



Proyecto DIUFRO DII8-0053  
Departamento de Ingeniería de Obras Civiles  
Universidad de La Frontera



# “Nuevo método para evaluar el comportamiento a fatiga de mezclas asfálticas en un menor tiempo”.

III Jornadas Chilenas de la Construcción  
5 y 6 septiembre 2018

Ing. Luis Mardones P. – Ing. Gonzalo Valdés V.  
– Ing. Elsa Sánchez – Ing. Alejandra Calabi

# Equipo de trabajo UFRO





# Resumen de la Presentación

- Introducción
  - Generalidades.
  - Deterioros de los pavimentos asfálticos.
  - Fisuración por fatiga.
- Metodología DUSST.
  - Propuesta Ensayo de Fatiga Acelerado
  - Ejemplo de Aplicación y Resultados
- Conclusiones.



# Introducción

¿Como se compone esta red vial  
 pavimentada en Chile?

≈10% Hormigón



MOP, 2017

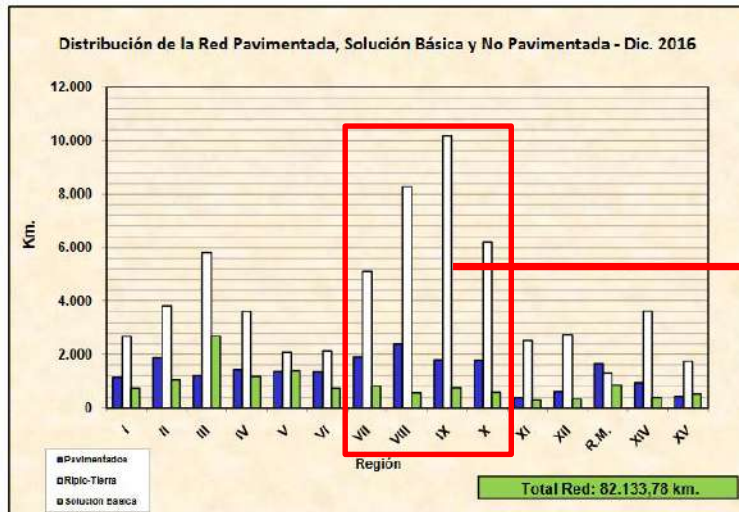
¿en el Mundo? ≈ 95% Asfalto

A.I., 2007



Longitud Red Vial Nacional  
 82.133 Km (≈25% Pav.)  
 110.000 Km (≈18% Pav.)

MOP. 2017

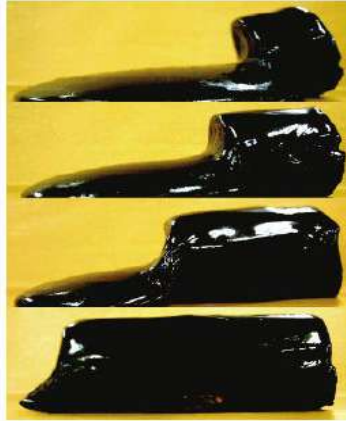


Déficit de pavimentación  
 asciende a un 85%.



