO AASHTO 93

A la hora de realizar los diseños que involucran pavimentos tipo empedrado, nos encontramos con la dificultad de poder caracterizar la capa desde el punto de vista estructural.

En la Guía de Diseño de Pavimentos Flexibles AASHTO 93 podemos encontrar como asignar coeficientes estructurales a diferentes capas y tipos de materiales, ya sean granulares, cementados y capas asfálticas, todos ellos como producto de las investigaciones en Pistas de Prueba realizados con diferentes tipos de materiales.

Sin embargo, las pistas de prueba no incluyeron capas con pavimento tipo empedrado, en consecuencia, la Guía de Diseño no incluye este tipo de material entre las alternativas, por lo que no se cuenta con procedimientos o rangos para calcular el coeficiente estructural a ser aplicado a la capa tipo Empedrado.

El Manual de Carreteras de Paraguay, para condiciones normales de diseño, con las especificaciones de construcción habituales, recomienda adoptar los coeficientes estructurales indicados en la siguiente tabla:

TABLA 13_1 COEFICIENTES ESTRUCTURALES PARA LAS CAPAS DE PAVIMENTO

CAPA	CARACTERÍSTICAS	COEFICIENTE ESTRUCTURAL
Subbase Granular	CBR = 40%	0,12
Base Granular	CBR = 80%	0,13
Base Asfáltica Grad. Gruesa	6.000 N	0,33
Base Asfáltica Grad. Abierta		0,28
Grava-emulsión		0,30
C. Asfáltico, Capa Interm.	8.000 N	0,41
C. Asfáltico de Superficie	9.000 N	0,43
Mezclas drenantes		0,32
Microaglomerado discontinuo en caliente		0,40
Mezcla SMA (Stone Mastic Asphalt)		0,43

DISEÑO CON MÉTODOS MECANICISTAS

El Método Mecánico – Empírico está basado en el comportamiento de los materiales componentes de las diferentes capas del pavimento.

En los métodos de diseño mecánico – empíricos, las propiedades de los materiales deben ser determinados, de manera que las respuestas del pavimento, tales como tensiones, deformaciones y desplazamientos puedan ser calculadas en sus componentes críticos. Dichas respuestas son luego utilizadas con el criterio de falla para predecir si esta ocurrirá, o la probabilidad de ocurrencia de la misma.

Consecuentemente, para un análisis Mecánico necesitamos estimar el comportamiento de la capa de empedrado y en especial el módulo elástico.

Debido a que en nuestro medio no se cuentan con equipos para la medición del módulo resiliente, se utilizan correlaciones para estimar el módulo a partir del valor soporte CBR, sin embargo, esto no es aplicable a las capas de pavimento Empedrado.

Sin embargo, es posible obtener los módulos mediante el retrocálculo de las deflexiones obtenidas en la medición con un deflectómetro de impacto (FWD).

CONSIDERACIONES SOBRE EL EMPEDRADO

COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL COMPARADO

En varios países de la región se aplica el término de empedrado a un pavimento ejecutado con adoquines de piedra natural cortados o labrados en forma de paralelepípedo. En nuestro país ese tipo de pavimento se denomina comúnmente adoquinado.

En Paraguay el empedrado se ejecuta generalmente con piedra bruta maceada de forma irregular y que son colocadas sobre un colchón de arena con la cara más ancha hacia arriba, de manera a generar una superficie que sirva como capa de rodadura.



Pavimento con Adoquines de Piedra



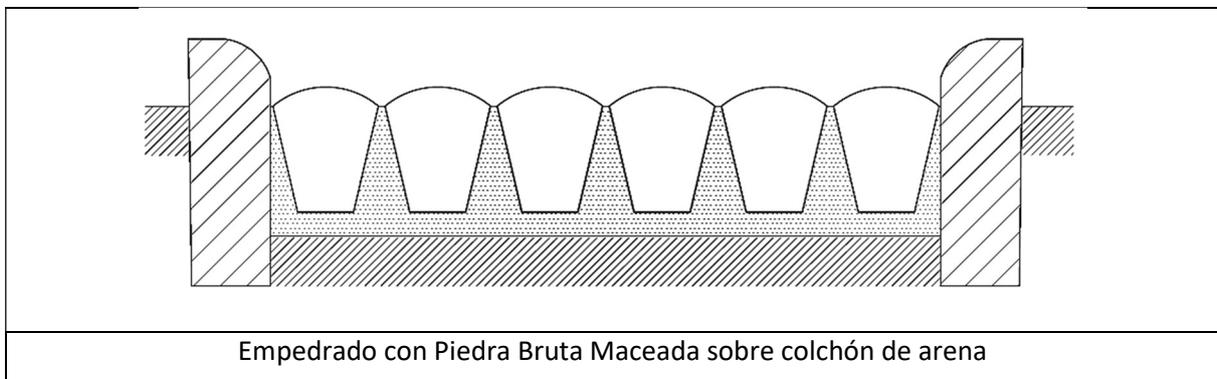
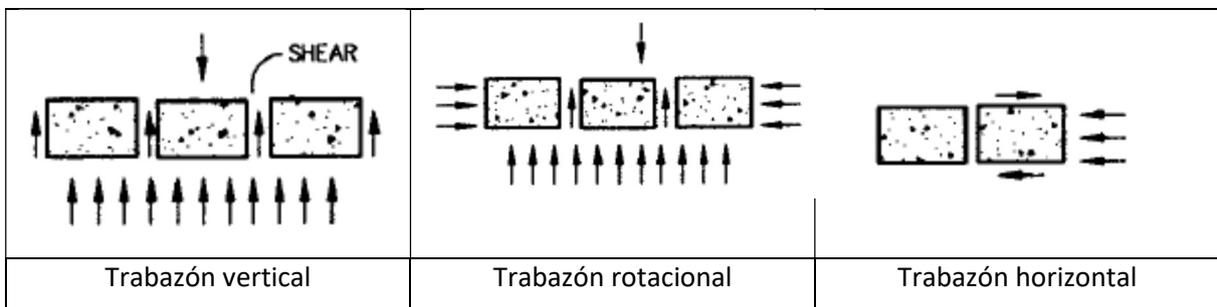
Pavimento con Empedrado



