



---

ASOCIACIÓN PARAGUAYA DE CARRETERAS

■ CONGRESO PARAGUAYO

2do

# Vialidad y Tránsito

6 y 7 de Octubre 2016 | Encarnación  
EXPO VIAL | Paraguay



# Estudio Preliminar sobre Alternativas de Pavimentos Económicos en Paraguay

## ESTADO del ARTE y la PRACTICA

BAJO VOLUMEN DE TRANSITO – CAMINOS RURALES

FERNANDO PANIAGUA  
MSc Ingeniería y Gestión en la Construcción

# Motivación



Insight Report

## The Global Competitiveness Report 2016–2017

Klaus Schwab, World Economic Forum



↕↕ 2nd pillar: Infrastructure	122	2.6	—
2.01 Quality of overall infrastructure	130	2.4	—
2.02 Quality of roads	136	2.2	—
2.03 Quality of railroad infrastructure	N/Apl.	N/Apl.	
2.04 Quality of port infrastructure	108	3.1	—
2.05 Quality of air transport infrastructure	132	2.6	—
2.06 Available airline seat kilometers /100 pop.	113	29.7	—
2.07 Quality of electricity supply	115	2.9	—
2.08 Mobile-cellular telephone subscriptions /100 pop.	91	105.4	—
2.09 Fixed-telephone lines /100 pop.	102	5.5	—

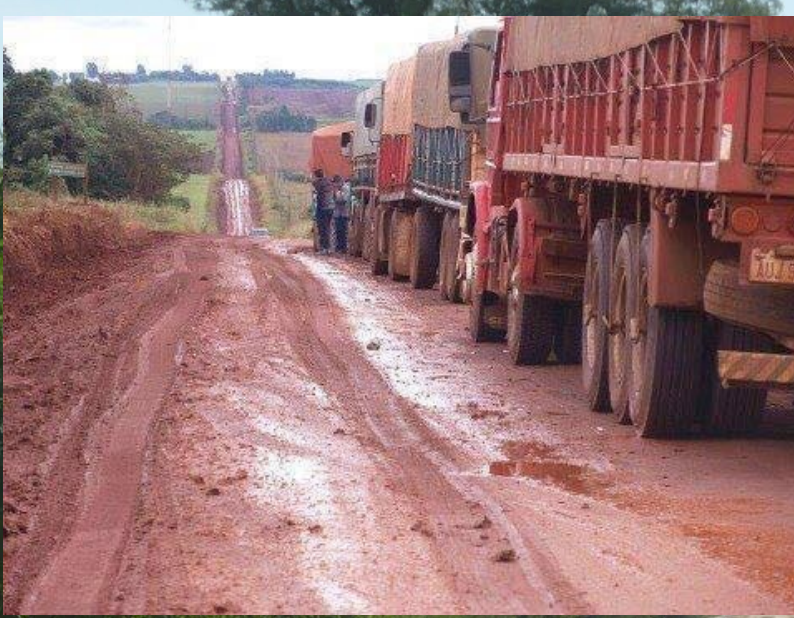


## CONTENIDO:

1. Contexto/ Problemática
2. Pavimento Tipo Empedrado (evolución de caminos en Py)
3. Ventajas / Desventajas
4. Alternativas de Caminos Económicos en Py (materiales)
5. Consideraciones para Diseño Estructural (diseño de pavimentos)
6. Conclusiones



