



ASOCIACIÓN PARAGUAYA DE CARRETERAS

CONGRESO PARAGUAYO

2do Vialidad  
y Tránsito

6 y 7 de Octubre 2016 Encarnación  
EXPO VIAL Paraguay



# ANÁLISIS COMPARATIVO DE METODOLOGÍAS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Ing. Fabián Schvartzer



## CONTENIDO

- INTRODUCCIÓN
- OBJETIVO
- ALCANCE
- MÉTODOS DE DISEÑO
  - Empíricos
  - Mecánicos
- EJEMPLOS DE APLICACIÓN
  - AASHTOWare DARWin 3.01
  - SPDM 3.0
  - ELSYM 5
- INPUTS
- RESULTADOS OBTENIDOS
- ANÁLISIS RUTAS EN SERVICIO
- CONCLUSIONES



## INTRODUCCIÓN

El paquete estructural en el presupuesto de una obra vial representa un importante porcentaje de su valor, por lo tanto su diseño influye en el costo total de la misma.



## OBJETIVO

Evaluar diferentes métodos de diseño y/o refuerzos estructurales para pavimentos flexibles que se aplican en países de la región y del mundo, a fin de analizar las implicancias económicas que se obtienen utilizando uno u otro método.

## ALCANCE

- ✓ Analizar metodologías de cálculo de base empírica y base racional.
- ✓ Presentar diferentes casos de estudios a los efectos de poner de manifiesto la implicancia de las variables que inciden en los diseños.
- ✓ Realizar un análisis técnico-económico de los casos evaluados.
- ✓ Por último, analizar secciones reales de pavimentos en la región que prestan en la actualidad servicio y compararlos con casos teóricos de cálculo.





## MÉTODOS DE DISEÑO

**Empírico**

**Mecanístico**

**Empírico -  
Mecanístico**

## DISEÑO EMPÍRICO

- Basado en resultados de la experiencia y/o ensayos
- Requiere muchas observaciones para establecer relaciones entre las variables de diseño y la performance del pavimento
- No necesariamente se establecen bases científicas para establecer relaciones
- **Ejemplos:** AASHTO, CBR, R-veem



## Método AASHTO

- Basado en AASHTO Road Test:
  - Un tipo de subrasante
  - Construcción de los '50
  - Cargas de tráfico de los '50
  - Limitadas aplicaciones de tráfico
  - Una zona climática
  - Un tipo de base
  - Sin drenes
  - Calidad de la construcción superior a la normal
  - Baja performance medida y modelada
  - Limitada incorporación de confiabilidad





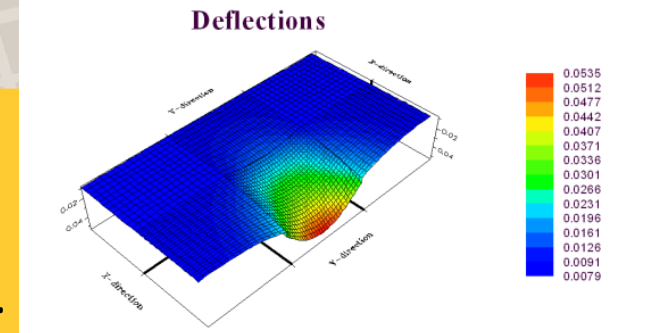
## DISEÑO MECANÍSTICO

- Puramente científico
- Enfatiza el comportamiento mecánico de la estructura producido por las cargas.
- Las propiedades fundamentales de los materiales deben ser bien conocidas.
- Las propiedades geométricas de la estructura y de las cargas también deben ser conocidas con precisión.
- **Ejemplos:** No existen diseños puramente mecanísticos.