Materiales para empedrado con adoquines



Materiales para empedrado con piedra maceada



El comportamiento estructural es diferente para el caso del pavimento con adoquines de piedra y los ejecutados con piedra bruta maceada.

En el primer caso, se puede asimilar al comportamiento de los pavimentos de Adoquines Intertrabados de hormigón con caras verticales paralelas, alcanzando módulos mayores a 3000 Mpa.

Por lo arriba expuesto, las metodologías de diseño para Pavimentos Intertrabados no son aplicables a los pavimentos empedrados.

EXPERIENCIAS LOCALES

En el Paraguay, la pavimentación con empedrado siempre ha sido una alternativa económica para caminos de todo tiempo y como una solución para una mejora progresiva hacia un pavimento de tipo superior.

En la generalidad de los casos la mejora en los empedrados consistió en la aplicación de una carpeta de concreto asfáltico sobre el empedrado; esta mejora induce un aumento del tránsito que debe ser considerado en el análisis.

Como se ha mencionado, ante la ausencia de una metodología aplicable al empedrado, los refuerzos de concreto asfáltico se han dimensionado en forma empírica, dando como resultado fallas en los pavimentos por insuficiencia de capacidad soporte de la estructura.

Entre algunos ejemplos, mencionamos la continuación de la Avenida Mcal. Lopez que une Asunción con San Lorenzo, con una estructura de empedrado mas concreto asfáltico con sucesivos recapados. A pesar que existe la prohibición de circulación de camiones de carga, la misma presenta fallas estructurales de fisuras tipo piel de cocodrilo y ahuellamiento por arriba de la tolerancia.



Continuación de la avenida Mcal. Lopez con fisuras estructurales en todo el tramo



Continuación de la avenida Mcal. Lopez con ahuellamiento mayor a 20 mm

Se debe tener en cuenta que el procedimiento constructivo del empedrado es totalmente artesanal y no se dispone de una metodología de control de calidad que incluya ensayos medibles y con trazabilidad del proceso.

EL CONCEPTO DE FALLA

En los métodos de diseño de pavimentos mecanísticos, se establecen ciertos criterios de falla, cada uno de ellos relacionado con un tipo específico de deterioro. Contrariamente al método AASHTO, que utiliza el concepto de Índice de Serviceabilidad para indicar la condición general del pavimento.

A continuación se describen los criterios de falla en pavimentos flexibles:

Agrietamiento por fatiga: Las fisuras por fatiga en los pavimentos flexibles son debidas a las tensiones horizontales en la base de la capa asfáltica. El criterio de falla relaciona un cierto número de repeticiones de carga admisible con la deformación por tensión.

Ahuellamiento: El ahuellamiento es exclusivo de los pavimentos flexibles, debido a la deformación permanente o hundimiento a lo largo de la huella, limitándose a una profundidad tolerable, por ejemplo 1,25 mm.



Agrietamiento por fatiga



Ahuellamiento

La “metodología” empírica para el diseño de carpetas de concreto asfáltico se basan exclusivamente en la hipótesis de que si el empedrado se ha mantenido estable ante el tránsito durante muchos años, significa que su capacidad soporte es suficiente para ser utilizada como base para una capa de rodadura asfáltica.

Sin embargo, según la percepción del usuario, el umbral de falla y la tolerancia es mucho mayor que en los pavimentos con carpeta asfáltica, de manera que pavimentos empedrados con deformaciones mayores a los límites tolerables para pavimentos asfálticos, son considerados que están en buen estado o aceptables.

