



PRE-XVII CONGRESO ARGENTINO  
**de Vialidad y Tránsito**

8º EXPOVIAL ARGENTINA

3 AL 6 DE NOVIEMBRE 2014

HOTEL PANAMERICANO - Buenos Aires, Argentina



# "Análisis del ahuellamiento según método MEPDG. Aplicación al diseño de pavimentos nuevos y refuerzos".

*MSc Ing. Oscar V. Cordo*  
*EICAM-UNSJ*

X CONGRESO INTERNACIONAL ITS

X SIMPOSIO DEL ASFALTO

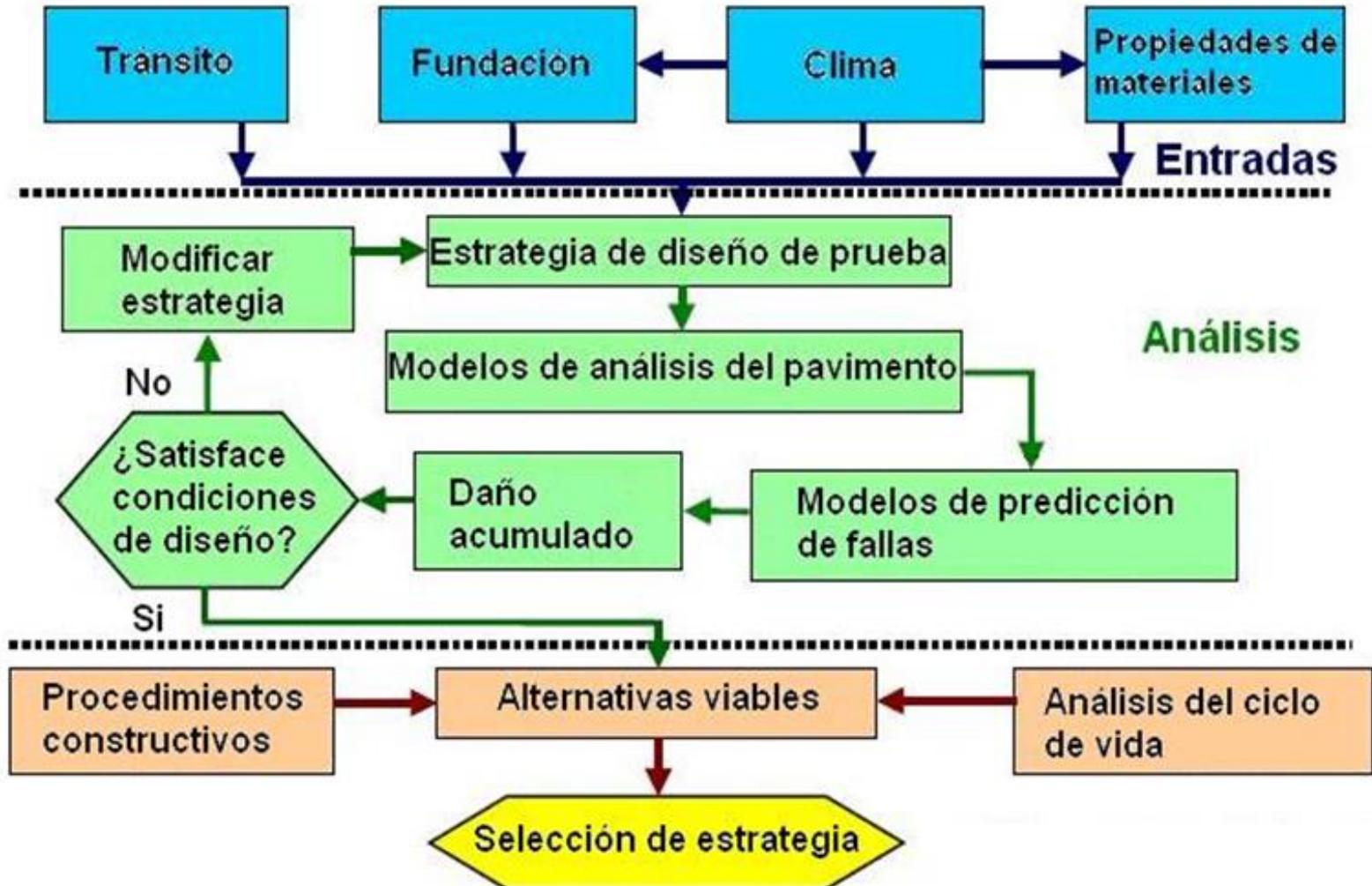
II SEMINARIO INTERNACIONAL DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN



[www.congresodevialidad.org.ar](http://www.congresodevialidad.org.ar)



# Diagrama de flujo MEPDG



# Fallas tenidas en cuenta en diseño de pavimentos flexibles



Fisuración por fatiga. Piel de cocodrilo.



Ahuellamiento.



Fisuración por fatiga. Fisura longitudinal.



Fisuración térmica.

# Características de materiales

- Para estudiar el ahuellamiento es necesario conocer las tensiones y deformaciones que tienen lugar a través del paquete estructural.
- ✓ Materiales presentes a tener en cuenta:

Pavimento flexible nuevo	Pavimento flexible rehabilitado
Capa asfáltica	Capa asfáltica nueva o refuerzo
Base granular o base tratada con cemento	Capa asfáltica existente
Subbase granular	Base granular o base tratada con cemento
Suelo seleccionado	Subbase granular
Subrasante mejorada	Suelo seleccionado
Subrasante natural	Subrasante mejorada
	Subrasante natural

# Características de materiales

- Propiedades de materiales requeridas para determinar la respuesta del pavimento. Sirven para determinar tensiones, deformaciones y desplazamientos →  $E$ ,  $\mu$ .
- Entradas adicionales de materiales para las funciones de deterioro y transferencia. Datos relacionados con los modelos de deterioro y de lisura →  $E$ ,  $\mu$ , parámetros de resistencia, características de expansión y contracción, erosionabilidad, características de drenaje, plasticidad, granulometría.
- Entradas adicionales de materiales para la modelización climática. Datos relacionados con la respuesta de los materiales frente al clima (perfiles de temperatura y humedad a través del paquete). → LL, IP, granulometría ( $n$ ,  $D_{60}$ , etc), propiedades térmicas (absorción, conductividad térmica, capacidad de calor).

## Conceptos de nivel de jerarquía de variables de entrada

### 3 niveles

- Nivel 1: es el más exacto e involucra ensayos de laboratorio y campo.
- Nivel 2: datos de entrada estimados a través de correlaciones con otras propiedades de los materiales, medidas en laboratorio o en el campo.
- Nivel 3: datos de entrada basados en la experiencia con muy pocos o ningún ensayo, para el diseño. Datos sugeridos por organismo vial.

# Características de materiales

- Estas propiedades cambian a lo largo del tiempo debido a fuerzas químicas y físicas, influencia del clima y por fracturas y deformaciones.
- Pueden incrementarse o disminuir
- Incrementos
  - ✓ Materiales asfálticos. Endurecimiento por envejecimiento (oxidación)
  - ✓ Materiales cementados. Endurecimiento por reacciones puzolánicas (químicas)
- Decrementos
  - ✓ Degradación por fatiga. Microfisuras → reducción módulo → mayores deformaciones

## Efectos tiempo-temperatura

- Materiales asfálticos. Muy sensibles a temperatura y tiempo de aplicación de cargas.
- Asfalto. Material viscoelástico plástico. Altas temperaturas y tiempos de aplicación de cargas muy largos → E tiende a valores de material no ligado. Bajas temperaturas y tiempos muy cortos → E tiende al de un material elástico y próximos a los de un hormigón.
- Rango de temperaturas a lo largo del período de diseño muy importante.
- Uso de curvas maestras basadas en el principio de superposición tiempo-temperatura.

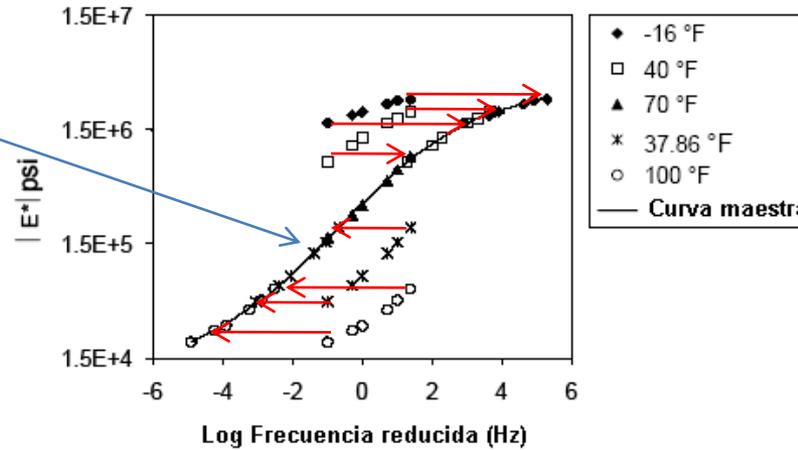


X SIMPOSIO  
DEL ASFALTO

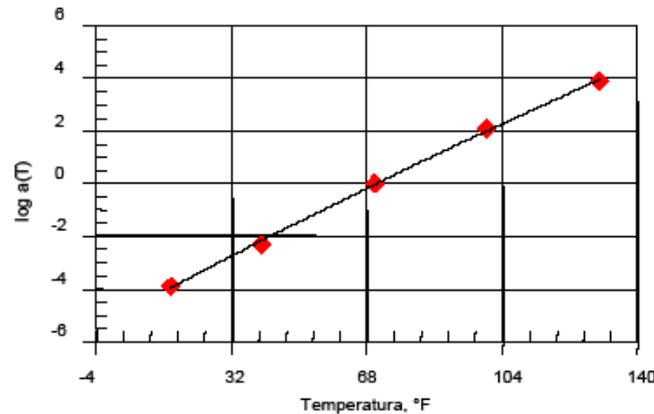
# Características de materiales asfálticos

## Estimación del módulo dinámico

$$\log(E^*) = \delta + \frac{\alpha}{1 + e^{\beta + \gamma \log(t_r)}}$$



a. Curva maestra



b. Factores de desplazamiento



X SIMPOSIO  
DEL ASFALTO

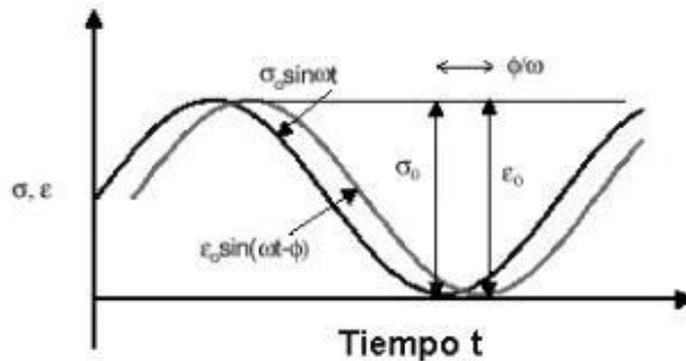
# Características de materiales asfálticos

## Estimación del módulo dinámico

### ➤ Nivel 1:

✓  $E^*$  Norma ASTM D3497.