# Problemática 1/3: intransibilidad (personas-productos)





## Problemática 2/3: Lluvias - seguridad vial



Fernando Paniagua



# Problematica 3/3: generacion polvo



Fernando Paniagua



# Caminos Py \_ Pavimento Económico

Asfalto

Tierra



# Ciclo de Vida Históricamente del Pavimento. Caso Py



1. Camino de acceso



2. Tierra con Mayor Transito



3. Empedrado



5. RUTA



4. Recapados/Empedrado





# El empedrado!

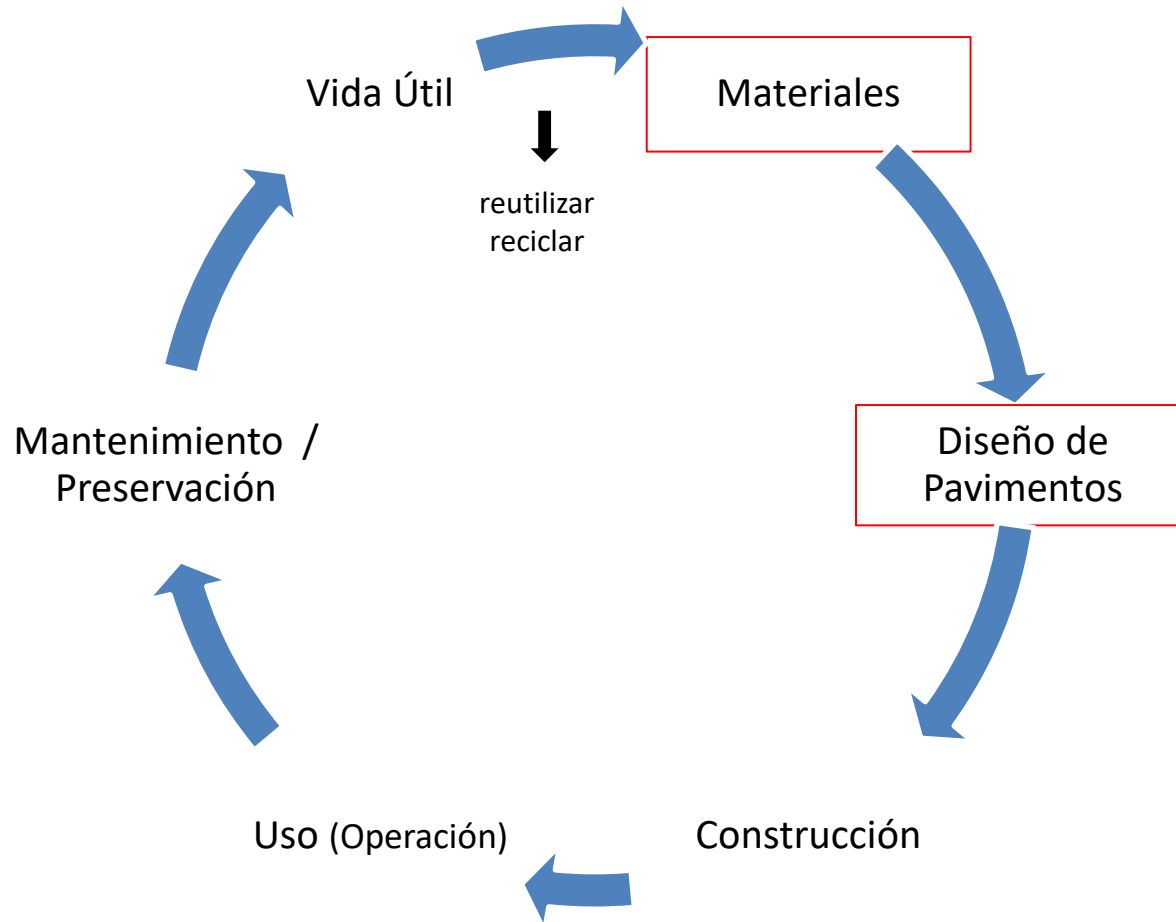
## *VENTAJAS - DESVENTAJAS*



- ❖ *Seguridad.... ok!*
- ❖ *Acceso y Movilidad ..... Ok! y no ok!*
- ❖ *Confort.... No ok!*
- ❖ *Tiempo de viaje.....!?*
- ❖ *Consumo/Economía.....!?*

*Sustentable!!! ... no se RECICLA*

# Ciclo de Vida del Pavimento (LCCA)



Evitando el enfoque  
"de la cuna a la tumba"





## Material es (LCC)

## Alternativas Tradicionales (Py)

### CASO 1: Adoquinado

Principalmente Municipios/Sur del País

- Resultados: buena cobertura/necesidad encajonamiento, subbase estable y sello de rendija adecuado
- Precio: 180-250 mil us\$/km





## Material es (LCC)

## Alternativas Tradicionales (Py)

Factor: 2-5 veces el plazo!

Causa: ?

Subestimación de plazo/  
mala adjudicación = incapacidad constructora





# Materiales (LCC)

## CASO 2: Macadam (hidráulico/bituminoso)

- Constructora EDB (san pedro-py)
- Resultados: ? Vieja técnica – vuelve aparecer
- Precio: ? Posible inconveniente con permeabilidad



# Alternativas Tradicionales (Py)



South African Pavement Engineering Manual  
Chapter 9: Materials Utilisation and Design

### 5. PAVEMENT LAYERS: CRUSHED STONE AND WATERBOUND MACADAM

Many base courses and some subbases consist of high quality crushed stone that provide a stiff, yet adequately flexible layer, to resist and spread the high stresses applied by traffic in the upper portions of the pavement structure. Crushed stone is also used for aggregate in asphalt, chip seals and concrete, and is increasingly being used for waterbound macadam layers. A typical illustration of crushed stone is given in Figure 21.

These are particularly useful for labour based projects, but have the added benefit of being less water sensitive than conventional compacted crushed stone layers.


-  Crushed Stone Layers
- Various aspects of crushed stone layers are discussed in:
- Chapter 2: Materials Testing, Section 3
  - Chapter 4: Standards, Section 3
  - Chapter 8: Material Sources, Section 3.2.2
  - Chapter 10: Pavement Design, Section 7 and 8
  - Chapter 12: Construction Equipment and Method Guidelines, Section 3.8
  - Chapter 13: Quality Management, Section 3



Figure 21. Crushed Stone



## Materiales (LCC)

## Alternativas Tradicionales (Py)

### CASO 3: Manteniendo caminos rurales

- Practica permanente en ciertos tramos
- Resultados: dependiente de disponibilidad equipos/intransitable con lluvias/mala practica de mantenimiento
- Precio: 40-80 mil us\$/km – Periodo 2-3 años





## Materiales (LCC)

## Alternativas Tradicionales (Py)

### CASO 4: Empedrado

- Resultados: buena cobertura y estructura siempre que la Subbase sea estable (fiable-permite la accesibilidad)-poco rendimiento constructivo-alto costo operativo vehicular del usuario
- Precio: 120-180 us\$/km