Esto debido a que con una deformación sin mucho desplazamiento, las piedras componentes del empedrado se reacomodan y siguen siendo transitables.



Fallas en los empedrados

Esta percepción del umbral de falla del pavimento empedrado, sugiere que estando aceptable en la condición actual, con la adición de una carpeta de concreto asfáltico estaría satisfaciendo el número estructural o capacidad soporte para el tránsito previsto.

De esta manera, y con el criterio de falla mencionado, una capa de empedrado sobre suelo seleccionado es un paquete estructuralmente aceptable; pero al agregar la carpeta cambia el criterio de falla, siendo el paquete estructuralmente insuficiente.

METODOLOGÍA APLICADA PARA LA ESTIMACIÓN DE MODULOS

A efectos de la estimación del Módulo de Diseño para Pavimentos flexibles que incluyen capas de Empedrado se han realizado mediciones de las deflexiones en varios tramos con empedrados. A partir del resultado de las deflexiones se procedió a la estimación de los módulos mediante el retrocálculo.

PROYECTO DE MEJORAMIENTO DEL CORREDOR DE EXPORTACIÓN

TRAMO NATALIO – RIO TEMBEY

El Tramo Natalio – Rio Tembey correspondiente al Proyecto de Corredores de Exportación es un tramo con pavimento tipo empedrado, la superficie este tipo de pavimento no es apta para tomar las mediciones de las deflexiones con el FWD.

La metodología incluyó la preparación de la superficie con una regularización asfáltica con un mínimo espesor para lograr la regularidad superficial con las dimensiones que requiere el equipo para su operación.

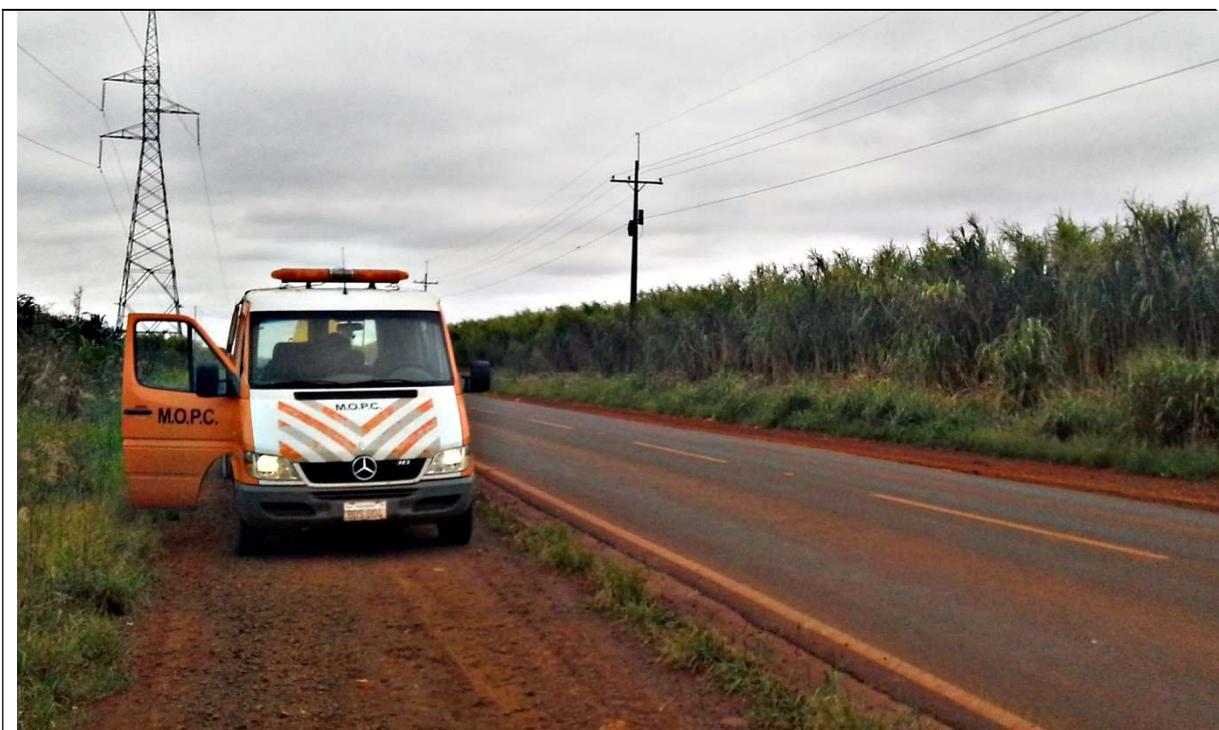
Primeramente se procedió a la selección de los puntos donde realizar las mediciones, considerando lugares representativos; luego se procedió a realizar una regularización asfáltica.