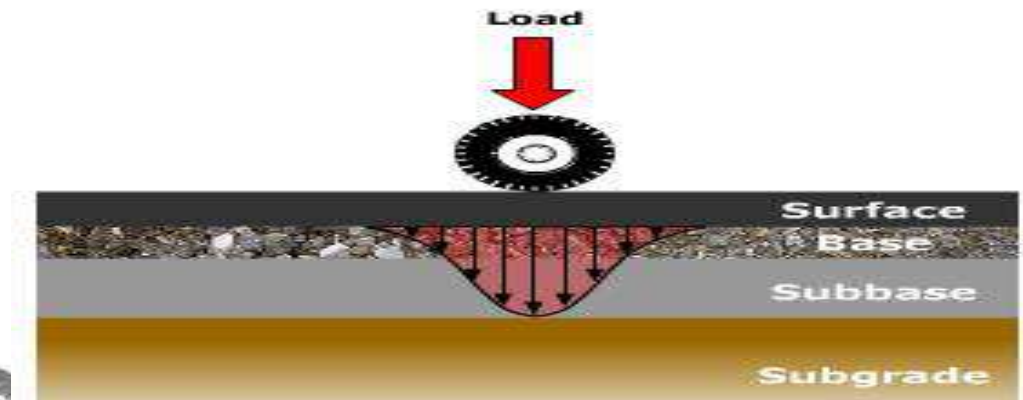
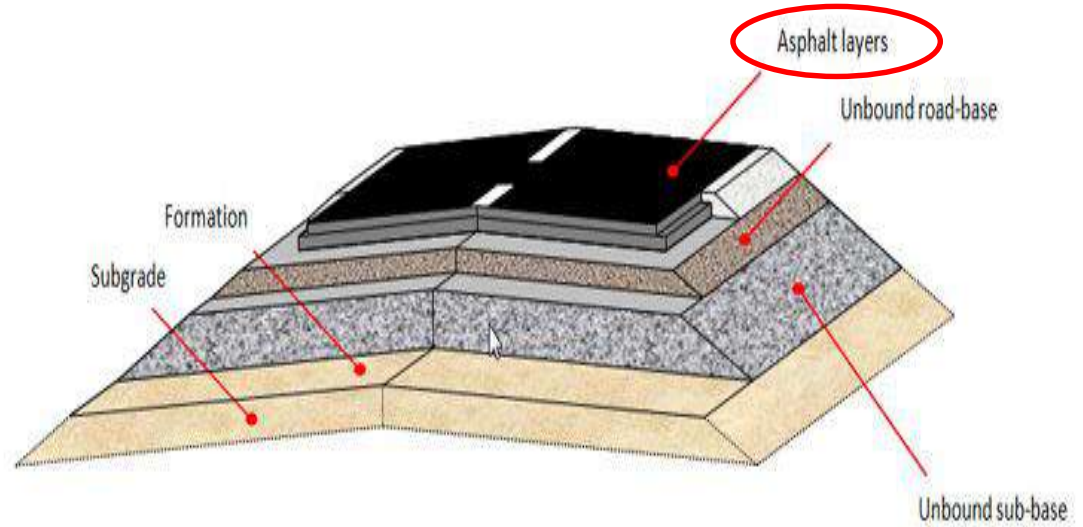
# Introducción