## CASO 5: Escoria de Alto Horno (acepar)

- A modo Prueba – Alt. para Bajo Chaco
- Resultados: buena estabilidad / polvo en condición seca
- Precio: 45.000 Gs/m<sup>2</sup> espesor de cobertura (8-10cm)



**Materiales (LCC)**

**Alternativas Tradicionales (Py)**



**Materiales (LCC)**

**Alternativas Tradicionales (Py)**





CASO 6: Suelo Piedra

Función del tipo de suelo

- Resultados: estable / necesidad de mantenimiento / poco confort
- Precio: us\$ 90-100 mil/km espesor (25cm)





## CASO 7: Suelo Cemento

Función del tipo de suelo y % adición del Cemento

- Resultados: mejora y rigidiza suelos/presencia de fisuras
- Precio: us\$ 90-100 mil/km espesor (25cm???)
- Consideraciones: transformación



fotografía \_ José Segovia

**Alternativas Tradicionales (Py)**



## CASO 7: Suelo Cemento Necesidad de Cobertura



fotografía \_ José Segovia



# Pavimentaciones Económicas Existentes

## Materiales (LCC)

<p><b>Empedrado</b></p>		<p>140.000 us\$/km 180.000 us\$/km Duración 5-10 años (si dispone de buena Subbase)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Construcción lenta/f(M.O.)</li> <li>▪ Alto costos al usuario             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Fiable si esta bien hecha</li> <li>✓ Técnica conocida local</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>Adoquín</b></p>		<p>170.000 us\$//km 250.000 us\$/km Duración 5-10 años (si dispone de buena Subbase)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Construcción lenta/f(M.O.)</li> <li>▪ Alto costos al usuario (&lt;empedrado)             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Técnica conocida local</li> </ul> </li> <li>✓ f(precio del cemento y disponibilidad)</li> </ul>
<p><b>Mantenimiento Camino Tierra</b></p>		<p>40-80 mil us\$/km Duración 2-3 años</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ dependiente disponibilidad equipos/malas practicas</li> <li>▪ Intransitable con lluvias</li> <li>▪ Malas y buenas experiencias (PNCR)</li> </ul>
<p><b>Macadam</b></p>		<p>Evaluar! \$...??</p>	<p>Acompañar desempeño (cuestionar apoyo, permeabilidad y acomodamiento, permeabilidad)</p>
<p><b>Suelo Piedra</b></p>		<p>80 – 90 mil us\$/km Duración 1/2-2 años</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ necesidad de mantenimiento</li> <li>▪ poco confort             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Estable estructuralmente</li> </ul> </li> </ul>