Preparación de la superficie para la medición de las deflexiones – Tramo Natalio – Río Tembey



Preparación de la superficie para la medición de las deflexiones – Tramo Natalio – Río Tembey



Móvil del deflectómetro de Impacto FWD del MOPC

La medición de las deflexiones fue realizada con equipo y personal del MOPC, con un deflectómetro de impacto FWD marca KUAB con un plato de carga de 15 cm de diámetro, utilizándose una carga promedio de 4600 kg (45 kn).

Los resultados de las mediciones se resume en el siguiente cuadro:

Dist. (m)	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	Modulos Empedrado
270	534	345	227	142	97	61	56	440
2.829	416	225	151	96	72	54	48	452
5.218	499	300	179	115	91	67	15	396
10.067	666	397	386	130	91	61	16	360
10.911	459	307	200	143	112	81	63	580
14.242	712	347	208	129	92	64	46	209
Promedio	548	320	225	126	93	65	41	406
Maximo	712	397	386	143	112	81	63	580
Minimo	416	225	151	96	72	54	15	209
Percentil 90	689	372	307	143	105	74	60	285

Los valores de módulos calculados tienen un rango muy amplio debido a la ejecución artesanal y falta de controles de calidad estandarizados.

Para el Retrocálculo de los Módulos se utilizó el Programa **BackViDe – IMAE**, para modelización, diseño y verificación de pavimentos. Permite el ajuste de los módulos y/o ecuaciones constitutivas de las distintas capas de una estructura vial, en base a la medición de deformaciones en superficie o mediante características de los materiales. A continuación se muestra un ejemplo de cálculo de los módulos:

Resultados del Retroajuste modular

Observaciones al ajuste

Número de iteraciones **48**, Convergencia de módulos,

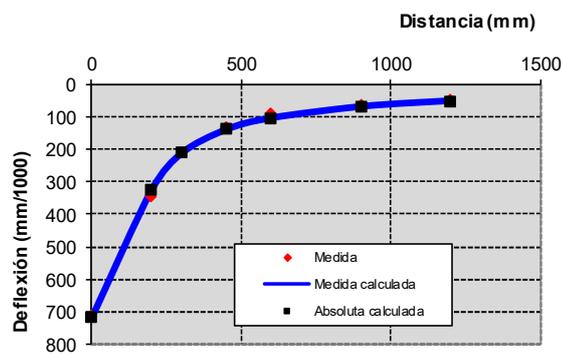
Tipo de medición de la deformada

ABSOLUTA FWD

Distancia(mm)	Deformada (mm/1000)							Radio Curv 0 (m)
	0	200	300	450	600	900	1200	
Medida	712	347	208	129	92	64	46	55
Calculada	716	325	212	139	104	69	51	51
Error	4	22	4	10	12	5	5	Eprom 8,9

Eprom Caso anterior	10,4
------------------------	------

Estructura	Tipo de Capa	Espesor (mm)	Módulo (MPa)
	Asfáltica CA	10	8000
	Bloques Articulados	200	209
	Subrasante		171



TRAMO PTE. FRANCO – CEDRALES

En el tramo Cedrales – Pte. Franco se tiene un pavimento con un paquete estructural consistente en un empedrado con carpeta de concreto asfáltico en regular estado. A efectos de la evaluación del pavimento existente se realizaron estudios de deflectometría con el equipo FWD a cargo del MOPC en fecha 25 de noviembre de 2011.



Medición de las deflexiones en el tramo Pte. Franco - Cedrales

La medición de las deflexiones fue realizada con equipo y personal del MOPC, con un deflectómetro de impacto FWD marca KUAB con un plato de carga de 15 cm de diámetro, utilizándose una carga promedio de 4600 kg (45 kn).

Los resultados de las mediciones se resumen en los siguientes cuadros para las mediciones realizadas en el sentido ascendente y descendente de las progresivas:

Dist. (m)	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	Modulos Empedrado
250	268	197	152	105	72	41	32	
506	236	162	122	84	57	38	32	396
750	241	182	149	112	85	56	47	530
1.000	262	196	159	115	84	56	46	367
1.250	258	181	132	85	60	43	37	282
1.498	215	135	97	64	41	28	25	600
1.751	281	211	166	119	84	52	43	246
1.997	255	194	160	123	92	59	47	429
2.249	246	193	162	127	98	66	54	574
2.494	251	193	161	123	94	63	52	524
2.716	311	223	175	127	94	59	49	325
Promedio	257	188	149	108	78	51	42	427
Maximo	311	223	175	127	98	66	54	600
Minimo	215	135	97	64	41	28	25	246
Percentil 90	281	211	166	127	94	63	52	278