Mezclas Asfálticas

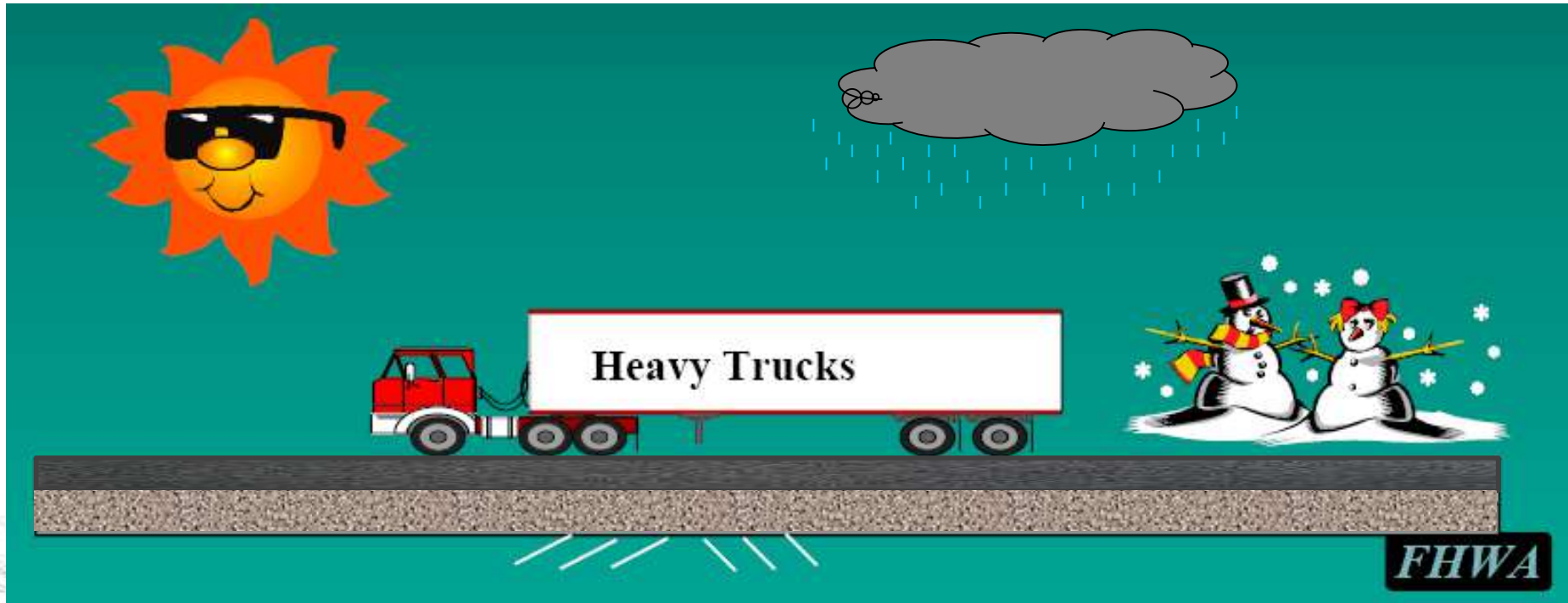


Cemento Asfáltico

Árido Procesado



# Introducción



Tráfico

(Cargas dinámicas → Fatiga)



Medioambiente

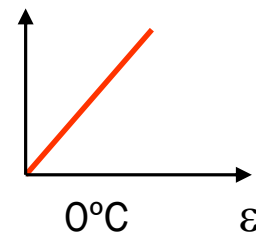
(Gradientes  $T^{\circ}$ , daño por humedad y envejecimiento)

# Introducción

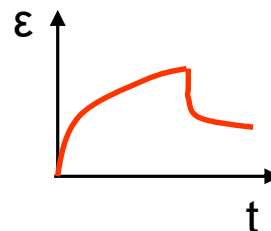
**Durabilidad de las Estructuras de Pavimento**

**Mejorar el diseño de los materiales**

$\sigma$  Sólido- elástico



Viscoelástico



0°C

10°C

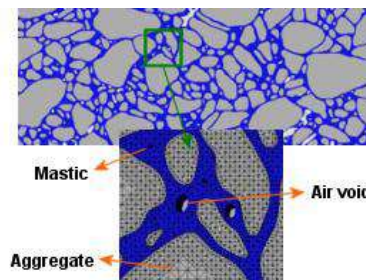
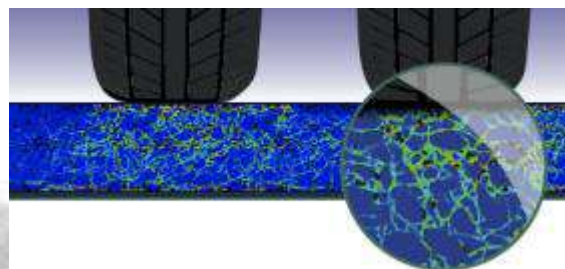
25°C

60°C

Clima frío

Temperatura intermedia

Clima cálido



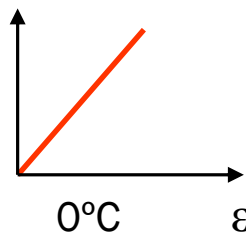
**Susceptibilidad Térmica: Diferente respuesta del material**

# Introducción

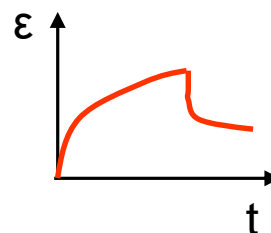
**Durabilidad de las Estructuras de Pavimento**

**Mejorar el diseño de los materiales**

$\sigma$  Sólido- elástico



Viscoelástico



0°C

$\epsilon$

10°C

25°C

$t$

60°C

Clima frío

Temperatura intermedia

Clima cálido

**Fisuración Térmica**

**Agrietamiento por Fatiga**

**Defor. Plásticas**

**Susceptibilidad Térmica: Diferente respuesta del material**

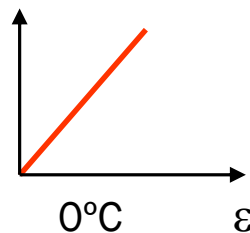


# Introducción

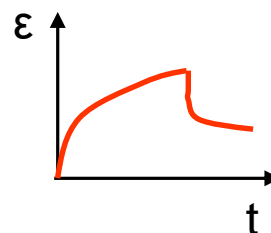
**Durabilidad de las Estructuras de Pavimento**