# Necesidad Pavimentar



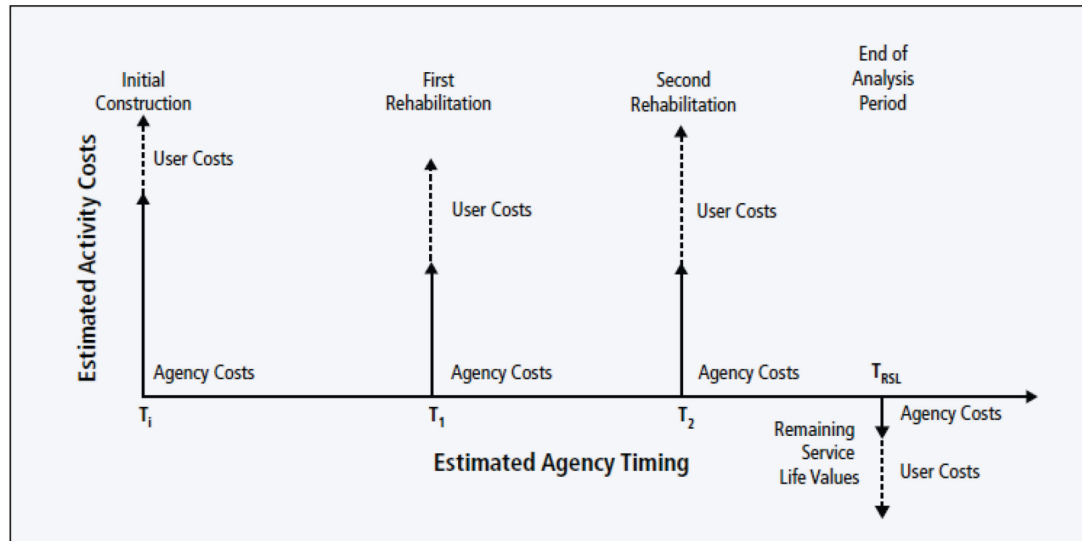
Tierra



Empedrado

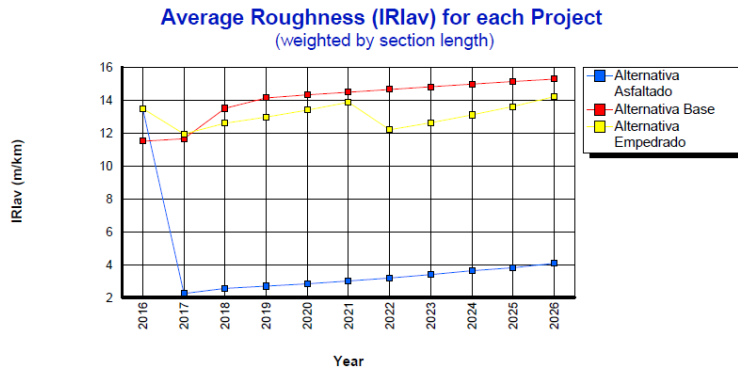


Asfalto

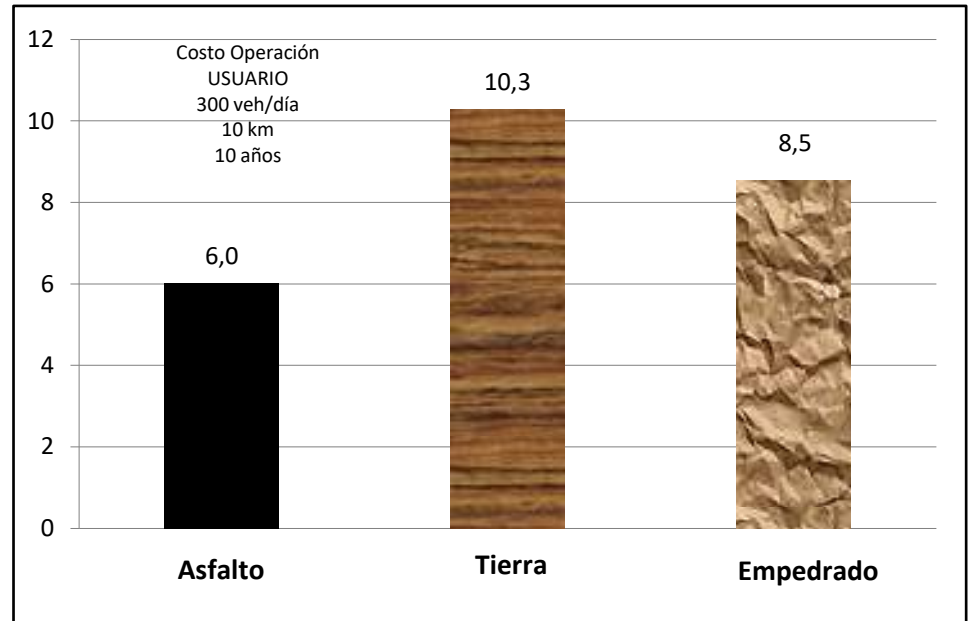


# Beneficios de Pavimentar

## H D M - 4 Average Roughness by Section Alternative (graph)



**IRI: rugosidad superficial**  
Calidad de prestación de servicio  
del camino



costo operación (usuario)								
Tipo	US\$	veh/día	días	años	km	us\$/veh/km	Gs/veh/km	% CO sobre tierra
Tierra	10.284.000	300	365	10	10	0,94	5.165	0%
Empedrado	8.540.000					0,78	4.289	17%
Asfalto	6.024.000					0,55	3.026	41%