✓  $E^* = \sigma/\varepsilon$  bajo una carga sinusoidal a temperatura y frecuencia dadas



$$|E^*| = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0}$$

$$\phi = \omega t_i$$

$\phi =$  ángulo de fase





Project [D:\CORDO\aaashto02\Manual en Castellano\Diapositivas adaptadas a MEPDG v1.1\Reunión Comisión Permanente del Asfalto-Noviembre 2014\Mendoza ref-Modelo ppt.dgp]

- General Information
- Site/Project Identification
- Analysis Parameters

Inputs

- Traffic
  - Traffic Volume Adjustment Factors
    - Monthly Adjustment
    - Vehicle Class Distribution
    - Hourly Truck Distribution
    - Traffic Growth Factor
  - Axle Load Distribution Factors
  - General Traffic Inputs
    - Number Axles/Truck
    - Axle Configuration
    - Wheelbase
- Climate
- Structure
  - HMA Design Properties
  - Layers
    - Layer 1 - Asphalt concrete
    - Layer 2 - Asphalt concrete (existing)
    - Layer 3 - Crushed stone
    - Layer 4 - A-1-a
    - Layer 5 - A-2-4
  - Thermal Cracking

### Asphalt Material Properties

Level:  Asphalt material type:  Layer thickness (in):

Asphalt Mix  Asphalt Binder  Asphalt General

Dynamic Modulus Table

Number of temperatures:  Number of frequencies:

Temperature (°F)	Mixture E* (psi)			
	0.1	1	10	25
10	2348903	2766192	3130167	3258341
40	1209269	1653236	2112322	2291060
70	512965	823455	1215375	1388002
100	205446	374920	632163	760112
130	87462	172207	320382	401895

Analysis Status:

Analysis	% Complete
<input checked="" type="checkbox"/> Traffic	0%
<input checked="" type="checkbox"/> Climatic	100%
<input checked="" type="checkbox"/> Thermal Cracking	0%
<input checked="" type="checkbox"/> AC Analysis	0%
<input checked="" type="checkbox"/> Summary	0%

General Project Information:

Parameter	Value
Type	AC over AC
Design Life	10 Years
Climate	D:\CORDO\aaashto02\Manual en Castellano\Di
Construction Date	1/2014
Traffic Open Date	2/2014

Properties

Setting	Value
Units	US Customary
Analysis Type	Probabilistic
Output Type	Excel Worksheet
Warnings	Enabled



## Estimación del módulo dinámico

### ➤ Nivel 2 o Nivel 3:

✓ Usar la siguiente ecuación, válida para mezclas densas (Witczak).

$$\log(E^*) = 3,750063 + 0,02932 \rho_{200} - 0,001767 (\rho_{200})^2 - 0,002841 \rho_4 - 0,058097 V_a - 0,802208 \left( \frac{V_{bef}}{V_{bef} + V_a} \right) + \frac{3,871977 - 0,0021 \rho_4 + 0,003958 \rho_{38} - 0,000017 (\rho_{38})^2 + 0,005470 \rho_{34}}{1 + e^{(-0,603313 - 0,313351 \log(f) - 0,393532 \log(\eta))}}$$

$E^*$  = módulo dinámico, en  $10^5$  psi.

$\eta$  = viscosidad del betún, en  $10^6$  poise.

$f$  = frecuencia de la carga, Hz.

$V_a$  = volumen de vacíos en mezcla.

$V_{bef}$  = volumen efectivo de betún, en %.

$\rho_{34}$  = porcentaje retenido acumulado en el tamiz de 3/4".

$\rho_{38}$  = porcentaje retenido acumulado en el tamiz de 3/8".

$\rho_4$  = porcentaje retenido acumulado en el tamiz N°4.

$\rho_{200}$  = porcentaje acumulado que pasa el tamiz N°200.

$$\log(E^*) = \delta + \frac{\alpha}{1 + e^{\beta + \gamma \log(t_r)}}$$



Project [D:\CORDO\aaasto02\Manual en Castellano\Diapositivas adaptadas a MEPDG v1.1\MEPDG-Abril 2014\Problemas-Curso MEPDG\Mendoza diseño de refuerzo.dgp]

- General Information
- Site/Project Identification
- Analysis Parameters

Inputs

- Traffic
  - Traffic Volume Adjustment Factors
    - Monthly Adjustment
    - Vehicle Class Distribution
    - Hourly Truck Distribution
    - Traffic Growth Factor
  - Axle Load Distribution Factors
  - General Traffic Inputs
    - Number Axles/Truck
    - Axle Configuration
    - Wheelbase
- Climate
- Structure
  - HMA Design Properties
  - Layers
    - Layer 1 - Asphalt concrete
    - Layer 2 - Asphalt concrete (existing)
    - Layer 3 - Crushed stone
    - Layer 4 - A-1-a
    - Layer 5 - A-2-4
  - Thermal Cracking

**Asphalt Material Properties**

Level:  Asphalt material type:  Layer thickness (in):

- Asphalt Mix  Asphalt Binder  Asphalt General

Options - At Short Term Aging - RTFO



- Superpave binder test data



- Conventional binder test data

Number of temperatures:

Temperature (°F)	Angular frequency = 10 rad/sec	
	G* (Pa)	Delta (°)
125.6	36950	62.96
136.4	18700	64.6
147.2	9287	66.85
158	4604	69.96

- OK  Cancel  View HMA Plots

Analysis Status:

Analysis	% Complete
<input checked="" type="checkbox"/> Traffic	0%
<input checked="" type="checkbox"/> Climatic	100%
<input checked="" type="checkbox"/> Thermal Cracking	0%
<input checked="" type="checkbox"/> AC Analysis	0%
<input checked="" type="checkbox"/> Summary	0%

General Project Information:

Parameter	Value
Type	AC over AC
Design Life	10 Years
Climate	D:\CORDO\aaasto02\Manual en Castellano\Di
Construction Date	1/2014
Traffic Open Date	2/2014

Properties

Setting	Value
Units	US Customary
Analysis Type	Probabilistic
Output Type	Excel Worksheet
Warnings	Enabled





Project [D:\CORDO\aaashto02\Manual en Castellano\Diapositivas adaptadas a MEPDG v1.1\Reunión Comisión Permanente del Asfalto-Noviembre 2014\Mendoza diseño de refuerzo-Mc

- General Information
- Site/Project Identification
- Analysis Parameters

Inputs

- Traffic
  - Traffic Volume Adjustment Factors
    - Monthly Adjustment
    - Vehicle Class Distribution
    - Hourly Truck Distribution
    - Traffic Growth Factor
  - Axle Load Distribution Factors
  - General Traffic Inputs
    - Number Axles/Truck
    - Axle Configuration
    - Wheelbase
- Climate
- Structure
  - HMA Design Properties
  - Layers
    - Layer 1 - Asphalt concrete
    - Layer 2 - Asphalt concrete (existing)
    - Layer 3 - Crushed stone
    - Layer 4 - A-1-a
    - Layer 5 - A-2-4
- Thermal Cracking

### Asphalt Material Properties

Level:  Asphalt material type:  Layer thickness (in):

Asphalt Mix  Asphalt Binder  Asphalt General

Options - At Short Term Aging - RTFO

Superpave binder test data  
 Conventional binder test data

Number of penetrations:  Number of Brookfield viscosities:

Test	Temperature (°F)	Binder property
Softening point (P)	0	13000
Absolute viscosity (P)	140	4100
Kinematic viscosity (CS)	275	400
Specific gravity	77	1
Penetration	77	45
Brookfield viscosity	140	4100
	275	400

Analysis Status:

Analysis	% Complete
<input checked="" type="checkbox"/> Traffic	0%
<input checked="" type="checkbox"/> Climatic	0%
<input checked="" type="checkbox"/> Thermal Cracking	0%
<input checked="" type="checkbox"/> AC Analysis	0%
<input checked="" type="checkbox"/> Summary	0%

General Project Information:

Parameter	Value
Type	AC over AC
Design Life	10 Years
Climate	D:\CORDO\aaashto02\Manual en Castellano\Di
Construction Date	1/2014
Traffic Open Date	2/2014

Properties

Setting	Value
Units	US Customary
Analysis Type	Probabilistic
Output Type	Excel Worksheet
Warnings	Enabled





Project [C:\Backup 17-05-2006\Oscar\AASHTO\AASHTO 02\Manual AASTO 2002\Manual en castellano\Flexible-B.dgp]

- General Information
- Site/Project Identification
- Analysis Parameters

- Inputs
- Traffic
    - Traffic Volume Adjustment Factors
      - Monthly Adjustment
      - Vehicle Class Distribution
      - Hourly Truck Distribution
      - Traffic Growth Factor
    - Axle Load Distribution Factors
    - General Traffic Inputs
      - Number Axles/Truck
      - Axle Configuration
      - Wheelbase
  - Climate
  - Structure
    - Layers
      - Layer 1 - Asphalt concrete
      - Layer 2 - Soil Cement
      - Layer 3 - A-1-a
      - Layer 4 - A-2-4
      - Layer 5 - A-7-6
    - Thermal Cracking

### Asphalt Material Properties

Level:  Asphalt material type:  Layer thickness (in):

Asphalt Mix  
  Asphalt Binder  
  Asphalt General

Options:

- Superpave binder grading
- Conventional viscosity grade
- Conventional penetration grade

High Temp (°C)	Low Temp (°C)						
	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46
46							
52							
58							
64							
70							
76							
82							

A:       VTS:

Analysis Status:

Analysis	% Complete
Traffic	100%
Climatic	100%
Thermal Cracking	100%
AC Analysis	100%
Summary	100%

General Project Information:

Parameter	Value
Type	New Flexible
Design Life	20 Years
Path	C:\Backup 17-05-2006\Oscar\AASHTO 02\Manual en castellano\Flexible-B.dgp
Construction Date	9/2009
Effective Date	10/2009

Properties:

Property	Value
Analysis Type	US Customary
Analysis Type	Probabilistic
Output Type	Excel Worksheet
Warnings	Enabled





Project [C:\Backup 17-05-2006\Oscar\AASHTO\AASHTO 02\Manual AASTO 2002\Manual en castellano\Flexible-B.dgp]

- General Information
- Site/Project Identification
- Analysis Parameters

Inputs

- Traffic
  - Traffic Volume Adjustment Factors
    - Monthly Adjustment
    - Vehicle Class Distribution
    - Hourly Truck Distribution
    - Traffic Growth Factor
  - Axle Load Distribution Factors
- General Traffic Inputs
  - Number Axles/Truck
  - Axle Configuration
  - Wheelbase
- Climate
- Structure
- Layers
  - Layer 1 - Asphalt concrete
  - Layer 2 - Soil Cement
  - Layer 3 - A-1-a
  - Layer 4 - A-2-4
  - Layer 5 - A-7-6
- Thermal Cracking

### Asphalt Material Properties

Level:  Asphalt material type:  Layer thickness (in):

- Asphalt Mix
- Asphalt Binder
- Asphalt General

Options

- Superpave binder grading
- Conventional viscosity grade
- Conventional penetration grade

Viscosity Grade

- AC 2.5
- AC 5
- AC 10
- AC 20
- AC 30
- AC 40

A  VTS:

OK  Cancel

Analysis Status:

Analysis	% Complete
Traffic	100%
Climatic	100%
Thermal Cracking	100%
AC Analysis	100%
Summary	100%

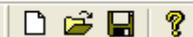
General Project Information:

Parameter	Value
Design Life	New Flexible
Design Life	20 Years
Project Date	C:\Backup 17-05-2006\Oscar
Construction Date	9/2009
Traffic Open Date	10/2009

Properties

Property	Value
Design	US Customary
Analysis Type	Probabilistic
Output Type	Excel Worksheet
Warnings	Enabled





Project [C:\Backup 17-05-2006\Oscar\AASHTO\AASHTO 02\Manual AASTO 2002\Manual en castellano\Flexible-B.dgp]

- General Information
- Site/Project Identification
- Analysis Parameters

- Inputs
- Traffic
    - Traffic Volume Adjustment Factors
      - Monthly Adjustment
      - Vehicle Class Distribution
      - Hourly Truck Distribution
      - Traffic Growth Factor
    - Axle Load Distribution Factors
    - General Traffic Inputs
      - Number Axles/Truck
      - Axle Configuration
      - Wheelbase
  - Climate
  - Structure
  - Layers
    - Layer 1 - Asphalt concrete
    - Layer 2 - Soil Cement
    - Layer 3 - A-1-a
    - Layer 4 - A-2-4
    - Layer 5 - A-7-6
  - Thermal Cracking

### Asphalt Material Properties

Level:

Asphalt material type:

Layer thickness (in):

Asphalt Mix    Asphalt Binder    Asphalt General

Options

- Superpave binder grading
- Conventional viscosity grade
- Conventional penetration grade

Pen Grade

- Pen 40-50
- Pen 60-70
- Pen 85-100
- Pen 120-150
- Pen 200-300

A:    VTS:

OK    Cancel

Analysis Status:

Analysis	% Complete
Traffic	100%
Climatic	100%
Thermal Cracking	100%
AC Analysis	100%
Summary	100%

General Project Information:

Parameter	Value
Type	New Flexible
Design Life	20 Years
Path	C:\Backup 17-05-2006\Oscar\...
Construction Date	9/2009
Official Open Date	10/2009

Properties

Setting	Value
Units	US Customary
Analysis Type	Probabilistic
Output Type	Excel Worksheet
Warnings	Enabled





Project [C:\Backup 17-05-2006\Oscar\AASHTO\AASHTO 02\Manual AASTO 2002\Manual en castellano\Flexible-B.dgp]

- General Information
- Site/Project Identification
- Analysis Parameters

- Inputs
- Traffic
    - Traffic Volume Adjustment Factors
      - Monthly Adjustment
      - Vehicle Class Distribution
      - Hourly Truck Distribution
      - Traffic Growth Factor
    - Axle Load Distribution Factors
    - General Traffic Inputs
      - Number Axles/Truck
      - Axle Configuration
      - Wheelbase
  - Climate
  - Structure
    - Layers
      - Layer 1 - Asphalt concrete
      - Layer 2 - Soil Cement
      - Layer 3 - A-1-a
      - Layer 4 - A-2-4
      - Layer 5 - A-7-6
    - Thermal Cracking

### Asphalt Material Properties

Level:

Asphalt material type:

Layer thickness (in):

Asphalt Mix
  Asphalt Binder
  Asphalt General

Aggregate Gradation

Cumulative % Retained 3/4 inch sieve:

Cumulative % Retained 3/8 inch sieve:

Cumulative % Retained #4 sieve:

% Passing #200 sieve:

OK
  Cancel

Analysis Status:

Analysis	% Complete
Traffic	100%
Climatic	100%
Thermal Cracking	100%
AC Analysis	100%
Summary	100%

General Project Information:

Parameter	Value
Type	New Flexible
Design Life	20 Years
Path	C:\Backup 17-05-2006\Oscar\...
Construction Date	9/2009
Official Open Date	10/2009

Properties

Setting	Value
Units	US Customary
Analysis Type	Probabilistic
Output Type	Excel Worksheet
Warnings	Enabled



## Módulos de capas para diseños de rehabilitación

Nivel 1:

- Determinar  $E^*$  mediante retrocálculo con FWD a distintas temperaturas y tiempo de aplicación de carga.
- Desarrollar la curva maestra del material no dañado considerando envejecimiento del asfalto.
- Estimar daño  $d_j = E_i(\text{NDT})/E^*_{\text{pred}}$
- Aplicando

$$\log(E^*) = \delta + \frac{\alpha}{1 + e^{\beta + \gamma [\log(t) - c (\log(\eta) - \log(\eta_{TR}))]}}$$

Determinar  $\delta$  y  $\alpha$

- Definir  $\alpha' = (1 - d_j) \alpha$
- Desarrollar curva maestra con  $\alpha'$  en lugar de  $\alpha$ .

## Módulos de capas para diseños de rehabilitación

Nivel 2:

- Tomar testigos y en laboratorio determinar composición de mezcla y viscosidad del betún.
- Desarrollar curva maestra del material no dañado envejecido con los datos de testigos.
- Hacer ensayos en laboratorio de módulo resiliente s/protocolo Universidad de Maryland (NCHRP 1-28 A).
- Usar 2 o 3 temperaturas  $< 70^{\circ}\text{F}$  ( $21^{\circ}\text{C}$ ).
- Estimar daño  $d_j = M_{Ri} / E^*_{pred}$
- Definir  $\alpha' = (1 - d_j) \alpha$
- Desarrollar curva maestra con  $\alpha'$  en lugar de  $\alpha$ .

## Módulos de capas para diseños de rehabilitación

Nivel 3:

- Usar estimaciones típicas de  $E^*$  (Composición granulométrica, volumen de vacíos, volumen de áridos y viscosidad del betún).
- Desarrollar curva maestra del material envejecido no dañado.
- Hacer relevamiento in situ de fallas para estimar el daño  $d_j$ .
- Definir  $\alpha' = (1-d_j) \alpha$
- Desarrollar curva maestra con  $\alpha'$  en lugar de  $\alpha$ .



Project [C:\Backup 17-05-2006\Oscar\AASHTO\AASHTO 02\Manual AASHTO 2002\Manual en castellano\Flexible-B.dgp]

- General Information
- Site/Project Identification
- Analysis Parameters

- Inputs
- Traffic
    - Traffic Volume Adjustment Factors
      - Monthly Adjustment
      - Vehicle Class Distribution
      - Hourly Truck Distribution
      - Traffic Growth Factor
    - Axle Load Distribution Factors
    - General Traffic Inputs
      - Number Axles/Truck
      - Axle Configuration
      - Wheelbase
  - Climate
  - Structure
    - Layers
      - Layer 1 - Asphalt concrete
      - Layer 2 - Soil Cement
      - Layer 3 - A-1-a
      - Layer 4 - A-2-4
      - Layer 5 - A-7-6
    - Thermal Cracking

### Asphalt Material Properties

Level:  Asphalt material type:  Layer thickness (in):

Asphalt Mix  Asphalt Binder  Asphalt General

**General**

Reference temperature (F\*):

**Poisson's Ratio**

Use predictive model to calculate Poisson's ratio.

Poisson's ratio:

Parameter a:

Parameter b:

**Volumetric Properties as Built**

Effective binder content (%):

Air voids (%):

Total unit weight (pcf):

**Thermal Properties**

Thermal conductivity asphalt (BTU/hr-ft-F\*):

Heat capacity asphalt (BTU/lb-F\*):

OK  Cancel

Analysis Status:

Analysis	% Complete
Traffic	100%
Climatic	100%
Thermal Cracking	100%
AC Analysis	100%
Summary	100%

General Project Information:

Parameter	Value
Type	New Flexible
Design Life	20 Years
Project Name	C:\Backup 17-05-2006\Oscar\AASHTO 02\Manual en castellano\Flexible-B.dgp
Construction Date	9/2009
Official Open Date	10/2009

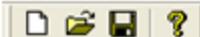
Properties

Property	Value
Analysis Type	US Customary
Analysis Type	Probabilistic
Output Type	Excel Worksheet
Warnings	Enabled



# *Características de materiales estabilizados químicamente*

- Estabilizado con cemento
- Estabilizado con cemento de granulometría abierta
- Suelo-cemento
- Suelo-cal cemento-ceniza volante
- Suelo-cal
- No se incluyen los materiales estabilizados débilmente por conveniencias constructivas. Deben ser considerados como materiales no ligados para fines de diseño



Project [C:\Backup 17-05-2006\Oscar\AASHTO\AASHTO 02\Manual AASTO 2002\Manual en castellano\Flexible-B.dgp]

- General Information
- Site/Project Identification
- Analysis Parameters

## Inputs

- Traffic
  - Traffic Volume Adjustment Factors
    - Monthly Adjustment
    - Vehicle Class Distribution
    - Hourly Truck Distribution
    - Traffic Growth Factor
  - Axle Load Distribution Factors
  - General Traffic Inputs
    - Number Axles/Truck
    - Axle Configuration
    - Wheelbase
- Climate
- Structure
  - Layers
    - Layer 1 - Asphalt concrete
    - Layer 2 - Soil Cement
    - Layer 3 - A-1-a
    - Layer 4 - A-2-4
    - Layer 5 - A-7-6
  - Thermal Cracking

## Chemically Stabilized Material - Layer #2

## General Properties

Material type: Soil Cement

Layer thickness (in): 6

Unit weight (pcf): 150

Poisson's ratio: 0.2

## Strength Properties

Elastic/resilient modulus (psi): 550000

Minimum elastic/resilient modulus (psi): 100000

Modulus of rupture (psi): 150

## Thermal Properties

Thermal conductivity (BTU/hr-ft-F\*): 1.25

Heat capacity (BTU/lb-F\*): 0.28

OK

Cancel

- Rutting
- Rutting (plot)
- IRI (plot)

## Analysis Status:

Analysis	% Complete
<input checked="" type="checkbox"/> Traffic	100%
<input checked="" type="checkbox"/> Climatic	100%
<input checked="" type="checkbox"/> Thermal Cracking	100%
<input checked="" type="checkbox"/> AC Analysis	100%
<input checked="" type="checkbox"/> Summary	100%

## General Project Information:

Parameter	Value
Type	New Flexible
Design Life	20 Years
Climate	C:\Backup 17-05-2006\Oscar\
Construction Date	9/2009
Traffic Open Date	10/2009

## Properties

Setting	Value
Units	US Customary
Analysis Type	Probabilistic
Output Type	Excel Worksheet
Warnings	Enabled



## Comportamiento no lineal

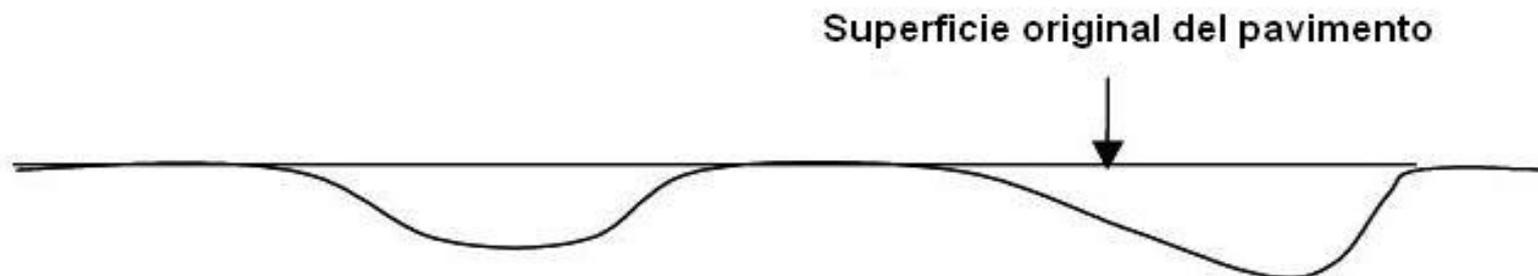
- Variación de módulo con estado de tensiones
- Importante para materiales no ligados. Bases granulares, subbases granulares, suelos de subrasante.
- Sólo se tiene en cuenta en Nivel 1.