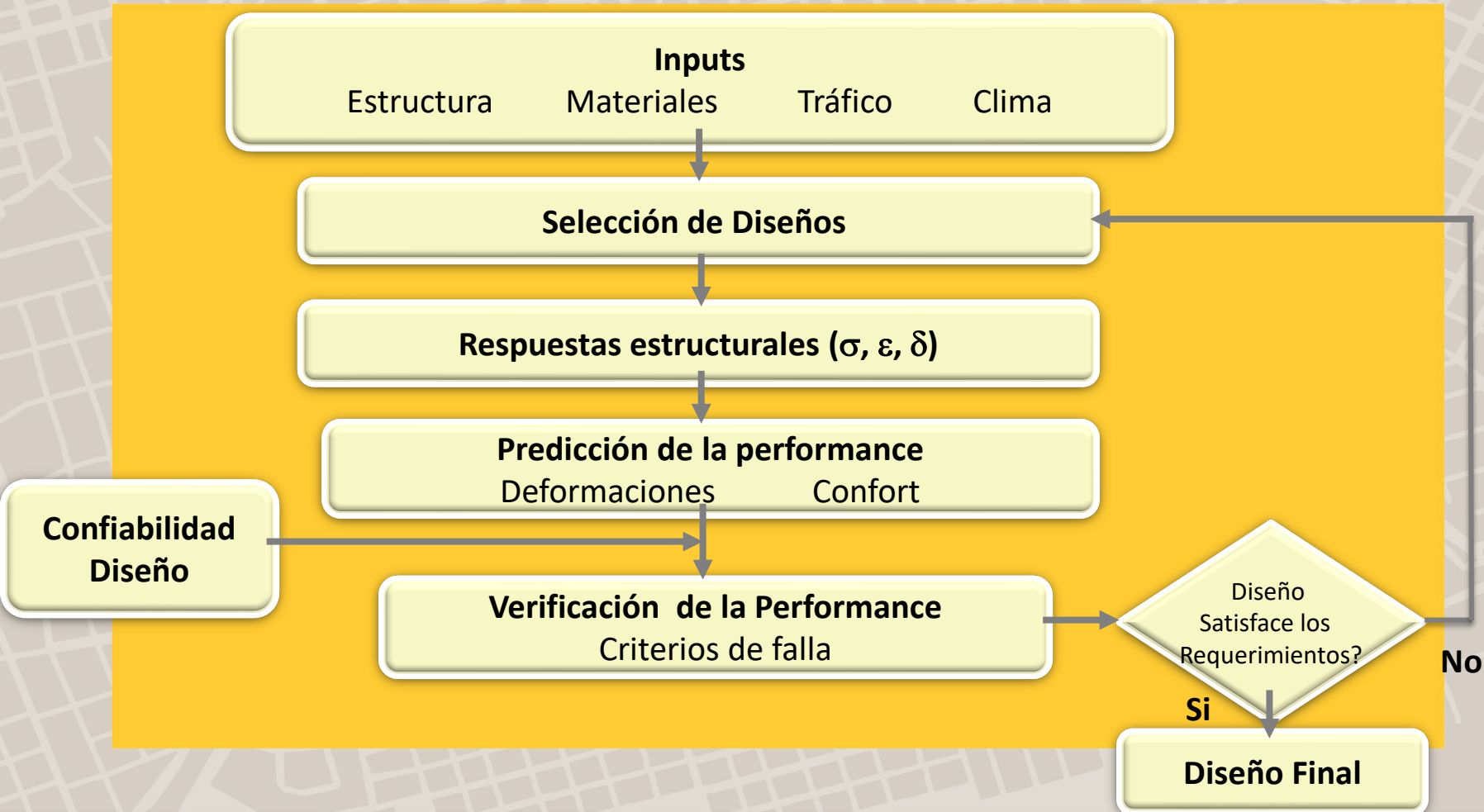
## DISEÑO EMPÍRICO - MECANÍSTICO

- Combina aspectos mecánicos y empíricos.
- Componente mecánico: determina las respuestas del pavimento a través de modelos matemáticos.
- Componente empírico: relaciona las respuestas del pavimento con su performance.
- Cada tipo de falla está asociada con una respuesta crítica del pavimento.
- **Ejemplos:** Método Shell, Asphalt Institute, NCHRP Project 1-26, Diseño Sudafricano M-E, Illinois, Kentucky, Washington, Minnesota, MEPDG.



## MÉTODOS EMPÍRICO - MECANÍSTICO

- No sólo diseño de espesores.
- Estudio detallado de consideraciones estructurales y de los materiales.
- Mejor manejo de los efectos climáticos y de la confiabilidad en el diseño.
- Performance basada en deformaciones y calidad de la circulación.
- Consideraciones directas del drenaje y de la erosión en la subbase.