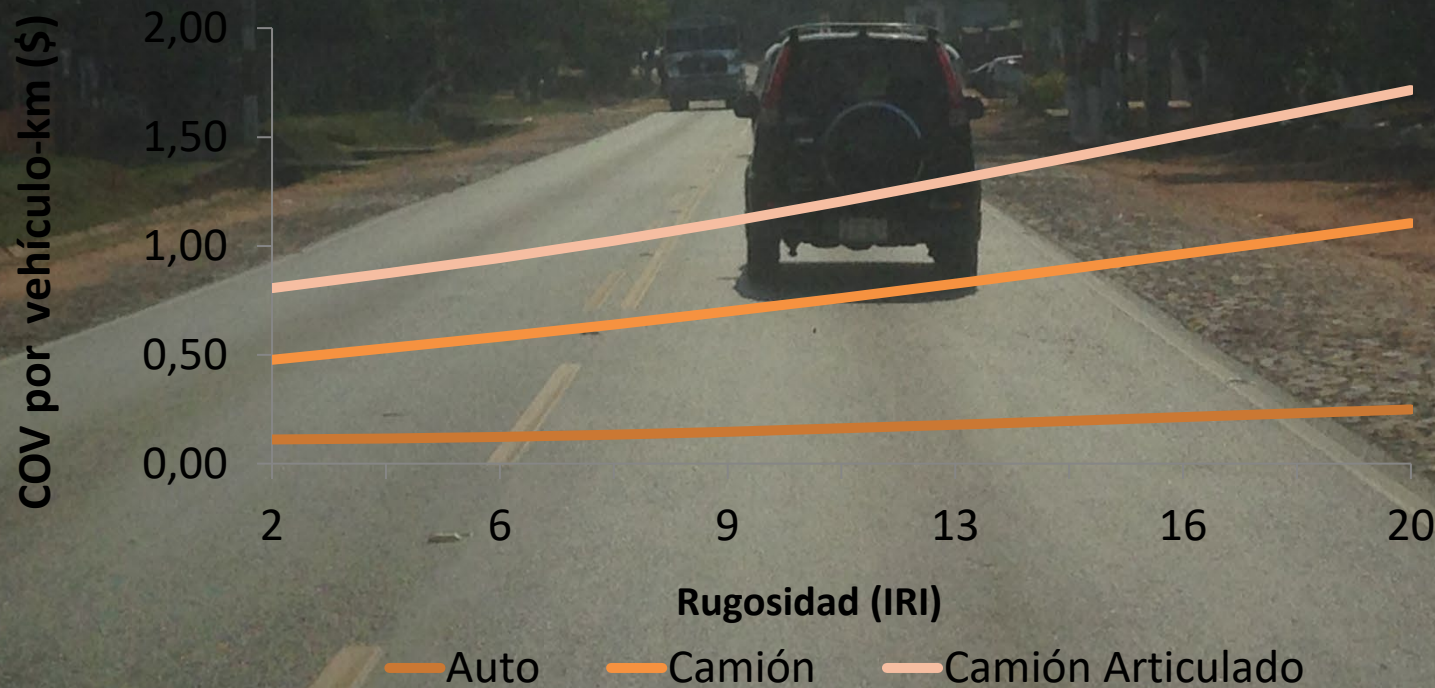
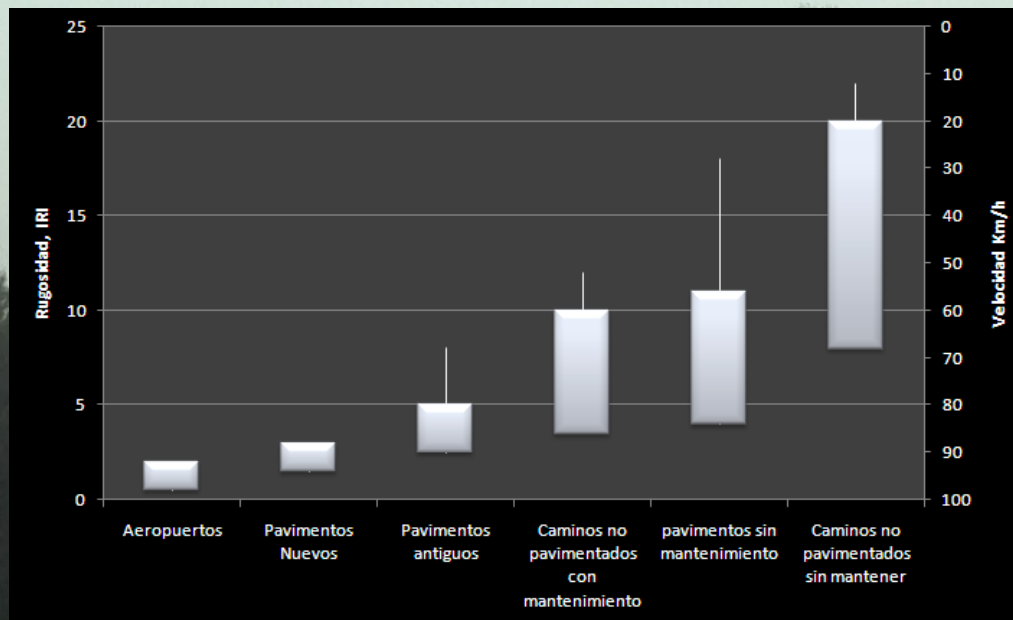
Elaboración: HDM4-Roberto Bogado  
Precios Unitarios Jacki Oliveira



Ambulancia!