Dist. (m)	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	Modulos Empedrado
2.700	353	248	186	124	89	59	50	219
2.576	224	168	139	107	82	58	49	600
2.322	278	210	171	125	91	57	45	280
2.074	233	174	140	103	75	50	41	424
1.821	240	176	141	104	78	51	39	459
1.571	208	149	116	82	60	38	32	498
1.326	214	144	107	73	51	34	30	600
1.074	239	176	145	109	83	56	45	600
825	274	190	153	113	84	56	44	529
574	254	179	137	95	65	45	39	343
320	263	186	143	95	63	36	29	
77	261	189	151	106	75	48	38	287
-	265	189	153	106	77	50	40	331
Promedio	254	183	145	103	75	49	40	431
Maximo	353	248	186	125	91	59	50	600
Minimo	208	144	107	73	51	34	29	219
Percentil 90	277	206	167	122	88	58	48	281

Para el Retrocálculo de los Módulos se utilizó el Programa **BackViDe – IMAE**, para modelización, diseño y verificación de pavimentos. Permite el ajuste de los módulos y/o ecuaciones constitutivas de las distintas capas de una estructura vial, en base a la medición de deformaciones en superficie o mediante características de los materiales. A continuación se muestra un ejemplo de cálculo de los módulos:

Resultados del Retroajuste modular

Observaciones al ajuste

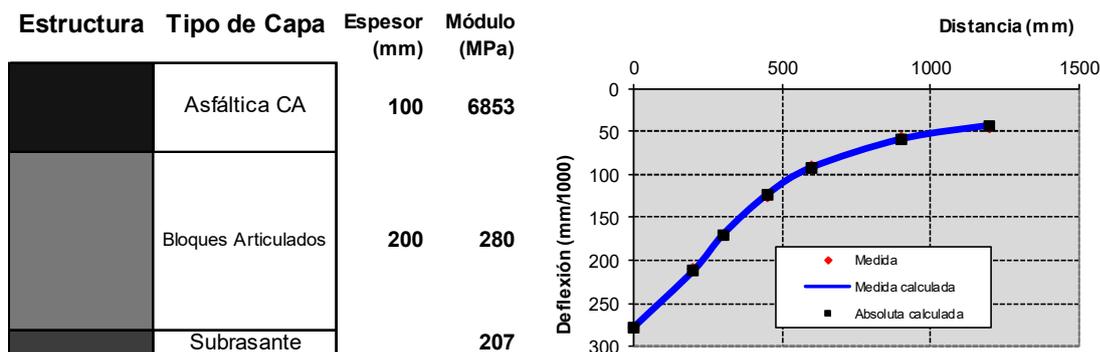
Número de iteraciones 8, Convergencia de módulos,

Tipo de medición de la deformada

ABSOLUTA FWD

Distancia(mm)	Deformada (mm/1000)							Radio Curv	
	0	200	300	450	600	900	1200	0 (m)	
Medida	278	210	171	125	91	57	45		294
Calculada	278	212	170	123	92	59	43		303
Error	0	2	1	2	1	2	2		Eprom 1,4

Eprom
Caso
anterior
1,4



OTRAS EXPERIENCIAS RECIENTES

TRAMO SAN CRISTOBAL – NARANJAL – RUTA 6

En la obra del tramo mencionado a cargo del Consorcio Concret Mix y Asociados, la contratista ha presentado un Informe de Evaluación Modular de la capa de Empedrado Existente, en la cual se justifica el diseño de pavimento en los tramos con empedrado existente. El Informe fue elaborado por la Empresa PEE SA.

A efectos de la evaluación de la capacidad soporte de los tramos con empedrado existente, el MOPC ha realizado ensayos de deflectometría FWD el día miércoles 06 de junio de 2018, con el deflectómetro de impacto KUAB.

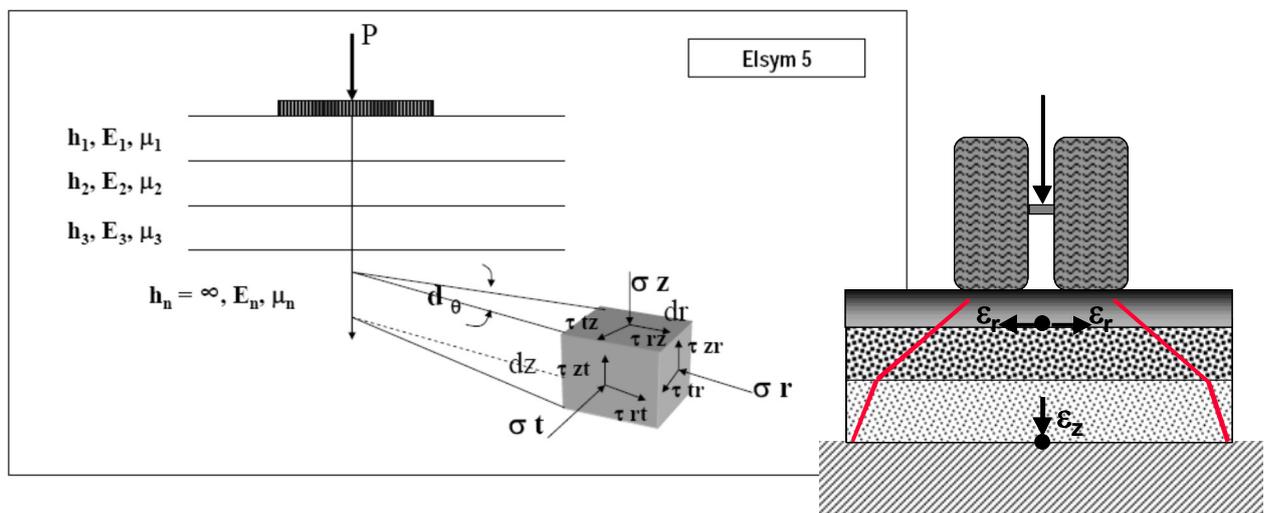
De acuerdo al Informe “Del análisis de los resultados se desprenden que la estructura presenta heterogeneidad en los diferentes tramos medidos. De todas formas, en todos los casos estudiados, el módulo promedio de la capa de empedrado supera los 250 MPa.”