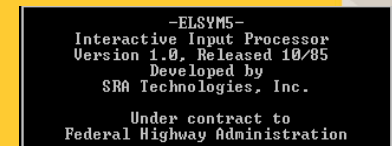




## EJEMPLOS DE APLICACIÓN

A continuación se presentan diferentes casos de estudio utilizando los siguientes programas de cálculo:

- Método Empírico:
  - ❖ Programa AASHTOWare DARWin 3.01
- Método Empírico - Mecanicista
  - ❖ Programa SPDM 3.0
  - ❖ Programa ELSYM 5





## AASHTOWare DARWin 3.01

The screenshot displays the AASHTOWare DARWin 3.01 software interface. The main window is titled "AASHTOWare DARWin - CASO A1". It features a menu bar (File, Edit, View, Calculate, Design, Options, Window, Help) and a toolbar with various icons. Two dialog boxes are open:

- CASO A1 -**: A dialog box for project description with the following fields:
  - 18-kip ESALs Over Initial Performance Period: 10,000,000
  - Initial Serviceability: 4.2
  - Terminal Serviceability: 2
  - Reliability Level (%): 80
  - Overall Standard Deviation: 0.45
  - Roadbed Soil Resilient Modulus: 4,500 psi
  - Number of Construction Stage: 1
  - Design Structural Number: 5.11 in
- Thickness Designs**: A dialog box showing design results. It has tabs for "Layered", "Specified", and "Optimized". The "Layered" tab is active, displaying a table of design layers:
 

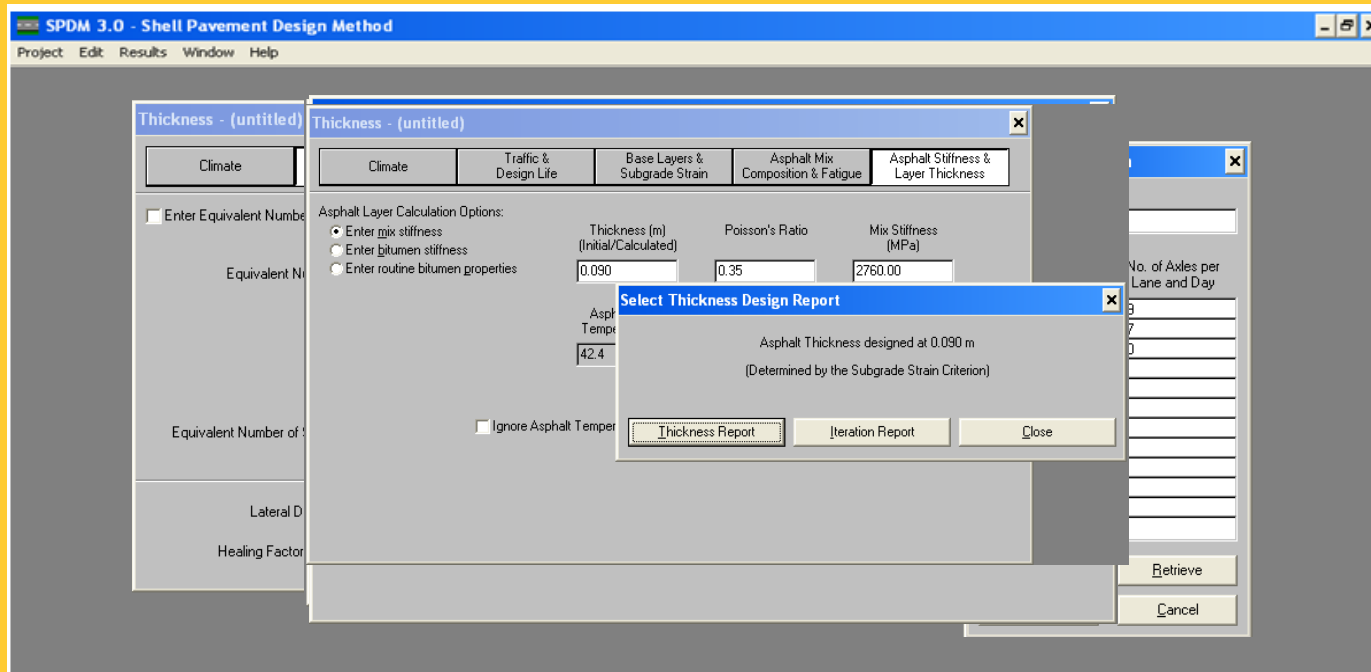
Layer	Material Description	Struct. Coeff. (A <sub>i</sub> )	Drain. Coeff. (M <sub>i</sub> )	Spec. Thick (D <sub>i</sub> ) (in)	Min. Thick. (in)	Elastic Modulus (psi)	One Dir. Width (ft)	Thick. (in)	SN (in)
1	Mezcla Asfáltica	0.43	1	6.95		400,000	24	6.95	2.99
2	Base Granular	0.135	1	7.87	28,000	24	7.87	1.06	
3	Suelo Ripio	0.09	1	11.81	15,000	24	11.81	1.06	

 Below the table, the "Precision" is set to "Actual" in inches, and the "Thickness Sum" is 26.63. At the bottom, the "Design SN Source" is "Flex Design SN", the "Design SN" is 5.11 (in), and the "Calculated SN" is 5.11 (in), with the status "Design is OK."