**Mejorar el diseño de los materiales**

$\sigma$  Sólido- elástico



Viscoelástico



**Daño por Humedad**

0°C

$\varepsilon$

10°C

25°C

t

60°C

Clima frío

Temperatura intermedia

Clima cálido

**Fisuración Térmica**

**Agrietamiento por Fatiga**

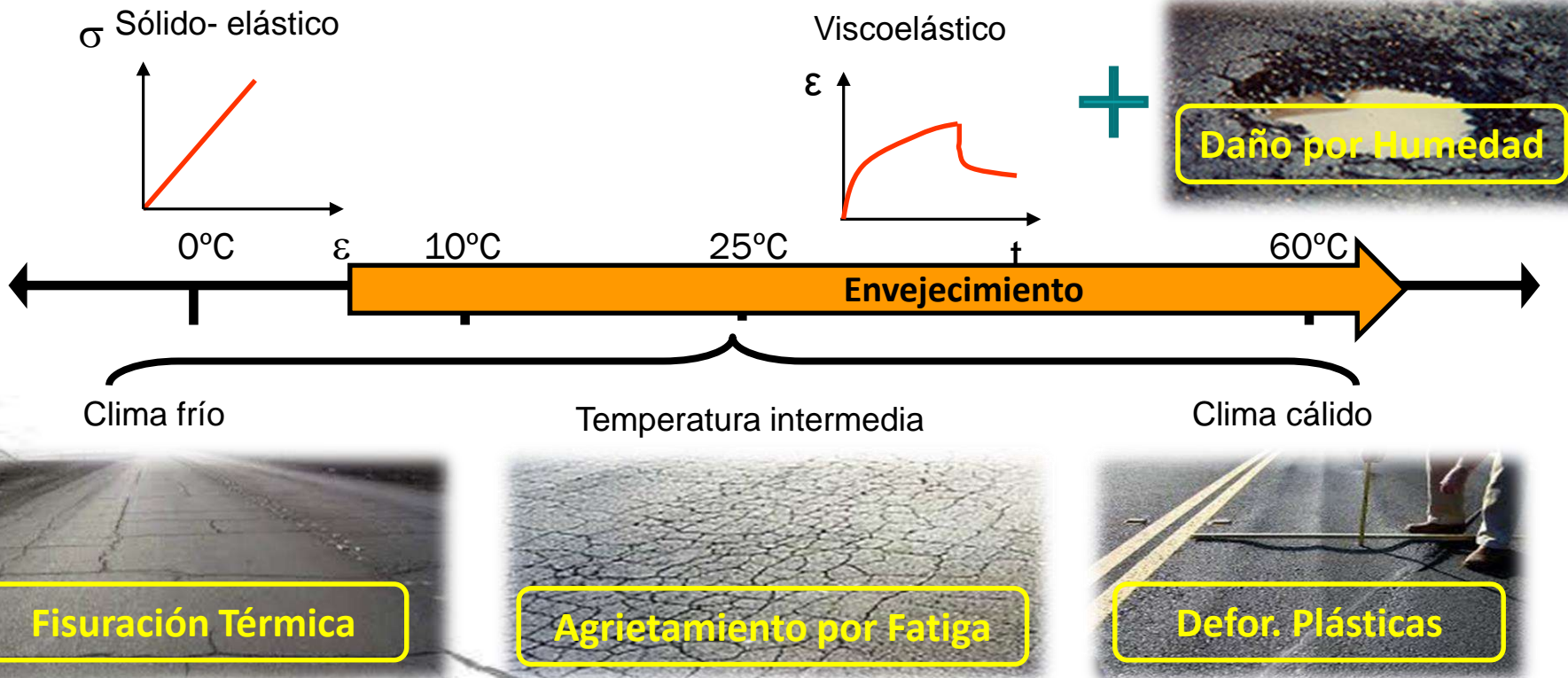
**Defor. Plásticas**

**Susceptibilidad Térmica: Diferente respuesta del material**

# Introducción

**Durabilidad de las Estructuras de Pavimento**

**Mejorar el diseño de los materiales**

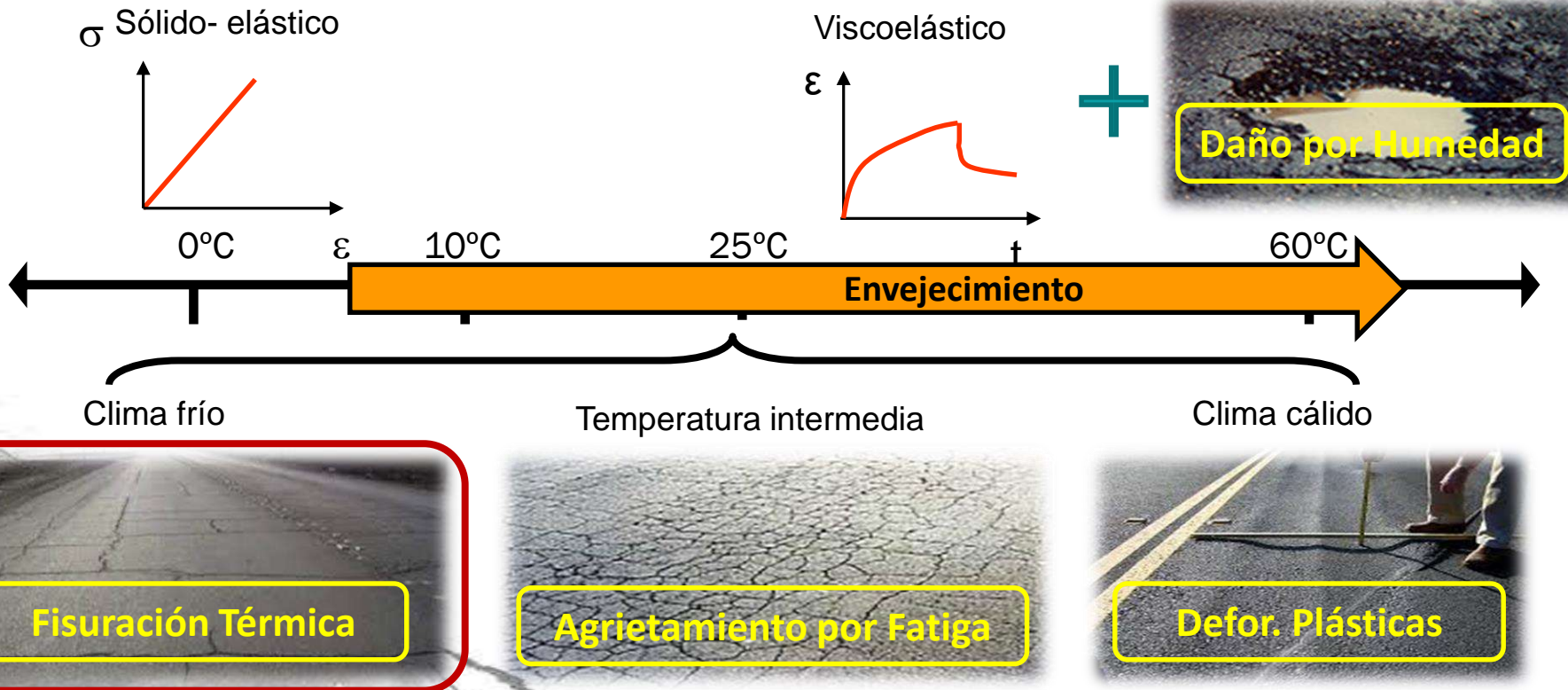