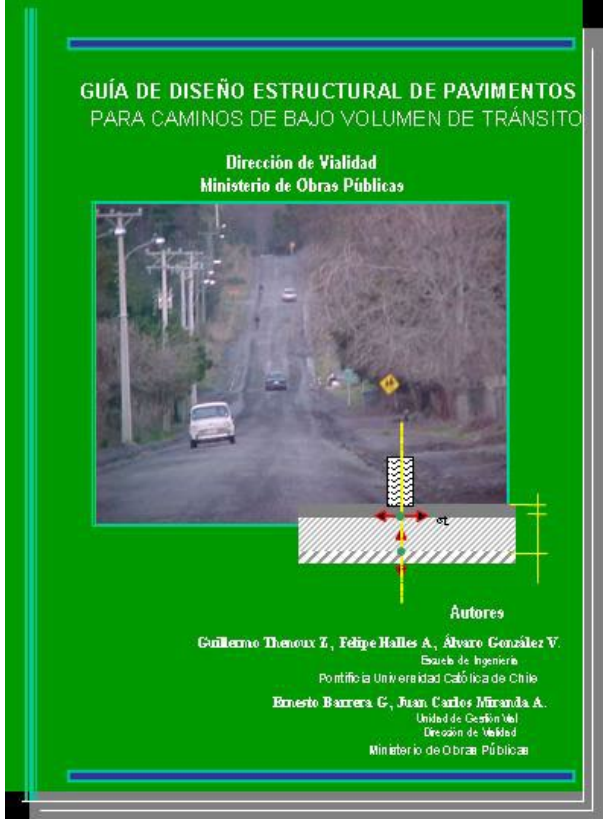








# Diseño Estructural (Necesidad Proponer una Guia Pya)



**OVERSEAS  
ROAD NOTE  
31**



**A guide to the structural  
design of bitumen-surfaced  
roads in tropical and  
sub-tropical countries**

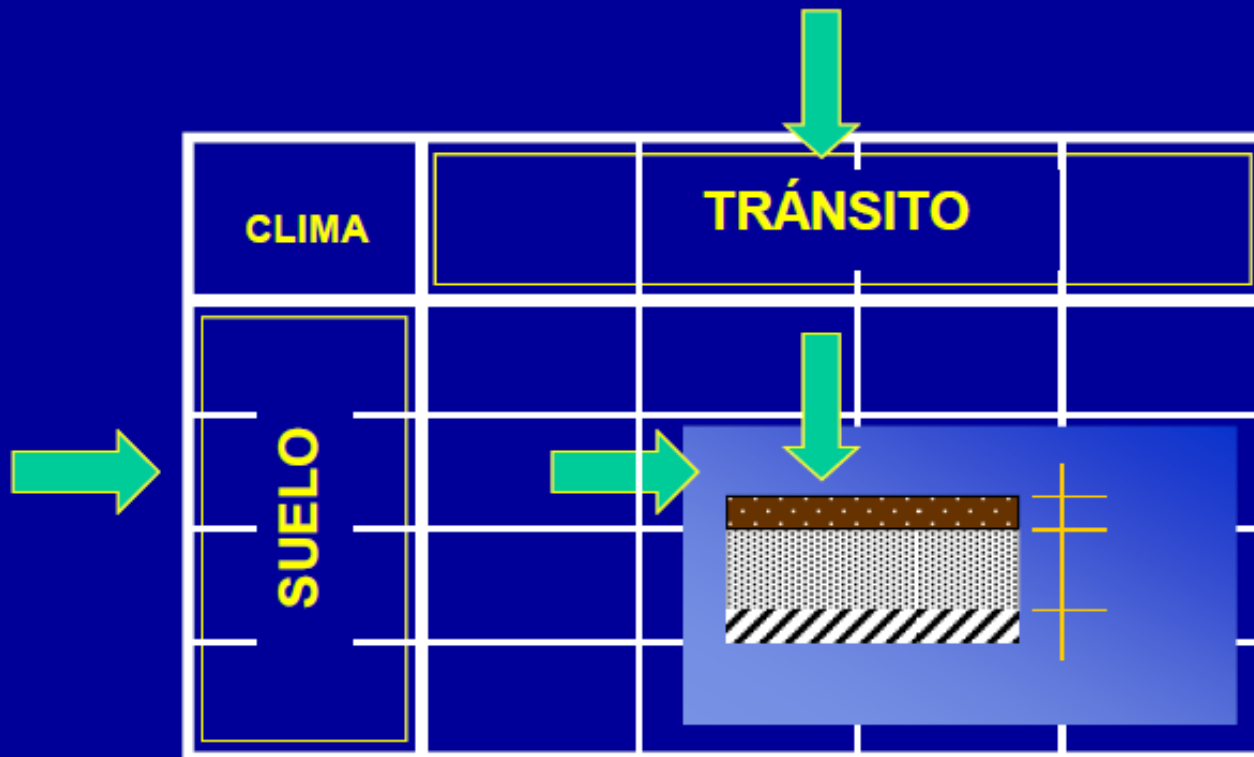


Overseas Centre  
Transport Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, United Kingdom

Fernando Paniagua

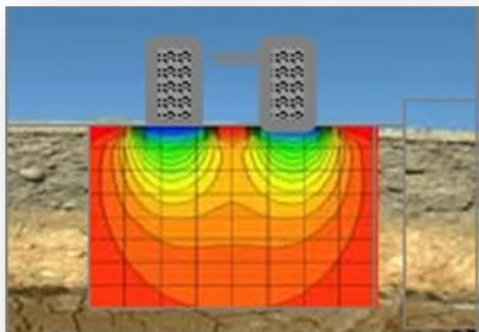
## ➔ MODELO GUÍA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BVT

- ❑ Para obtener el diseño se requiere determinar previamente: Tránsito, Soporte del Suelo de Fundación y Clima.



# Cargas en el Pavimento CONCEPTUALIZACION

## Porque estos ensayos?



Ver convocatoria CONACYT para fortalecimiento de Laboratorios

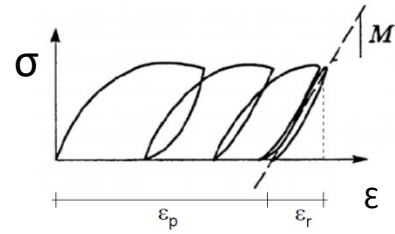


**Maquina de Ensayos Universales para Pavimentos**  
(Ej.: Modulo Resiliente, fatiga, carga repetida, etc..)



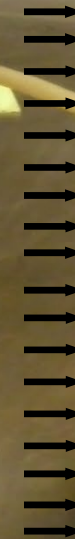
## Módulo Resiliente Triaxial (MrTx o MR)

- 5 Presiones de Confinamiento
- 3 Niveles de carga axial en c/u



$$M_R = \frac{\sigma_d}{\epsilon_r}$$

Carga Axial



## Diseño de Pavimentos Tradicional

Normativa AASHTO 1993

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

El valor de MR en Paraguay:

- Se correlaciona mediante formulas
- El valor adoptado depende mucho de la expertis del Calculista (calculista1≠calculista2)
- No se mide

El diseño estructural que pueden reflejarse en un sobre-dimensionamiento o sub-dimensionamiento.  
Debemos conocer y validar nuestros materiales localmente