Buttons for "OK", "Cancel", "Clear", and "Materials..." are visible at the bottom of the "Thickness Designs" dialog. The status bar at the bottom of the main window shows "Use the File menu to create or open a project" and "ENGLISH".



## SPDM 3.0





## ELSYM 5

```
ELSYM
RESULTS MENU FOR ELSYM5
-----
LAYER = 3      Z = 26.77

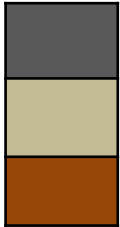


1. - Stresses Normal & Shear & Principal
2. - Strains Normal & Shear & Principal
3. - Displacements
4. - Return or Continue with Next Layer

Selection ==>
```





## INPUTS

<u>CASO A</u>	<u>CASO B</u>	<u>CASO C</u>
 <p>Mezcla Asfáltica Base Granular Suelo Ripio</p>	 <p>Mezcla Asfáltica Base Granular Suelo Ripio</p>	 <p>Mezcla Asfáltica Base Granular Suelo Ripio</p>
ESAL's = 10.000.000	ESAL's = 5.000.000	ESAL's = 750.000
CBR = 3% - 7% - 10%	CBR = 3% - 7% - 10%	CBR = 3% - 7% - 10%

## RESULTADOS OBTENIDOS

### CASO A - ESAL's: 10,000,000

#### Método Empírico (DARWin )

Mezcla Asfáltica	<b>18</b>	<b>16.5</b>	<b>16.5</b>
Base Granular	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
Suelo Ripio	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>
CBR	3%	7%	10%

#### Método Empírico - Mecanicista (SPDM )

Mezcla Asfáltica	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>12.5</b>
Base Granular	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
Suelo Ripio	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>
CBR	3%	7%	10%

#### Método Empírico - Mecanicista (ELSYM 5)

Mezcla Asfáltica	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>14</b>
Base Granular	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
Suelo Ripio	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>
CBR	3%	7%	10%

## RESULTADOS OBTENIDOS

### CASO B - ESAL's: 5,000,000

#### Método Empírico (DARWin )

Mezcla Asfáltica	<b>17</b>	<b>15</b>	<b>15</b>
Base Granular	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
Suelo Ripio	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
CBR	3%	7%	10%

#### Método Empírico - Mecanicista (SPDM )

Mezcla Asfáltica	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>11</b>
Base Granular	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
Suelo Ripio	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
CBR	3%	7%	10%

#### Método Empírico - Mecanicista (ELSYM 5)

Mezcla Asfáltica	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>11</b>
Base Granular	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
Suelo Ripio	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
CBR	3%	7%	10%

## RESULTADOS OBTENIDOS

### CASO C - ESAL's: 750,000

#### Método Empírico (DARWin )

Mezcla Asfáltica	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>11</b>
Base Granular	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>
Suelo Ripio	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
CBR	3%	7%	10%

#### Método Empírico - Mecanicista (SPDM )

Mezcla Asfáltica	<b>11.5</b>	<b>8</b>	<b>6.5</b>
Base Granular	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>
Suelo Ripio	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
CBR	3%	7%	10%