La solución técnica para los sectores con empedrado existente, consiste en una base granular con CBR 100% de espesor variable sobre la capa del empedrado y una carpeta de espesor mínimo de 6 cm.

Capas	Espesor (cm)
Carpeta de CA	6
Base Granular Estabilizada (CBR ≥ 10%)	16
Sub Base Granular de regularización (CBR ≥ 80%)	Variable 9 - 14
Empedrado existente	15 a 18
Terraplén (CBR ≥ 5%)	

VERIFICACIÓN DEL DISEÑO ESTRUCTURAL POR EL MÉTODO MECANÍSTICO

El Método Mecánico – Empírico está basado en el comportamiento de los materiales componentes de las diferentes capas del pavimento. El análisis estructural asume una relación elástica lineal, considerando un sistema multicapas cuya respuesta a las cargas es calculada en términos de deformaciones y tensiones en las posiciones más críticas para la estructura. Las posiciones críticas son determinadas de acuerdo al tipo de materiales utilizados en cada capa de la estructura del pavimento.



La obtención de los valores de las tensiones y deformaciones se realiza con programas informáticos basados en el cálculo de un sistema multicapa (ELSYM 5). La caracterización de los materiales incluye el espesor de las capas, y las características de elasticidad de cada capa en la estructura del pavimento.

Los parámetros de respuesta del pavimento a las tensiones críticas sirven de datos de entrada a las ecuaciones de transferencia aplicables a cada tipo de material en particular y tipo de falla. Las funciones de transferencia relacionan las condiciones de tensión – deformación con el número de repeticiones de carga que puede resistir bajo esas condiciones antes de alcanzar un modo de falla específico.

La referencia bibliográfica utilizada es la siguiente:

**South African Pavement Engineering Manual
Chapter 10: Pavement Design**

© 2013 South African National Roads Agency Ltd. All rights reserved.

En la figura siguiente se detallan los principales componentes del método de diseño Empírico – Mecanicista.