$$M_R = k_1 p_a \left( \frac{\theta}{p_a} \right)^{k_2} \left( \frac{\tau_{oct}}{p_a} + 1 \right)^{k_3}$$

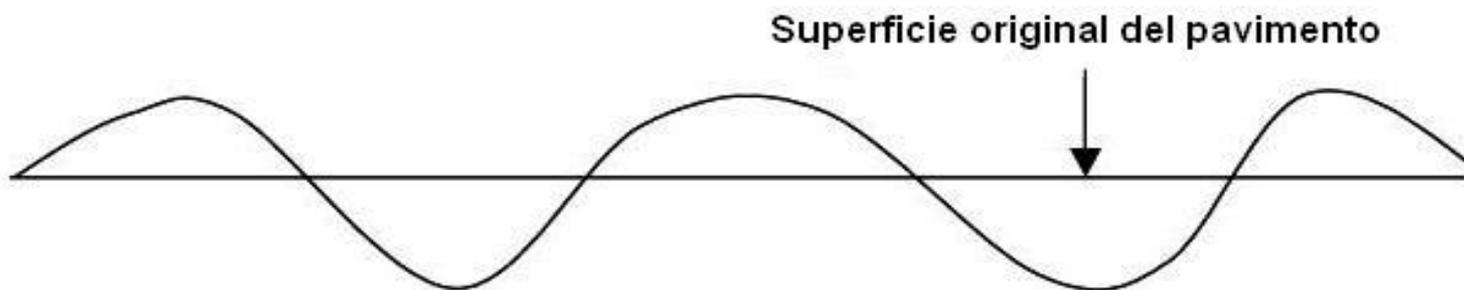
- Niveles 2 y 3, elasticidad lineal, módulo constante independiente de las tensiones, obtenido mediante correlaciones (Nivel 2) o valores adoptados en función del tipo de suelo o de material (Nivel 3).

# Análisis de ahuellamiento

## Tipos de ahuellamiento



a. Densificación unidimensional o compresión vertical



b. Desplazamiento lateral o movimiento plástico bidimensional

## Valores máximos admisibles

- Valores típicos admisibles: 0,3 a 0,5 pulg (8 a 13 mm)

Project Name: Flexible-A  
Initial IRI (in/mi): 68

Analysis Status:

	% Complete
	100%
Cracking	100%
Analysis	100%
	100%

Project Information:

Value
New Flexible
20 Years
C:\Backup 17-05-2006\OscarV
Date 9/2009
Date 10/2009

Value

Value
US Customary
Probabilistic
Excel Worksheet
Enabled

Run Analysis

Performance Criteria

	Limit	Reliability
<input checked="" type="checkbox"/> Terminal IRI (in/mile)	275	80
<input checked="" type="checkbox"/> AC Surface Down Cracking Long. Cracking (ft/mi)	1000	80
<input checked="" type="checkbox"/> AC Bottom Up Cracking Alligator Cracking (%)	25	80
<input checked="" type="checkbox"/> AC Thermal Fracture (ft/mi)	1000	80
<input checked="" type="checkbox"/> Chemically Stabilized Layer Fatigue Fracture(%)	25	80
<input checked="" type="checkbox"/> Permanent Deformation - Total Pavement (in)	1.20	80
<input checked="" type="checkbox"/> Permanent Deformation - AC Only (in)	0.50	80

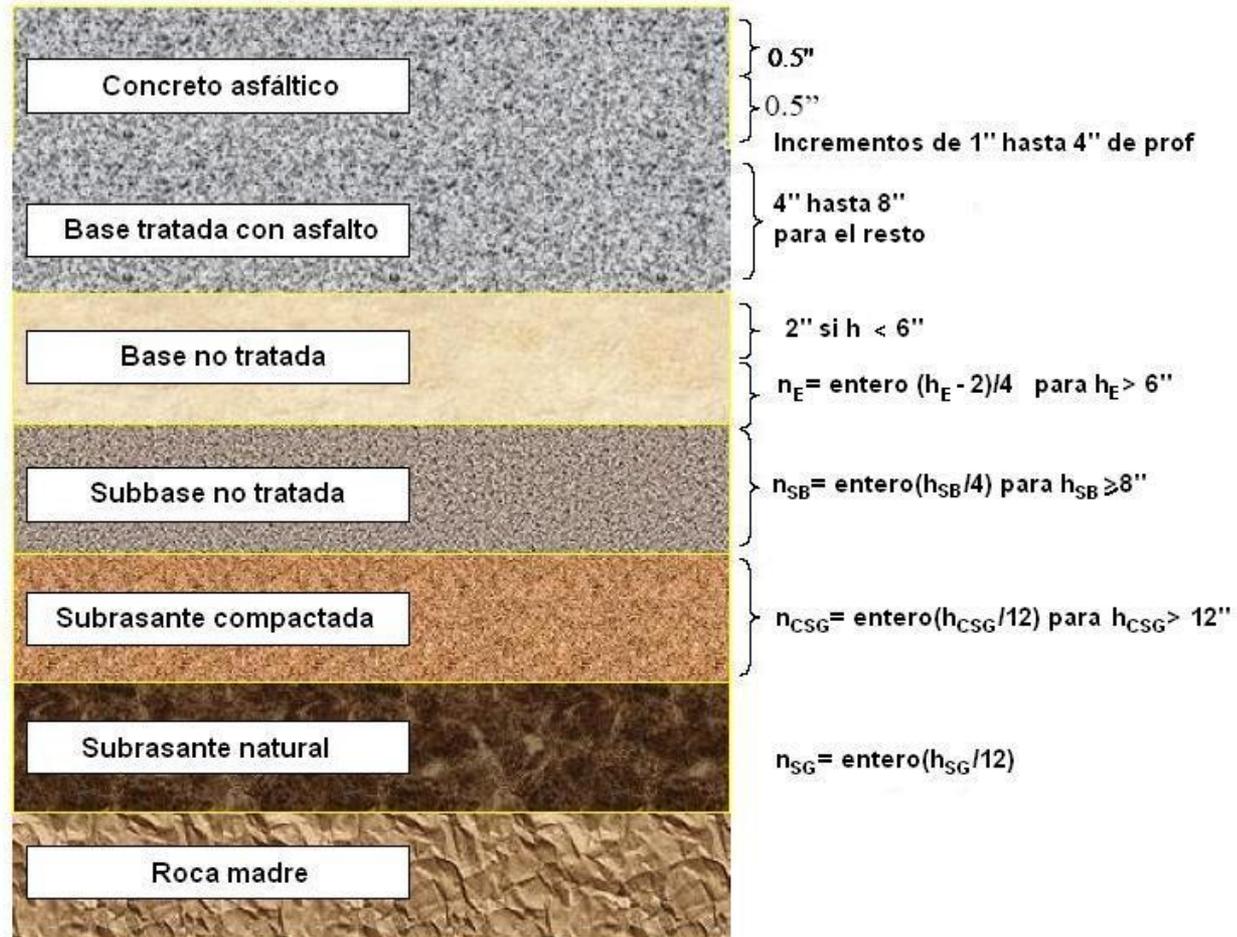
OK Cancel

IRI (plot)

# Análisis de ahuellamiento

## Estructura del pavimento

Máxima profundidad para subdivisión de capas= 8 pies



## Deformación permanente de capas asfálticas

### Calibración para EEUU

$$\left( \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_r} \right) = k_1 \beta_{r1} 10^{-3,35412} T^{1,5606\beta_{r2}} N^{0,4791\beta_{r3}}$$

$$k_1 = (C_1 + C_2 \text{ depth}) 0,328196^{\text{depth}}$$

$$C_1 = -0,1039 h_{ac}^2 + 2,4868 h_{ac} - 17,342$$

$$C_2 = 0,0172 h_{ac}^2 - 1,7331 h_{ac} + 27,428$$

N= 387 observaciones

S<sub>e</sub>= 0,063 pulg

S<sub>e</sub>/S<sub>y</sub>= 0,574

## Deformación permanente para capas no tratadas

$$\delta_a(N) = \beta_{s1} k_1 \left( \frac{\varepsilon_o}{\varepsilon_r} \right) \left[ e^{-\left( \frac{\rho}{N} \right)^\beta} \right] \varepsilon_v h$$

$\delta_a$ = deformación permanente en la capa (pulg).

N= número de repeticiones de cargas.

$\varepsilon_o$ ,  $\beta$ ,  $\rho$ = propiedades de los materiales.

$\varepsilon_r$ = deformación resiliente impuesta en ensayo de laboratorio para obtener las propiedades de los materiales,  $\varepsilon_o$ ,  $\beta$ ,  $\rho$  (pulg/pulg).

$\varepsilon_v$ = deformación vertical resiliente impuesta en la capa, obtenida a partir de un modelo de respuesta primaria (pulg/pulg).

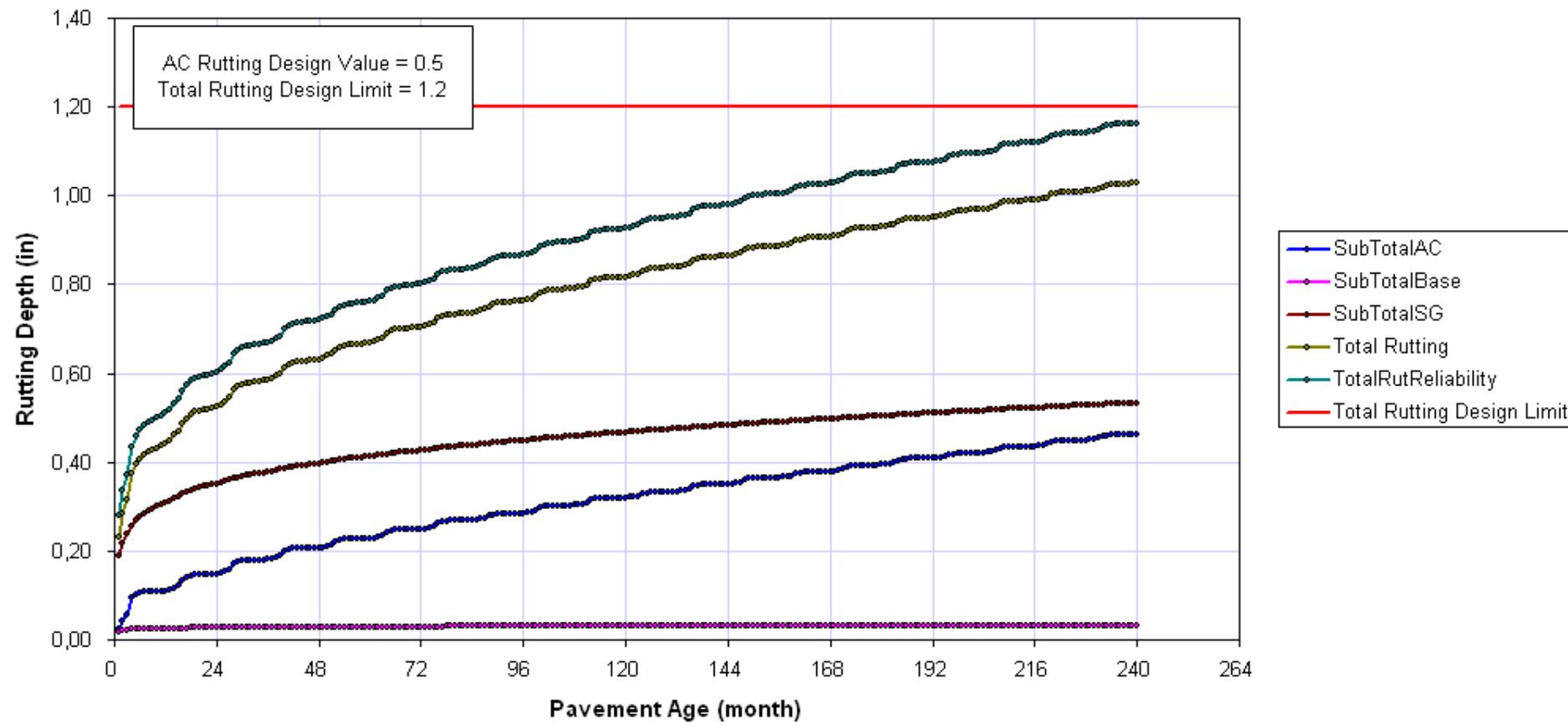
h= espesor de cada capa.