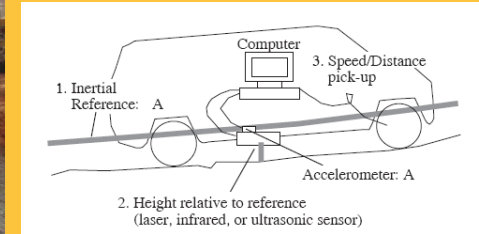
## Pasos Previos Necesarios



Laboratorio



Tramos de Prueba en  
Terreno

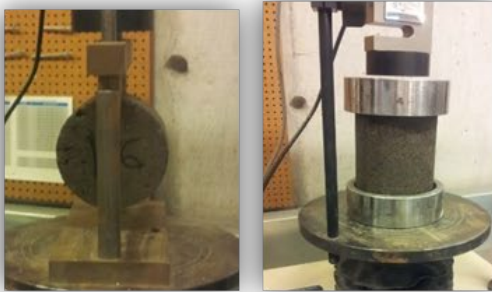


**Medir la  
Desempeño**

# Conocimiento de las Propiedades de los Materiales!

Enfoque adecuado

*Laboratorio*



*Desempeño en Terreno*





# Conclusiones

- El empedrado es fiable (construido correctamente), pero transferimos excesivos costos de operación al usuario.
- Los beneficios que el usuario deja de recibir al no pavimentar pueden ser importantes. Preliminarmente se reporta ahorros al usuario mayores al 40% (asfalto) frente a los caminos de tierra.
- El conocimiento sobre propiedades mecánicas de los materiales locales debe medirse y validarse en laboratorio y terreno. Los ensayos de carga repetida (MR) deben realizarse en Py de manera a validar o reformular posibles datos que alimenten el Diseño estructural. Hoy no podemos asumir valores teóricos cuya relación sub/sobredimensiona.
- El Análisis del LCC debe ser una herramienta de evaluación para alternativas de pavimentación. No podemos ser concluyentes únicamente con costos de construcción

**GRACIAS!!**





# ➔ SOLUCIONES Propuestas: 4 TIPOS

3 ➔



**Cobertura Superficial (penetración)**  
**Suelo Cemento/Cal**

**Suelo de Apoyo** (CBR Mínimo  
15%/homogenizado)

4 ➔

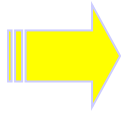


**Cobertura Superficial**  
**Base Granular**

**SubBase de Suelo Piedra**

# ➔ SOLUCIONES Propuestas: 4 TIPOS

1



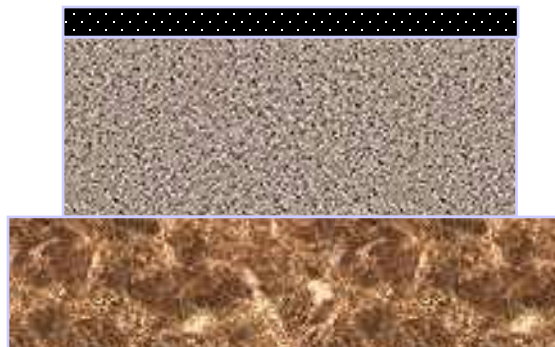
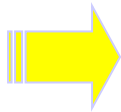
**Cobertura Superficial**

**Estabilizado Químico**

**Suelo de Apoyo** (CBR Mínimo/homogenizado)

- A) Evaluación Preliminar en Laboratorio (requisito MOPC: pasa-no pasa)
- B) Tramo de Prueba (calculo estructural justificado)