**Susceptibilidad Térmica: Diferente respuesta del material**

# Introducción

**Durabilidad de las Estructuras de Pavimento**

**Mejorar el diseño de los materiales**



**Susceptibilidad Térmica: Diferente respuesta del material**

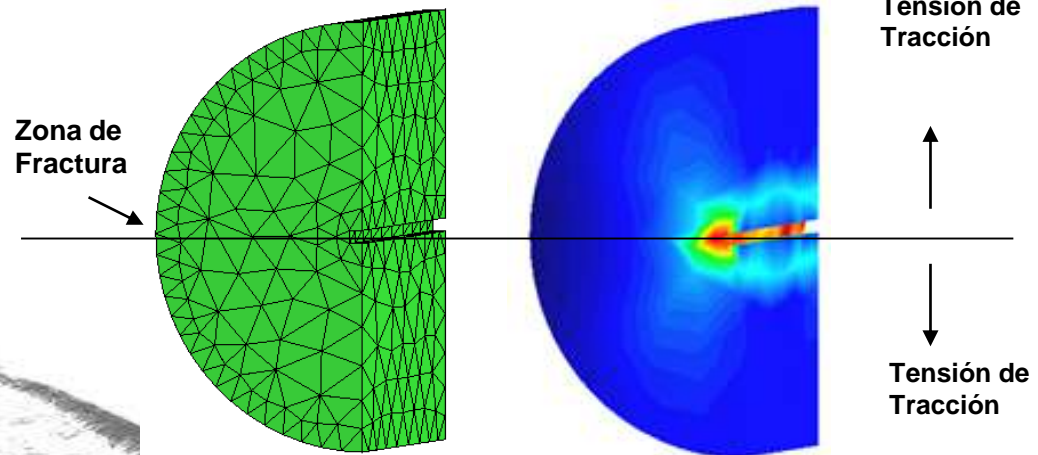
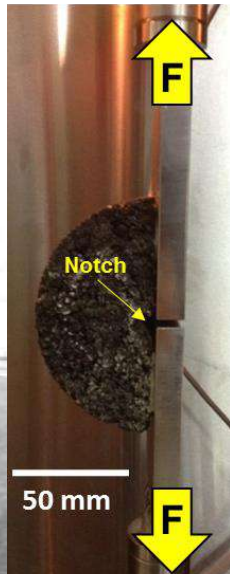
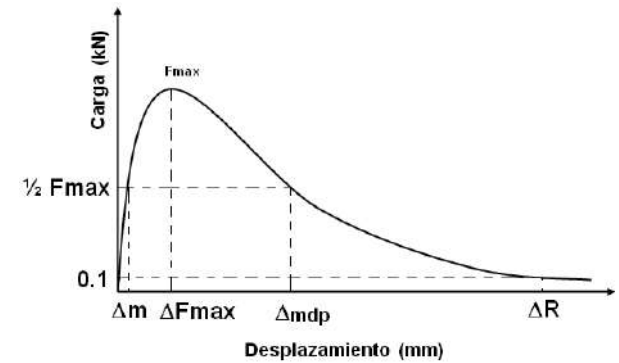
# Introducción

Durabilidad de las Estructuras de Pavimento

Mejorar el diseño de los materiales

Fisuración Térmica

ENSAYO FÉNIX

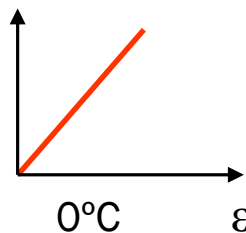


# Introducción

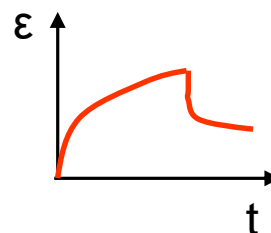
**Durabilidad de las Estructuras de Pavimento**

**Mejorar el diseño de los materiales**

$\sigma$  Sólido- elástico



Viscoelástico



+

**Daño por Humedad**

0°C

$\varepsilon$

10°C

25°C

t

60°C

Clima frío

Temperatura intermedia

Clima cálido

**Fisuración Térmica**

**Agrietamiento por Fatiga**

**Defor. Plásticas**

**Susceptibilidad Térmica: Diferente respuesta del material**

# Introducción

**Durabilidad de las Estructuras de Pavimento**

**Mejorar el diseño de los materiales**



**ENSAYO RUEDA DE HAMBURGO**



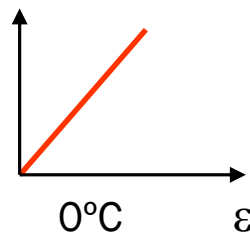
**T<sub>a</sub> = 50 °C (agua) - Carga 705 N - 20.000 pasadas**

# Introducción

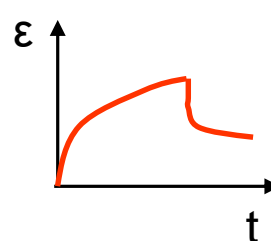
**Durabilidad de las Estructuras de Pavimento**