$\beta_1$ = factor de calibración para el material de la capa no tratada o de la subrasante.

✓  $k_1 = 2,03 \rightarrow$  Bases granulares

✓  $k_1 = 1,35 \rightarrow$  Subrasante

### Permanent Deformation: Rutting



## Factores que afectan el ahuellamiento

- Espesor de capas asfálticas.
- Módulo dinámico de capas asfálticas.
- Grado del betún asfáltico usado en la mezcla.
- Vacíos en la mezcla asfáltica.
- Contenido efectivo de betún en la capa asfáltica.
- Tipo de base.
- Espesor de la capa.
- Módulo de la base.
- Cargas de tránsito, área de contacto (impronta) y presión de inflado.
- Velocidad operativa de los vehículos.
- Deriva del tránsito.
- Temperatura y condiciones ambientales.

## Medidas para controlar el ahuellamiento

- Ahuellamiento de capa asfáltica
- ✓ Mejorar la calidad de los materiales → incrementar  $E^*$ 
  - Betún más rígido (más viscoso)
  - Mezcla con menor contenido de asfalto
  - Buena compactación de la mezcla
  - Uso de piedra partida
  - Incremento del tamaño nominal del árido grueso
- El ahuellamiento tiene lugar en las primeras 3 a 5 pulg superiores → incremento de espesor de mezcla de poca calidad no trae reducción de ahuellamiento sino todo lo contrario

## Medidas para controlar el ahuellamiento

- Ahuellamiento de base y subbase
- ✓ Mejorar la calidad de los materiales → incrementar CBR ( $> M_R$ )
  - Piedra partida
  - Buena compactación
  - Empleo de capa estabilizada químicamente elimina el problema de ahuellamiento.
  - Incremento de espesor de capa de poca calidad no trae reducción de ahuellamiento sino todo lo contrario
  - Exceso de humedad en capas de base o subbase ( $< M_R$ ) provoca mayores ahuellamientos

## Medidas para controlar el ahuellamiento

- Ahuellamiento de subrasante
- ✓ Estructura más rígida, menores tensiones en subrasante, menor ahuellamiento de ésta.
  - Incremento del módulo de la capa de mayor espesor.
  - Empleo de capa estabilizada químicamente elimina el problema de ahuellamiento.
  - Incremento de espesor de subbase no ligada
  - Exceso de humedad en capas de base o subbase ( $< M_R$ ) provoca mayores ahuellamientos. Proteger la subrasante de humedad excesiva. Buen drenaje. Geotextiles, geomembranas. Alteo de rasante.
  - Tratamiento de subrasante con cal, cemento.

# *Análisis de ahuellamiento en diseño de refuerzos*

## Valores máximos admisibles

- Igual criterio que para pavimentos nuevos.
- La única diferencia es que hay que considerar el pavimento viejo en el estado en que se encuentra, con las reparaciones previas al refuerzo.

# Análisis de ahuellamiento en diseño de refuerzos

## Alternativas de diseño

C°A° 1	C°A° 1	C°A° 1	C°A° 1
C°A° 2	C°A° 2	C°A° 2	C°A° 2
C°A° 3/BTA	C°A° 3/BTA	BGr	C°A° 3/BTA
Pavimento existente	BGr	C°A° 3/BTA	BTC
	Pavimento existente	Pavimento existente	Pavimento existente
Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4

BTA= base tratada con asfalto  
 BGr= base granular no ligada  
 BTC= base tratada con cemento

# Análisis de ahuellamiento en diseño de refuerzos

## Medición del ahuellamiento existente

- Nivel 1:
  - ✓ Medir el ahuellamiento en cada capa mediante sondeos (zanjeo).
- Niveles 2 y 3:
  - ✓ Valores de ahuellamiento inicial introducidos por el proyectista.

Porcentaje promedio de ahuellamiento superficial para diferentes capas estructurales y subrasante (Aconsejado para Niveles 2 y 3).

Capa	Espesor de concreto asfáltico		
	< 4 pulg (10 cm)	4-8 pulg (10-20 cm)	> 8 pulg
Concreto asfáltico	70	80	100
Base granular	15	10	0
Subbase granular	10	5	0
Subrasante	5	5	0

Analysis Status:

Analysis	% Complete
Traffic	0%
Climatic	0%

### Structure

Surface short-wave absorptivity:

Layers

Layer	Type	Material	Thicknes	Interface	Rut(in)	Crack(%)
1	Asphalt	Asphalt concrete	1.6	1		
2	Asphalt	Asphalt concrete (existing)	2.0	1	0.7	30
3	Granular Base	Crushed stone	8.0	1	0.15	
4	Granular Base	A-1-a	8.0		0.1	
5	Subgrade	A-4	Semi-infinit	n/a	0.05	

**Dg2k2**

The thickness of the existing layer should be the thickness after milling. Milling thickness is used for E\* damage calculations and won't be subtracted from the existing layer thickness.

Opening Date:  Design Life (years):

Flexible Rehabilitation

Rehabilitation Level:

Milled thickness (in):

Geotextile present on existing surface.

Pavement rating:

Total Rutting (in):

Inputs

- Traffic
  - Traffic
  - Mo
  - Vel
  - Ho
  - Tra
- Axle Lo
- Genera
  - Nur
  - Axl
  - WH
- Climate
- Structure
  - Layers
    - Lay
    - Lay
    - Lay
    - Lay
    - Lay
    - Lay
  - Thermal Cracking
    - Crack Spacing (plot)
    - Rutting
    - Rutting (plot)
    - IRI (plot)



# *Calibración a condiciones locales*

## Aproximación para calibración

- Tareas a efectuar para proceder a la calibración:
- ✓ Revisar todos los datos de entrada.
- ✓ Hacer análisis de sensibilidad.
- ✓ Hacer estudios comparativos.
- ✓ Hacer estudios de calibración y de validación.
- ✓ Modificar los coeficientes de calibración dados por defecto.

## Ejemplo

Sea un pavimento flexible de dos trochas, de 15 años de servicio, ubicado en las cercanías de la ciudad de Mendoza, sobre el cual han pasado 3150000 vehículos pesados, con una tasa de crecimiento del 3% anual. La velocidad operativa de los pesados es de 80 km/h (50 mph). Sobre el mismo se observan estos deterioros:

Piel de cocodrilo: 16%

Ahuellamiento total: 2,2 cm (0,87 pulg)

Ahuellamiento en capa asfáltica: 1,3 cm (0,51 pulg)

Fisuras longitudinales: 19 m/km (100 pies/milla)

El paquete está conformado por:

Capa	Espesor
Concreto asfáltico	(2 pulg)
Base granular	(8 pulg)
Subbase granular	(8 pulg)

## Ejemplo

Betún:

Penetración: 40-50

Mezcla:

RT 3/4": 5%

RT 3/8": 40%

RT N°4: 60%

PT N°200: 5%

Propiedades generales:

Temperatura de referencia: 21°C (70°F)

Coeficiente de Poisson: 0,35

Contenido de betún en volumen: 11%

Vacíos en mezcla: 9%

Peso unitario: 23,2 kN/m<sup>3</sup> (148 pcf)

Conductividad térmica: 0,67 Btu/hora-  
pie-°F

Capacidad de calor: 0,23 Btu/lb-°F

## Ejemplo

Base y subbase:

	Base	Subbase
	Piedra partida	A-1-a
PT 2"	---	100%
PT 1 1/2"	100%	95%
PT 3/4"	75%	---
PT 3/8"	60%	60%
PT N°4	45%	---
PT N°10	35%	40%
PT N°40	20%	---
PT N°200	5%	8%
LL	0	0
IP	NP	NP
CBR	80%	40%
GS	2,65	2,65
Ko	0,5	0,5
Coef de Poisson	0,15	0,15

## Ejemplo

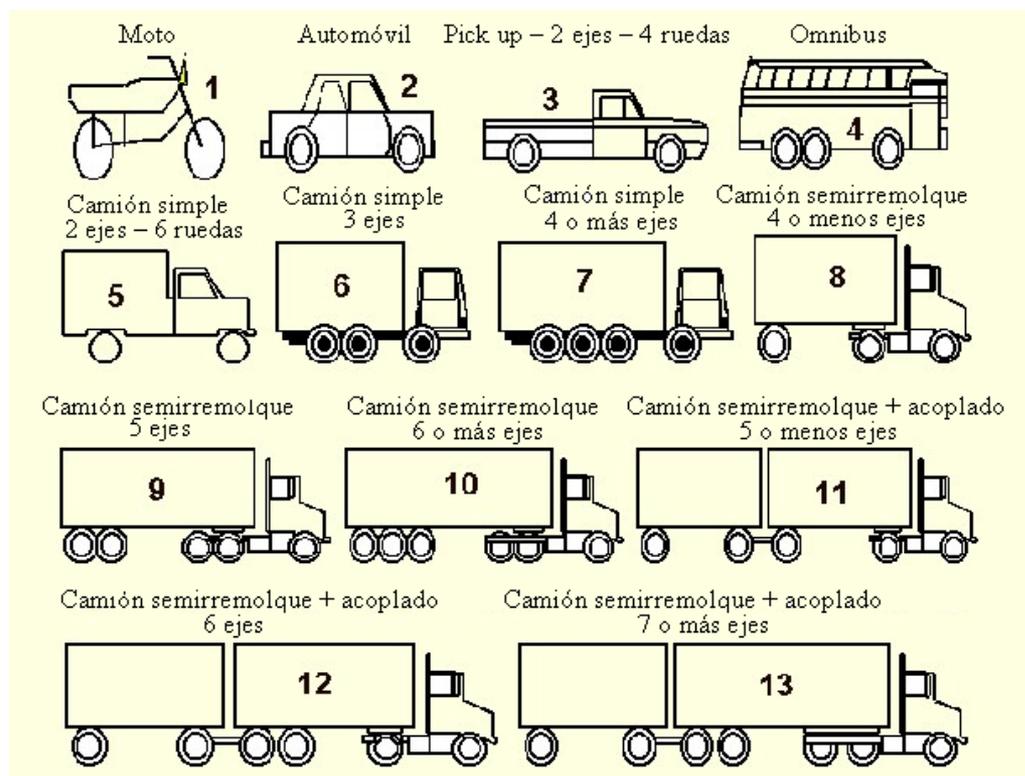
Subrasante:

PT 2"	100%
PT 3/4"	98%
PT 3/8"	95%
PTNº4	80%
PTNº10	60%
PTNº40	45%
PTNº200	16%
LL	35%
IP	9%
Clasificación	A-2-4
CBR	18%
GS	2,65
Ko	0,5
Coef de Poisson	0,20

# Ejemplo

Tránsito:

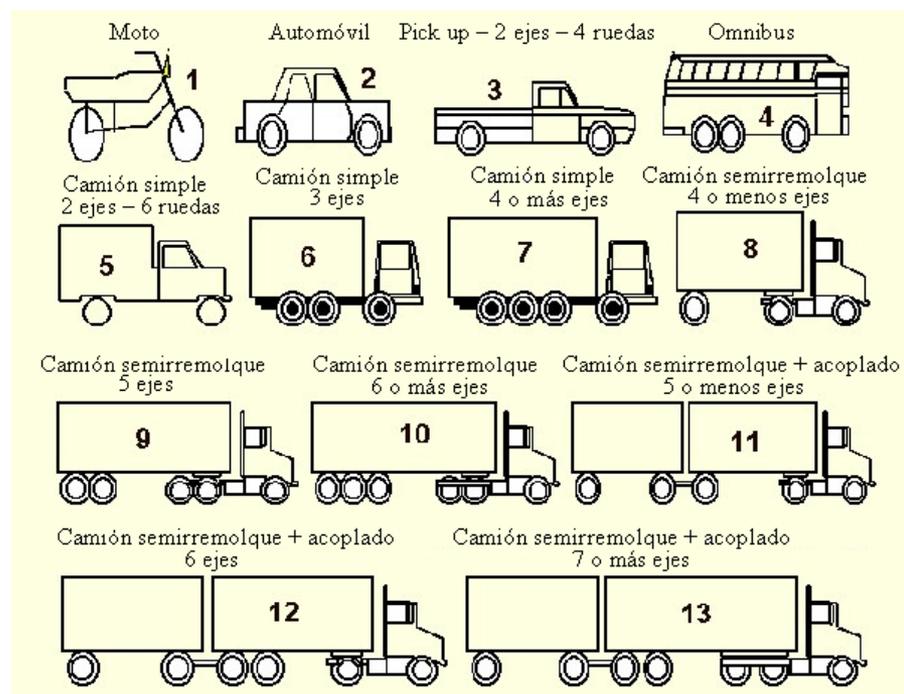
Clase 4	6,1%
Clase 5	7,5%
Clase 6	2,7%
Clase 7	0,5%
Clase 8	17,9%
Clase 9	29,9%
Clase 10	11,9%
Clase 11	18,8%
Clase 12	4,7%
Clase 13	0,0%



# Ejemplo

Distribución de ejes:

Tipo de vehículo	Eje simple	Eje tándem	Eje trídem
Clase 4	1,56	0,44	0,00
Clase 5	2,00	0,00	0,00
Clase 6	1,00	1,00	0,00
Clase 7	1,00	0,00	1,00
Clase 8	2,28	0,72	0,00
Clase 9	1,51	0,98	0,51
Clase 10	1,00	1,00	1,00
Clase 11	3,01	0,97	0,00
Clase 12	2,33	1,33	0,33
Clase 13	2,15	2,13	0,35



## Ejemplo

Ajuste mensual:

Mes	Factor
Enero	1,11
Febrero	1,13
Marzo	1,06
Abril	1,00
Mayo	0,90
Junio	0,87
Julio	1,02
Agosto	0,96
Septiembre	0,94
Octubre	0,98
Noviembre	0,97
Diciembre	1,06

Ajuste diario:

0:00 hs	3,2%	12:00 hs	5,4%
1:00 hs	2,4%	13:00 hs	5,3%
2:00 hs	1,7%	14:00 hs	4,7%
3:00 hs	1,2%	15:00 hs	4,6%
4:00 hs	0,9%	16:00 hs	5,0%
5:00 hs	1,0%	17:00 hs	5,3%
6:00 hs	1,7%	18:00 hs	5,6%
7:00 hs	3,2%	19:00 hs	6,1%
8:00 hs	5,1%	20:00 hs	6,2%
9:00 hs	5,5%	21:00 hs	5,9%
10:00 hs	5,4%	22:00 hs	5,1%
11:00 hs	5,4%	23:00 hs	4,1%

# Ejemplo

Diseñar un refuerzo para una vida útil de 10 años, suponiendo una tasa de crecimiento de 4%. El refuerzo será habilitado tres años después de la observación de fallas en el pavimento existente. Se hace un fresado para eliminar el ahuellamiento existente. Niveles de deterioro previstos:

**Analysis Parameters**

Project Name: Mendoza diseño de refuerzo.dg

Initial IRI (in/mi) 63

Performance Criteria

Rigid Pavement  Flexible Pavement

	Limit	Reliability
<input checked="" type="checkbox"/> Terminal IRI (in/mile)	172	70
<input checked="" type="checkbox"/> AC Surface Down Cracking Long. Cracking (ft/mi)	2000	70
<input checked="" type="checkbox"/> AC Bottom Up Cracking Alligator Cracking (%)	30	70
<input checked="" type="checkbox"/> AC Thermal Fracture (ft/mi)	1000	70
<input type="checkbox"/> Chemically Stabilized Layer Fatigue Fracture(%)		
<input checked="" type="checkbox"/> Permanent Deformation - Total Pavement (in)	0.90	70
<input checked="" type="checkbox"/> Permanent Deformation - AC Only (in)	0.50	70

OK Cancel

## Ejemplo

Refuerzo a construir:

Betún:

Grado de viscosidad: AC-40

Mezcla:

RT 3/4": 5%

RT 3/8": 40%

RT N°4: 60%

PT N°200: 5%

Propiedades generales:

Temperatura de referencia: 21°C (70°F)

Coeficiente de Poisson: 0,35

Contenido de betún en volumen: 11%

Vacíos en mezcla: 9%

Peso unitario: 24 kN/m<sup>3</sup> (152 pcf)

Conductividad térmica: 0,67 Btu/hora-  
pie-°F

Capacidad de calor: 0,23 Btu/lb-°F

# Ejemplo

Coeficientes de calibración a modificar

Piel de cocodrilo	C1	0,456
Ahuellamiento base-subras	$\beta_{s1}$	0,5
Ahuellamiento CºAº	$\beta_{r1}$	2,55
Fisuras longitudinales	C4	6950

Calibración:

$$\delta_a(N) = \beta_{s1} k_1 \left( \frac{\epsilon_o}{\epsilon_r} \right) \left[ e^{-\left( \frac{\rho}{N} \right)^\beta} \right] \epsilon_v h$$

$$\left( \frac{\epsilon_p}{\epsilon_r} \right) = k_1 \beta_{r1} 10^{-3,35412} T^{1,5606} \beta_{r2} N^{0,4791} \beta_{r3}$$

Performance Criteria (Calibrado a 15 años)	Distress Target	Reliability Target	Distress Predicted	Reliability Predicted	Acceptable
Terminal IRI (in/mi)	172	50	112,3	97,07	Pass
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking)	100	50	100	50	Fail
AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (%):	16	50	16	50	Fail
AC Thermal Fracture (Transverse Cracking)	1000	50	1	94,16	Pass
Permanent Deformation (AC Only) (in):	0,51	50	0,51	49,75	Fail
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0,87	50	0,87	49,34	Fail

# Ejemplo

Calibración:

Performance Criteria (Deterioro previsto a 18 años)	Distress Target	Reliability Target	Distress Predicted	Reliability Predicted	Acceptable
Terminal IRI (in/mi)	172	50	117,2	95,43	Pass
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking)	100	50	140	48,42	Fail
AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (%):	16	50	22,4	30,37	Fail
AC Thermal Fracture (Transverse Cracking)	1000	50	1	99,999	Pass
Permanent Deformation (AC Only) (in):	0,51	50	0,57	35,18	Fail
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0,87	50	0,88	46,64	Fail

Def permanente  
(pulg)

CºAº	0,57	Distr def
Base	0,155	0,5
Subbase	0,10	0,33
Subras	0,05	0,167
Total	0,88	

Deterioros obtenidos con los modelos calibrados al momento de habilitación del refuerzo.

# Ejemplo

Carga en el MEPDG:

Def permanente (pulg)		
CºAº	0,57	Distr def
Base	0,155	0,5
Subbase	0,10	0,33
Subras	0,05	0,167
Total	0,88	

Todas las fisuras son reparadas

Descontado el fresado

Type	Material	Thickness	Interface	Rut (in)	Crack (%)
Asphalt	Asphalt concrete	1,6	1		
Asphalt	Asphalt concrete (existing)	1,12	1	0,57	0
Granular Base	Crushed stone	8	1	0,155	
Granular Base	A-1-a	8	1	0,1	
Subgrade	A-2-4	Semi-infinite	n/a	0,05	

Mendoza diseño de refuerzo.dgp - Mechanistic Empirical Pavement Design Guide

File Edit View Tools Help

Project [D:\CORDO\aaasto02\Manual en Castellano\Diapositivas adaptadas a MEPDG v1.1\MEPDG-Abril 2014\Problemas-Curso MEPDG\Mendoza diseño de refuerzo.dgp]

- General Information
- Site/Project Identification
- Analysis Parameters

Analysis Status:

Analysis	% Complete
Traffic	100%
Climatic	100%
	100%
	100%
	100%

Inputs

- Traffic
  - Traffic Volume Adjustment Factors
    - Monthly Adjustment
    - Vehicle Class Distribution
    - Hourly Truck Distribution
    - Traffic Growth Factor
  - Axle Load Distribution Factors
- General Traffic Inputs
  - Number Axles/Truck
  - Axle Configuration
  - Wheelbase
- Climate
- Structure
  - HMA Design Properties
  - Layers
    - Layer 1 - Asphalt concrete
    - Layer 2 - Asphalt concrete (existing)
    - Layer 3 - Crushed stone
    - Layer 4 - A-1-a
    - Layer 5 - A-2-4
  - Thermal Cracking

Structure

Surface short-wave absorptivity: 0.85

Layers

Layer	Type	Material	Thicknes	Interface	Rut(in)	Crack(%)
1	Asphalt	Asphalt concrete	1.6	1		
2	Asphalt	Asphalt concrete (existing)	1.1	1	0.57	0
3	Granular Base	Crushed stone	8.0	1	0.155	
4	Granular Base	A-1-a	8.0	1	0.1	
5	Subgrade	A-2-4	Semi-infnit	n/a	0.05	