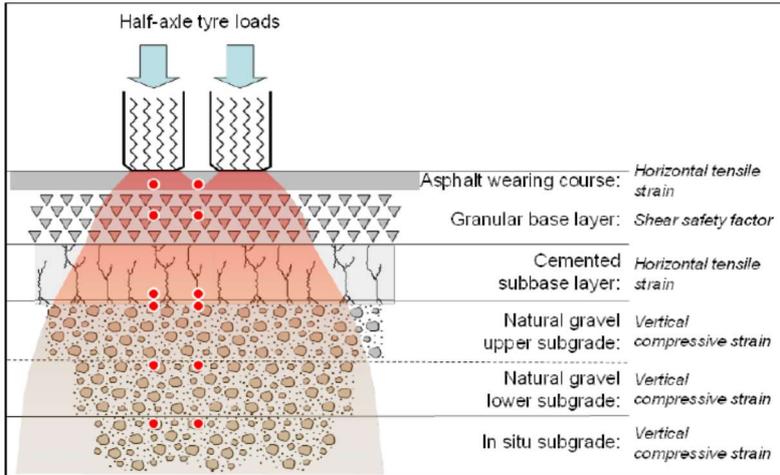
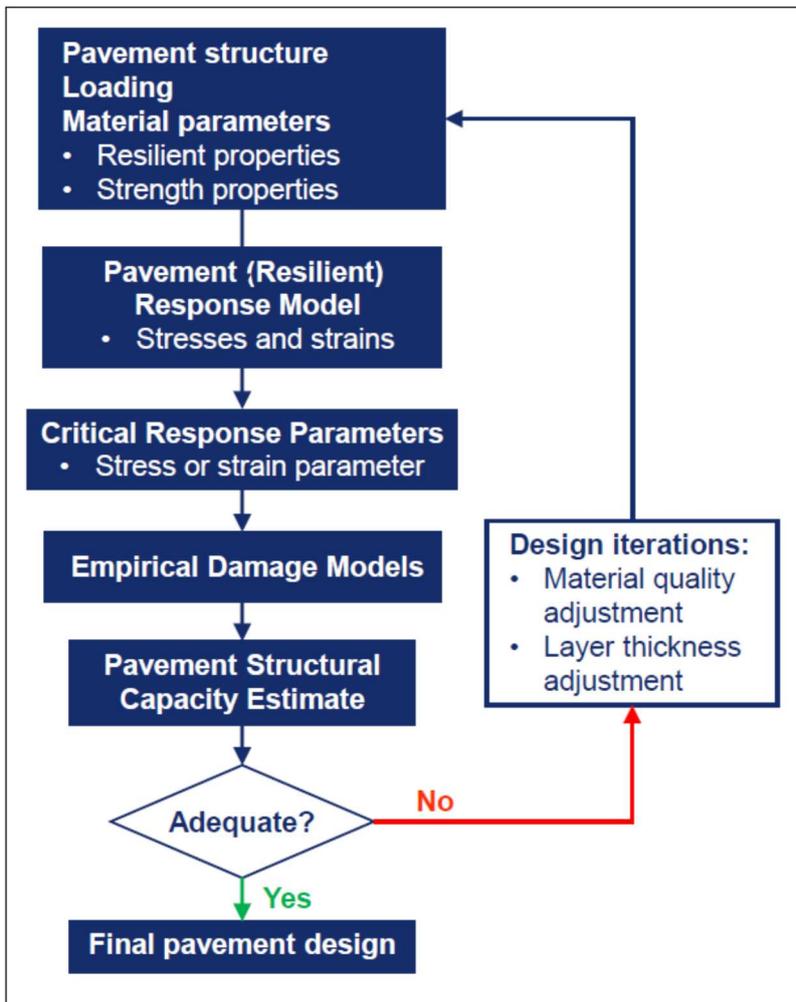


Figure 35. Analysis Positions for Critical Parameters



Ecuaciones de Transferencia de las capas asfálticas

La ecuaciones de transferencia para capas asfálticas se detallan en el siguiente cuadro:

$N_f = 10^{\alpha \left(1 - \frac{\log \epsilon_t}{\beta}\right)} \quad (18)$											
<p>Where N_f = Fatigue life α, β = Constants, values shown below ϵ_t = Horizontal tensile strain at bottom of asphalt layer</p>											
Thin Surfacing (< 50 mm)											
Reliability Level (Category)	Continuously Graded					Gap-graded					
	α		β			α		β			
95% (A)	17.40		3.40			15.79		3.705			
90% (B)	17.46		3.41			15.85		3.719			
80% (C)	17.54		3.42			16.93		3.736			
50% (D)	17.71		3.46			16.09		3.774			
Thick Asphalt Bases (> 75 mm)											
Reliability Level (Category)	Asphalt Stiffness (MPa)										
	1000		2000		3000		5000		8000		
	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	
95% (A)	16.44	3.378	16.09	3.357	15.78	3.334	15.52	3.317	15.086	3.227	
90% (B)	16.81	3.453	16.43	3.428	16.11	3.403	15.73	3.362	15.296	3.272	
80% (C)	17.25	3.543	16.71	3.487	16.26	3.435	15.83	3.383	15.390	3.291	
50% (D)	17.87	3.671	17.17	3.583	16.68	3.524	16.10	3.441	15.650	3.346	
Shift Factor for Crack Propagation											
If thickness of layer < 25 mm					SF = 1						(19)
If thickness of layer ≥ 25 mm					SF = 0.0489 • t – 0.2225						
<p>Where t = Layer thickness in mm</p>											

Ecuaciones de Transferencia para la subrasante

La ecuaciones de transferencia para la subrasante para deformación permanente de 10 y 20 mm se detallan en el siguiente cuadro:

Permanent Deformation		
$N_{PD} = 10^{(a - 10 \log \epsilon_v)} \quad (25)$		
<p>where N_{PD} = Standard axles to set level of permanent deformation ϵ_v = Vertical compressive strain at top of layer a = Constant, given below</p>		
Constants		
Reliability Level	A	
	10 mm Terminal Rut Depth	20 mm Terminal Rut Depth
95% (Category A)	33.70	36.70
90% (Category B)	33.47	36.47
80% (Category C)	33.38	36.38
50% (Category D)	33.30	36.30

Módulo Elástico de las capas asfálticas

Ante la dificultad de obtener los valores de los módulos elásticos por ensayos directos de laboratorio en nuestro medio, adoptamos valores recomendados en base a estudios estadísticos. Adoptamos los valores de la tabla de valores de módulos elásticos para capas asfálticas (Freeme)