2



**Cobertura Superficial**

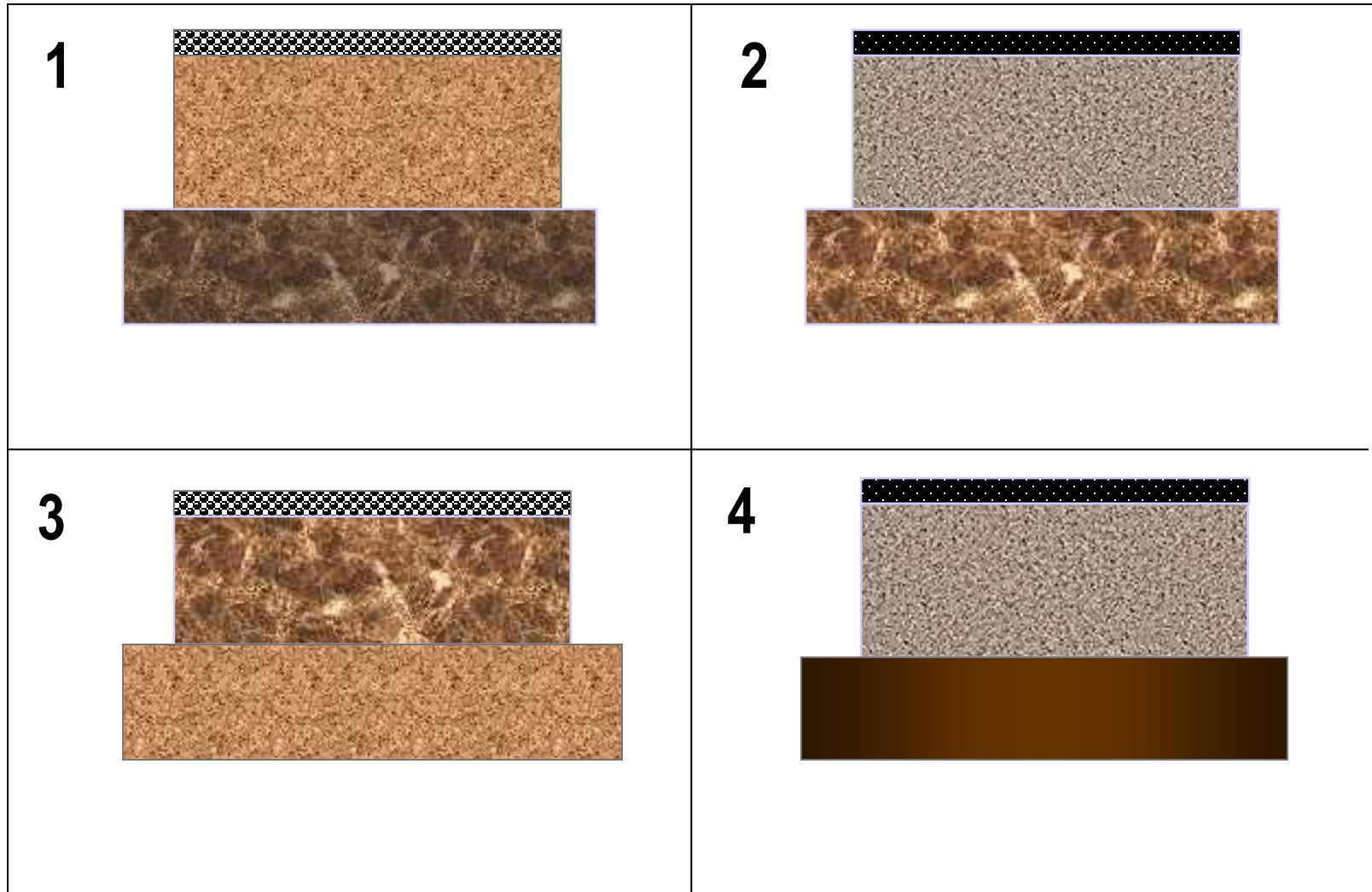
**Base Granular**

**Suelo Cemento**

cobertura Superficial Económica (imprimación reforzada, cape seal)



# Resumen Estructuraciones (conceptualización Guía Chilena BVT – G.T.)

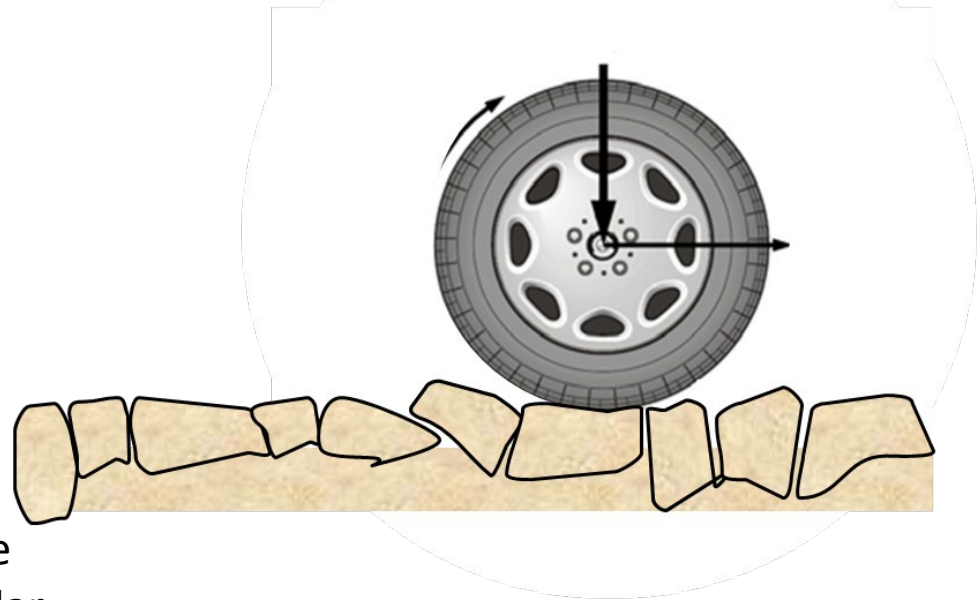
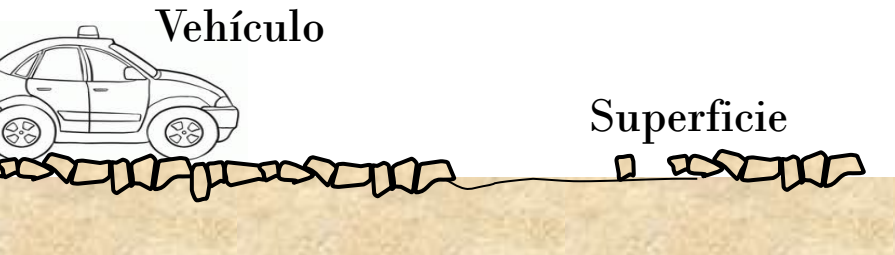


En todos los casos definir una rango de costos  $f$ (disponibilidad de materiales, distancia transporte, tipo de tecnología constructiva)

Las cargas se  
repiten y  
aumentan!







- IRI adoptado: desviaciones verticales que generan impacto en un neumático estándar.
- Suponemos una pisada en 15 cm=1 impacto=1 desviación vertical