Flexible Rehabilitation

Rehabilitation Level: Level 2

Milled thickness (in): 0.88

Pavement rating:

Total Rutting (in):

Opening Date: February, 2014    Design Life (years): 10

OK    Cancel

Run Analysis

- Crack Spacing (plot)
- Rutting
- Rutting (plot)
- IRI (plot)

# Ejemplo

## Resultados:

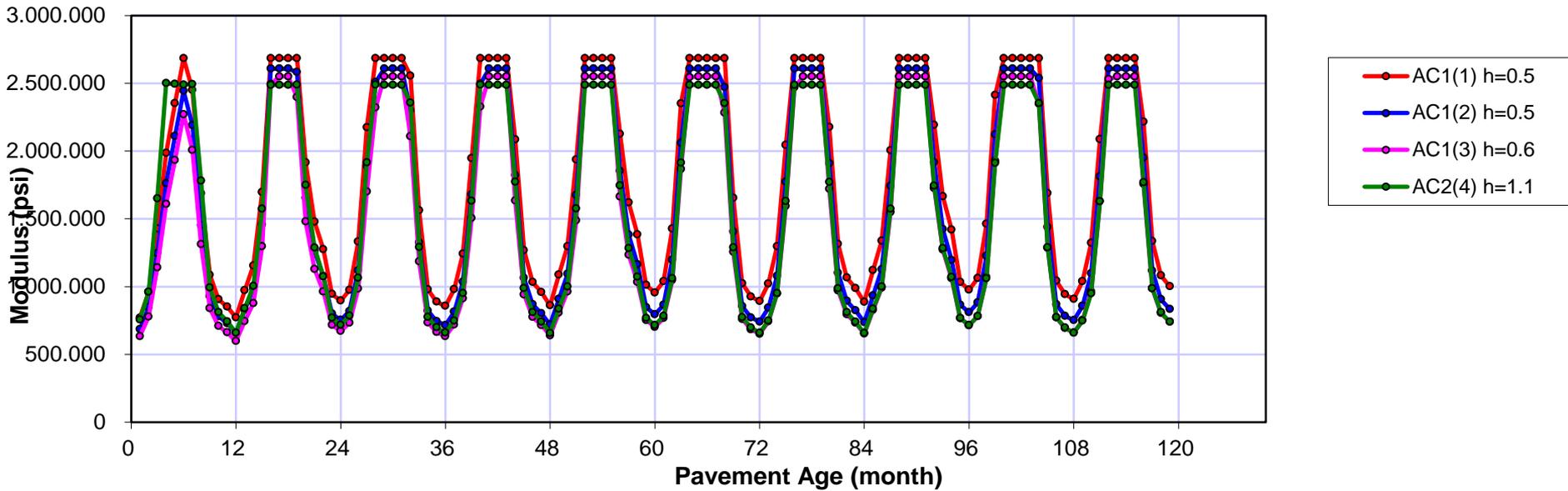
Performance Criteria		Distress Target	Reliability Target	Distress Predicted	Reliability Predicted	Acceptable	
Dol	2,2 pulg						
Fresado= 0,88	Terminal IRI (in/mi)	172	70	88,5	99,95	Pass	
Dexist= 1,12	AC Surface Down Cracking (Long. Cracking)	2000	70	653	80,83	Pass	
	AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (%):	30	70	0,3	99,999	Pass	45,346
	AC Thermal Fracture (Transverse Cracking)	1000	70	1	99,999	Pass	
	Permanent Deformation (AC Only) (in):	0,5	70	0,44	67,12	Fail	
	Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0,9	70	0,46	99,97	Pass	

Performance Criteria		Distress Target	Reliability Target	Distress Predicted	Reliability Predicted	Acceptable	
Dol	2,0 pulg						
Fresado= 0,88	Terminal IRI (in/mi)	172	70	86,4	99,97	Pass	
Dexist= 1,12	AC Surface Down Cracking (Long. Cracking)	2000	70	574	82,92	Pass	
	AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (%):	30	70	0,1	99,999	Pass	41,4318
	AC Thermal Fracture (Transverse Cracking)	1000	70	1	99,999	Pass	
	Permanent Deformation (AC Only) (in):	0,5	70	0,39	82,98	Pass	
	Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0,9	70	0,41	99,999	Pass	

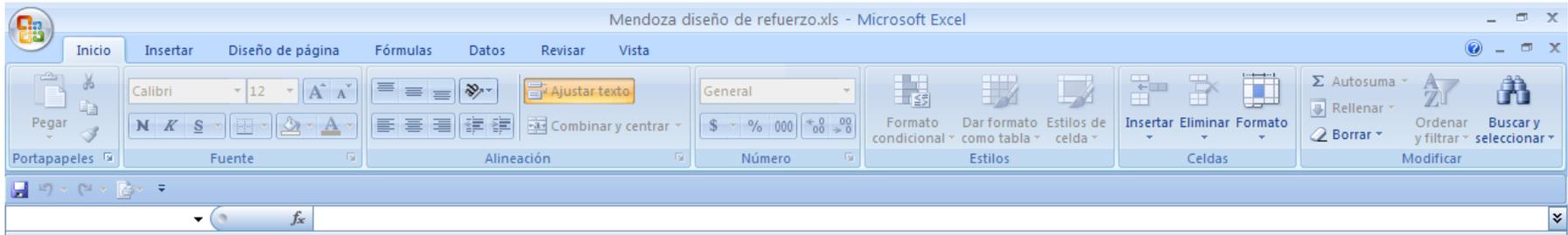
Performance Criteria		Distress Target	Reliability Target	Distress Predicted	Reliability Predicted	Acceptable	
Dol	1,6 pulg						
Fresado= 0,88	Terminal IRI (in/mi)	172	70	85,7	99,98	Pass	
Dexist= 1,12	AC Surface Down Cracking (Long. Cracking)	2000	70	656	80,76	Pass	
	AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (%):	30	70	0	99,999	Pass	24,281
	AC Thermal Fracture (Transverse Cracking)	1000	70	1	99,999	Pass	
	Permanent Deformation (AC Only) (in):	0,5	70	0,37	87,99	Pass	
	Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0,9	70	0,39	99,999	Pass	

# Variación de módulo de capa asfáltica

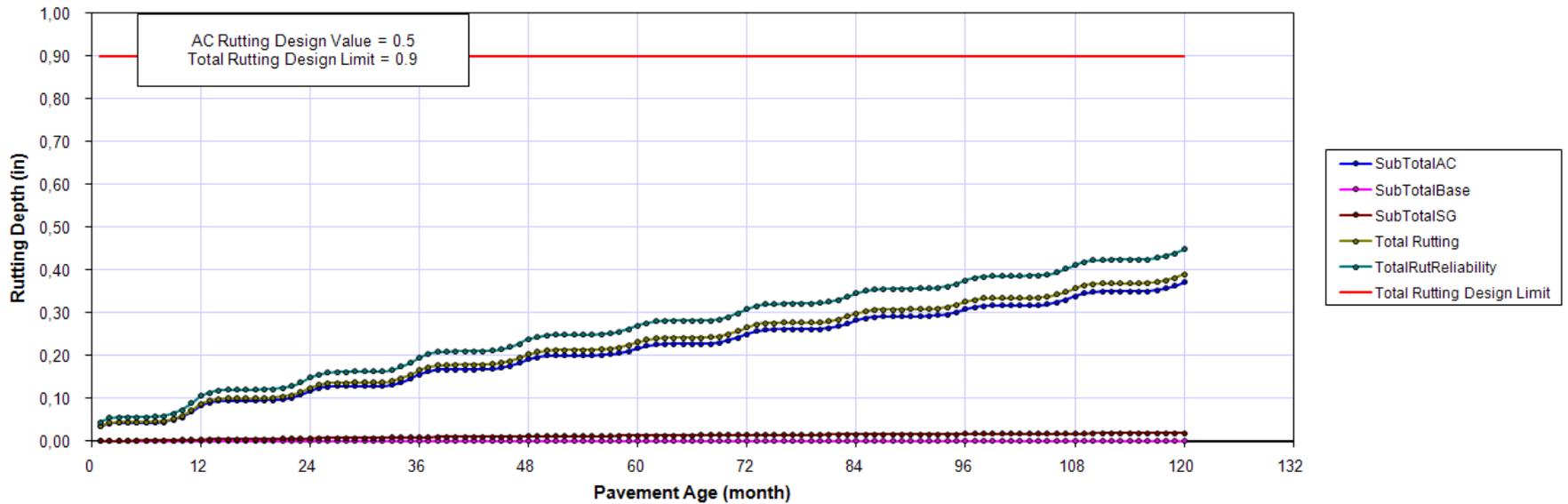
Asphalt Sub-Layers Modulus Vs Time



# Variación de ahuellamiento



## Permanent Deformation: Rutting



## ***Efectos de la velocidad de los vehículos en el ahuellamiento***

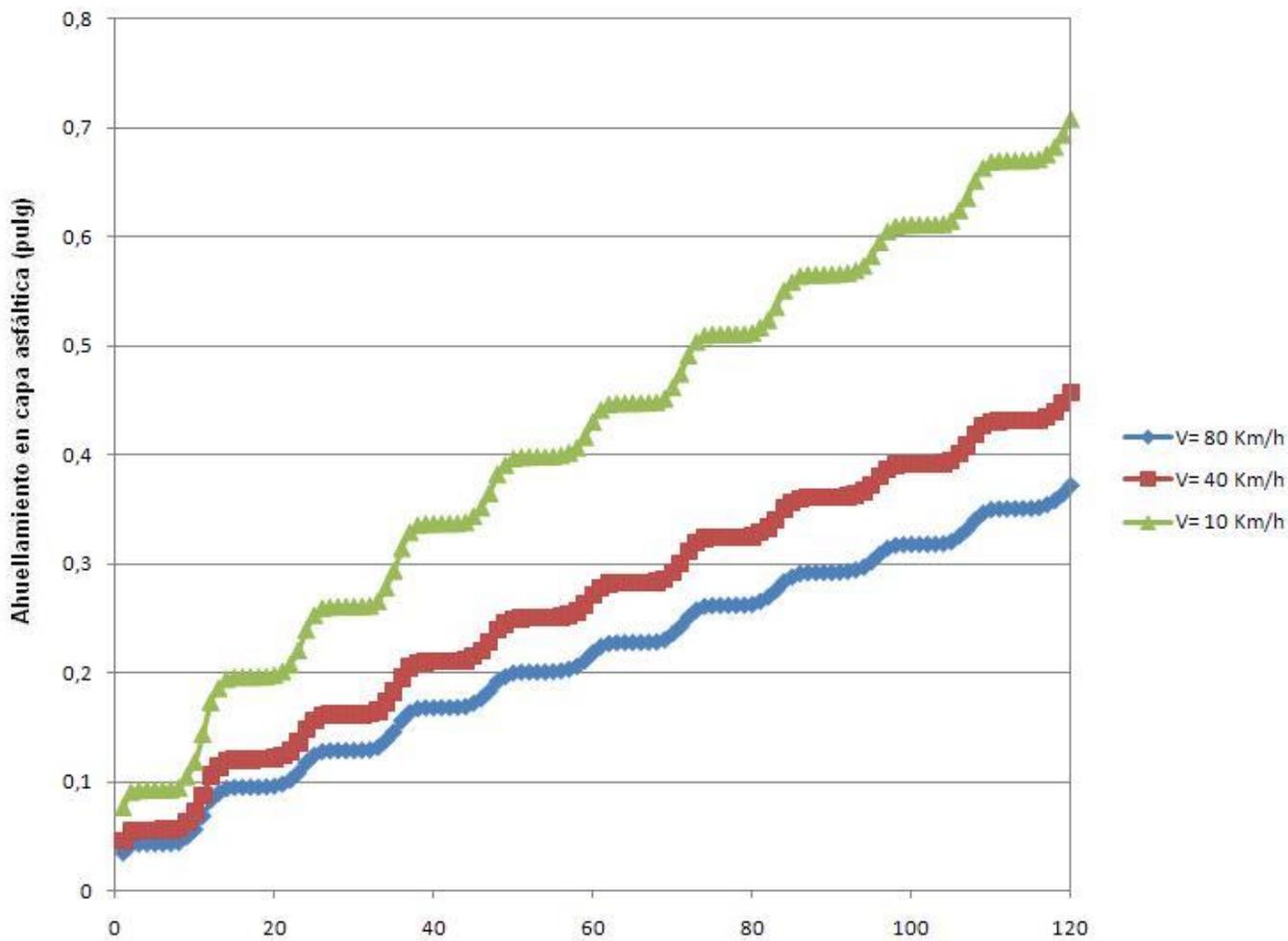
- A medida que baja la velocidad aumenta el ahuellamiento
- Causa: a menor velocidad  $< E^*$  → mezcla más deformable.
- Se analiza el mismo caso anterior, pero con velocidades operativas de los vehículos de 40 Km/h (Zona urbana) y 10 Km/h (Zona de estacionamiento o de acopio de mercadería).