#### Método Empírico - Mecanicista (ELSYM 5)

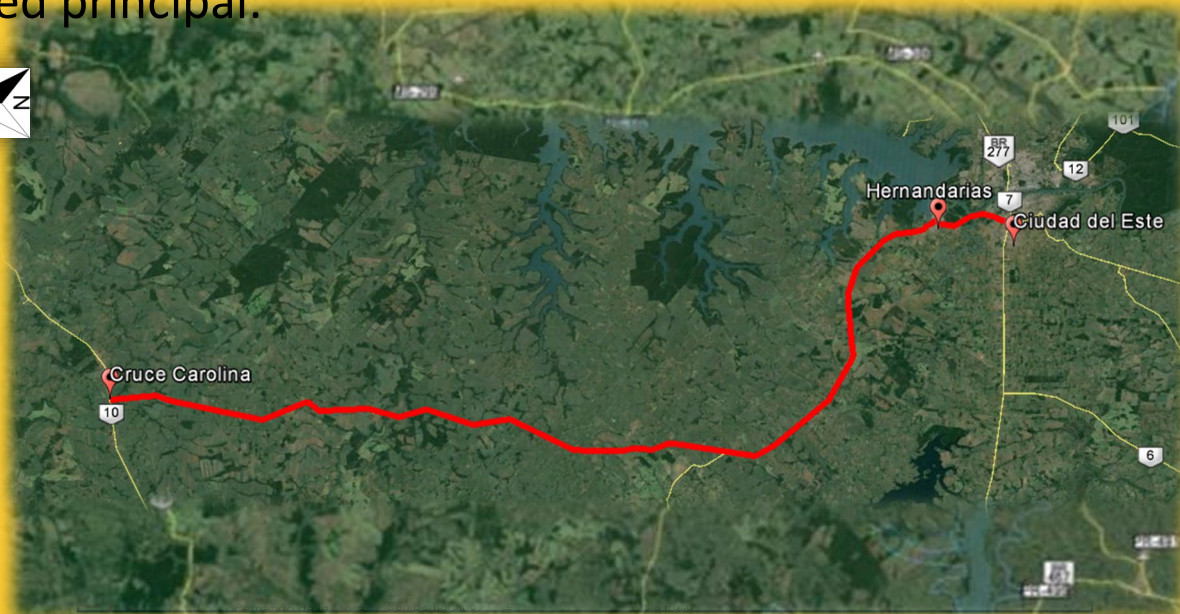
Mezcla Asfáltica	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>5</b>
Base Granular	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>
Suelo Ripio	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
CBR	3%	7%	10%





## ANÁLISIS RUTAS EN SERVICIO

- ❖ Para este análisis se han seleccionado los siguientes tramos de la red principal:



a)



## ANÁLISIS RUTAS EN SERVICIO

### Guairá (Ruta 10)

- Mediciones rugosidad
- Mediciones deflectométricas

que se calculado según AASHTO

Carril	PROGRESIVA		LONG. km	DEFLECCIÓN D0 CORREGIDA			
	INICIO	FIN		MEDIA µm	DESVÍO µm	COV %	P80 µm
Ascendente	353.00	360.00	7.0	196			
Descendente	353.00	360.00	7.0	216			

Ettotal =  
10,1 cm



- Estado existe







## ANÁLISIS RUTAS EN SERVICIO

### ❖ Limpio – Calle 6000 (Ruta 3)

Programación Mediciones rugosidad

Mediciones deflectométricas

Paquete calculado según AASHTO

Carril	PROGRESIVA		LONG. km	DEFLEXIÓN D0 CORREGIDA			
	INICIO	FIN		MEDIA µm	DESVÍO µm	COV %	P80 µm
Descendente	29+800	39+800	10,0	336	100	30	422

- E
- CBR: 3,0
- 27,5 cm Subbase

• Estado existente. Regular malla cerrada, bacheos en el carril descendente. ahuellamientos en el carril descendente.



03-02-2015 12:40



## ANÁLISIS RUTAS EN SERVICIO

### ❖ Hernandarias – Cruce Carolina (Supercarretera)

• Mediciones rugosidad





## ANÁLISIS RUTAS EN SERVICIO

- ❖ De acuerdo a los resultados obtenidos en los distintos métodos de cálculo empleados, económicamente se puede concluir:

	Resumen Espesor de Mezcla Asfáltica Requerido (cm)								
	Caso A - Tránsito Alto			Caso B - Tránsito Medio			Caso C - Tránsito Bajo		
Método Empírico	18	16.5	16.5	17	15	15	12	11	11
Métodos Mecánicos (promedio)	16	13.5	13.25	16	13	11	9.75	7	5.75
	<b>Conclusiones</b>								
	Tránsito Alto	Tránsito Medio	Tránsito Bajo						
Diferencias de espesor (m)	0.02	0.03	0.04						
Incremento Costo/ km	35,750.0	53,625.0	71,500.0						

Costo Mezcla Asfáltica: 255.5 u\$./m<sup>3</sup>

## CONCLUSIONES

- ❖ El método AASHTO no permite realizar un análisis de esfuerzos y deformaciones en la estructura.
- ❖ La aplicación de métodos empíricos (basado en el AASHTO Road Test) sin calibración de sus variables (temperatura, humedad, cargas, materiales, etc.) puede devenir en errores (sobre o subdimensionamientos).
- ❖ Los resultados arrojados en el análisis capa por capa de AASHTO pueden considerarse muy conservadores.
- ❖ La optimización del diseño del paquete estructural en una obra vial, repercute directamente en una disminución sensible de los costos de obra.



## CONCLUSIONES

- ❖ A menores tránsitos la diferencia de espesores entre métodos es mayor y es donde deben optarse las mayores precauciones en los análisis.



**Muchas Gracias por su Atención**