Table 27. Elastic Moduli for Asphalt Materials used in SAMDM 1996

Code	Depth (d) Below Surface (mm)	Modulus (MPa)
AG ¹	≤ 50	3000
BC ²	≤ 100	4000
	100 < d ≤ 150	5000
	150 < d ≤ 200	6000
	200 < d ≤ 250	7000

Notes

1. Gap graded asphalt surfacing, as defined in TRH14 (1985)
2. Continuously graded hot mix asphalt, as defined in TRH14 (1985)

Módulo Elástico de las Capas Granulares

Ante la dificultad de obtener los valores de los módulos elásticos por ensayos directos de laboratorio en nuestro país, se adoptan valores recomendados en las siguientes tablas de referencia:

Table 29. Elastic Moduli for Granular Materials

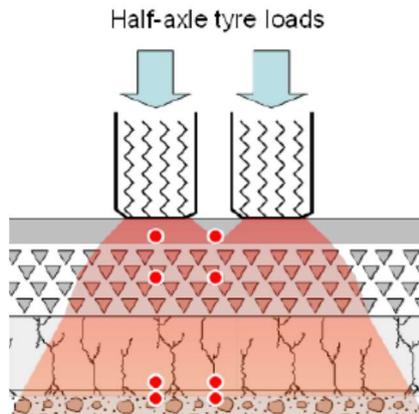
Material Code	Material Description	Elastic Modulus	
		Support Condition	
		Over Cemented	Over Granular
G1	High quality crushed stone	250 – 1000 (450) ¹	150 – 600 (300)
G2	Crushed stone	200 – 800 (400)	100 – 400 (250)
G3	Crushed stone	200 – 800 (350)	100 – 350 (250)
G4	Natural gravel (base quality)	100 – 600 (300)	75 – 350 (225)
G5	Natural gravel	50 – 400 (250)	40 – 300 (200)
G6	Natural gravel (subbase quality)	50 – 200 (225)	30 – 200 (150)
EG4	Equivalent granular, G5/G6 parent material	–	200 – 400 (300)
EG5	Equivalent granular, G7/G8 parent material	–	100 – 300 (200)
EG6	Equivalent granular, G9/G10 parent material	–	30 – 200 (140)

La base granular con CBR 100% corresponde a un material tipo G1, sobre una capa de sub base granular de suelo - agregado, se adopta un módulo elástico de 350 Mpa.

La sub base tipo empedrado se asume un m material tipo G2, en este caso sobre una capa de sub rasante mejorada de buen soporte, se adopta un módulo elástico de 250 Mpa.

Definición de las Cargas

Se adopta el Eje Estándar de 18.000 lbs, equivalente a 8.16 ton o 80 kN, eje simple, rueda doble con separación de 350 mm y presión de inflado de 520 kPa.



Verificación de la vida útil del pavimento

Considerando los espesores de cada paquete propuesto, y tomando los valores de los módulos adoptados para las diferentes capas, y la aplicación de una carga de rueda estándar, se introducen los datos en el programa informático ELSYM 5 el cual calcula las tensiones y deformaciones en todos los puntos del sistema multicapas; aplicando las ecuaciones de regresión (de fatiga) y nos da como resultado la duración de cada una de las capas en términos de ejes equivalentes.

Corredor de Exportación de la Región Oriental				
Opción 1 -Tramos M-1 sector con empedrado – Vida útil 10 años				
Layer	Capas	Espesores (mm)	Modulo Elástico (Mpa)	Vida útil capas (EE)
AC	Carpeta de Concreto Asfáltico	120	4500	4,295E+06
G1	Base Granular estabilizada	180	350	2,125E+13
G2	Subbase de Empedrado existente	180	250	1,000E+15
Soil	Terraplén + Capa mejorada		62	5,517E+07

El tránsito previsto para el tramo estudiado es el siguiente:

Sub Tramos	ESAL	
	10 años	20 años
M 1	4.122.761	10.431.838

Por tanto, la estructura verifica para el tránsito previsto para 10 años en ejes equivalentes.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El pavimento tipo empedrado tiene un comportamiento diferente al de los adoquines o bloques Intertrabados, por lo que no se recomienda aplicar los métodos de diseño para pavimentos Intertrabados al dimensionamiento de pavimentos empedrados.

Los valores de módulos calculados están dentro de un rango muy amplio debido a la ejecución artesanal y falta de controles de calidad estandarizados, por lo que se recomienda tomar valores conservadores en el diseño.

En el caso expuesto el módulo asumido para el diseño fue de 250 Mpa y para la verificación por el método AASHTO 93 se le asignó un coeficiente estructural de 0.12.

Estos valores podrían ser adoptados para el diseño en una primera aproximación, recomendándose la medición de los módulos y el retrocálculo en cada caso por la variabilidad encontrada.

Por lo arriba expuesto, para la pavimentación asfáltica de empedrados existentes, se recomienda considerar al empedrado como una sub base, e incluir una base granular estabilizada por debajo de la carpeta proyectada.