<b>V= 80 Km/h</b>	Distress Target	Reliability Target	Distress Predicted	Reliability Predicted	Acceptable
Terminal IRI (in/mi)	172	70	85,7	99,98	Pass
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking) (ft/mile):	2000	70	656	80,76	Pass
AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (%):	30	70	0	99,999	Pass
AC Thermal Fracture (Transverse Cracking) (ft/mi):	1000	70	1	99,999	Pass
Permanent Deformation (AC Only) (in):	0,5	70	0,37	87,99	Pass
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0,9	70	0,39	99,999	Pass

<b>V= 40 Km/h</b>	Distress Target	Reliability Target	Distress Predicted	Reliability Predicted	Acceptable
Terminal IRI (in/mi)	172	70	89,1	99,94	Pass
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking) (ft/mile):	2000	70	830	76,39	Pass
AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (%):	30	70	0	99,999	Pass
AC Thermal Fracture (Transverse Cracking) (ft/mi):	1000	70	1	99,999	Pass
Permanent Deformation (AC Only) (in):	0,5	70	0,46	63,12	Fail
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0,9	70	0,48	99,94	Pass

<b>V= 10 Km/h</b>	Distress Target	Reliability Target	Distress Predicted	Reliability Predicted	Acceptable
Terminal IRI (in/mi)	172	70	99,2	99,49	Pass
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking) (ft/mile):	2000	70	1360	63,97	Fail
AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (%):	30	70	0	99,999	Pass
AC Thermal Fracture (Transverse Cracking) (ft/mi):	1000	70	1	99,999	Pass
Permanent Deformation (AC Only) (in):	0,5	70	0,71	12,75	Fail
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0,9	70	0,73	82,27	Pass

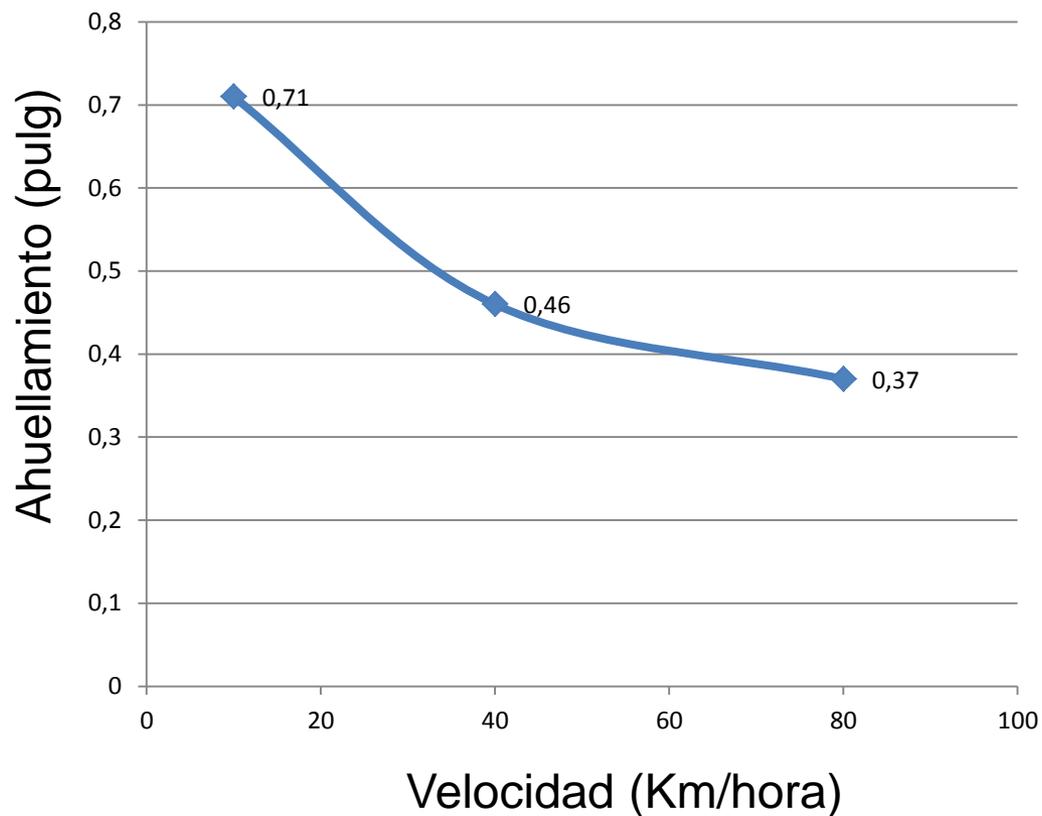
# Ahuellamiento en capas asfálticas



# Ahuellamiento en capas asfálticas

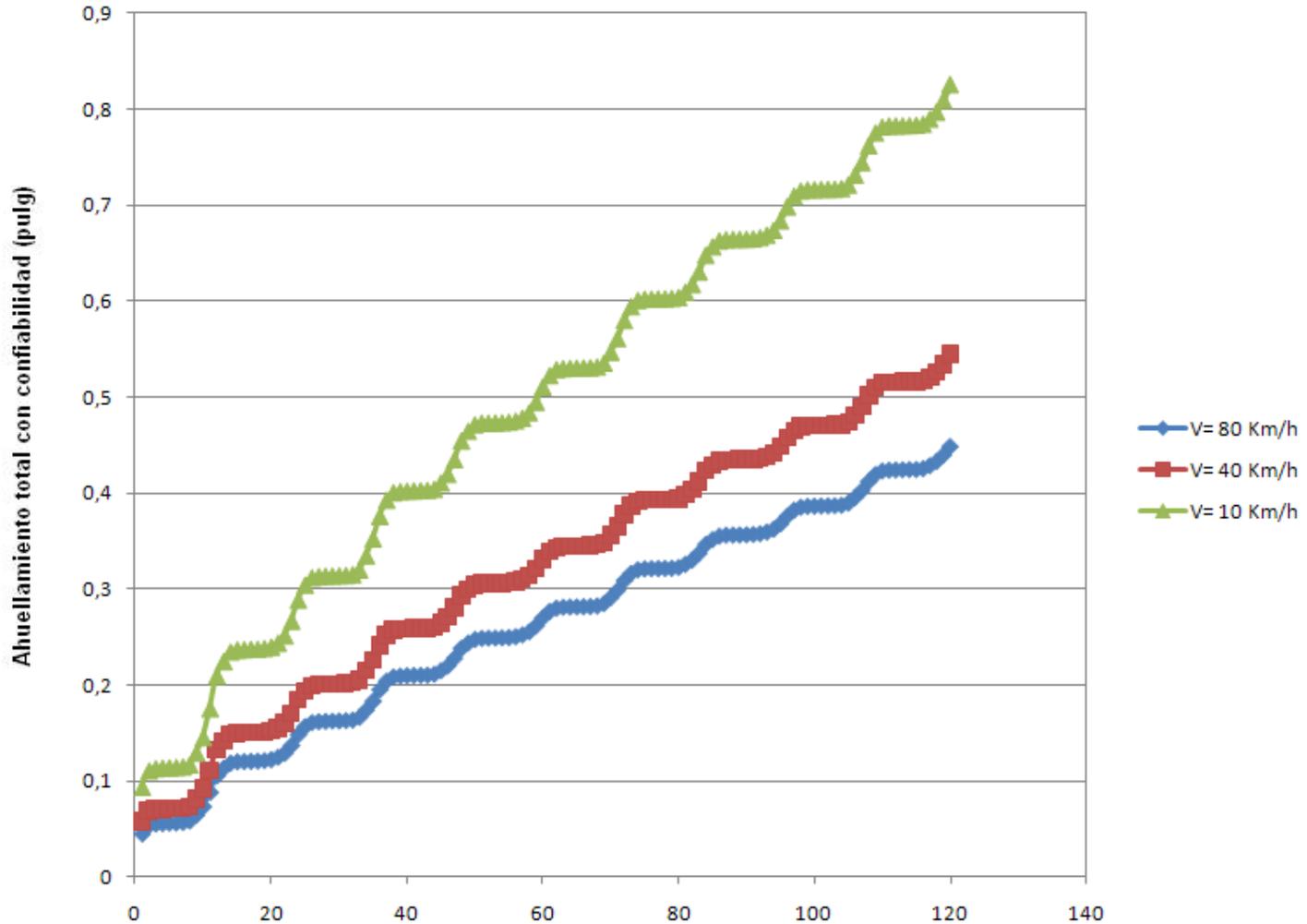
## Ahuellamiento en capas asfálticas

V (Km/h)	Ahuellamiento (pulg)	Ahuellamiento (mm)
10	0,71	18,0
40	0,46	11,7
80	0,37	9,4





# Ahuellamiento total con confiabilidad



## Conclusiones

- Se observa un marcado incremento del ahuellamiento a medida que baja la velocidad operativa de los vehículos, especialmente para capas asfálticas (sensibles a este fenómeno por el comportamiento viscoelástico del betún asfáltico). Sufre un incremento de 0,37 pulg (9,4 mm) a 80 Km/hora a 0,71 pulg (18,0 mm) a 10 Km/hora (92%).
- A  $V= 40$  Km/hora el diseño no satisface el criterio de ahuellamiento máximo de 0,5 pulg con confiabilidad  $R= 70\%$  que había sido propuesto. Deberá modificarse la mezcla proponiendo un asfalto más viscoso y/o áridos de mayor granulometría. Como alternativa, usar un betún con polímeros o mezclas SMA (En estos casos trabajar en Nivel 1).
- El método MEPDG es el adecuado para diseño de calzadas con velocidades operativas no convencionales.