**Mejorar el diseño de los materiales**

$\sigma$  Sólido- elástico



Viscoelástico



+

**Daño por Humedad**

60°C

Clima frío

Temperatura intermedia

Clima cálido

**Fisuración Térmica**

**Agrietamiento por Fatiga**

**Defor. Plásticas**

**Susceptibilidad Térmica: Diferente respuesta del material**

# Introducción

Durabilidad de las Estructuras de Pavimento

Mejorar el diseño de los materiales



ENSAYO SENSIBILIDAD AL AGUA: UNE-EN 12697 -12



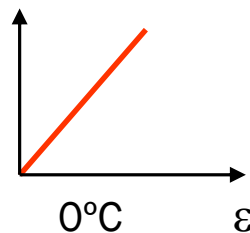


# Introducción

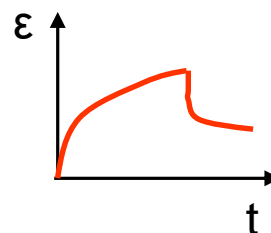
**Durabilidad de las Estructuras de Pavimento**

**Mejorar el diseño de los materiales**

$\sigma$  Sólido- elástico



Viscoelástico



+

**Daño por Humedad**

0°C

$\varepsilon$

10°C

25°C

t

60°C

Clima frío

Temperatura intermedia

Clima cálido

**Fisuración Térmica**

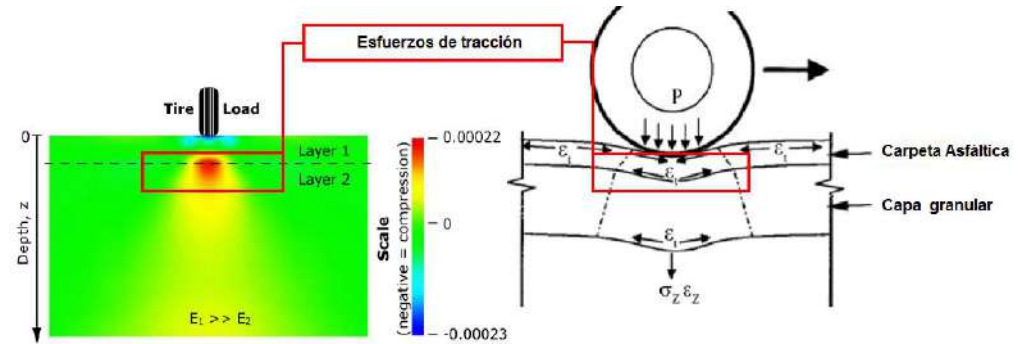
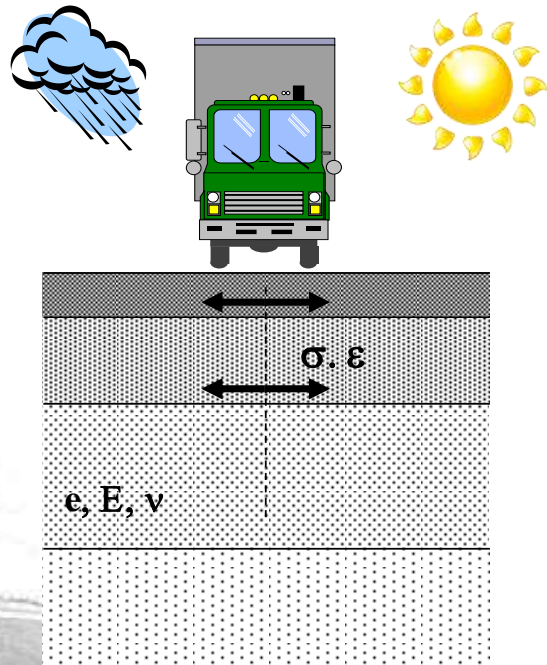
**Agrietamiento por Fatiga**

**Defor. Plásticas**

**Susceptibilidad Térmica: Diferente respuesta del material**

# Introducción

¿Qué es el daño por fatiga en las estructuras de pavimentos asfálticos?



# Introducción

## Nivel de severidad Bajo



- Bajo grado interconexión fisuras.
- Sin expulsión de finos.



## Nivel de severidad Moderado



- Interconexión de grietas.
- Sin expulsión de finos.



## Nivel de severidad Alto

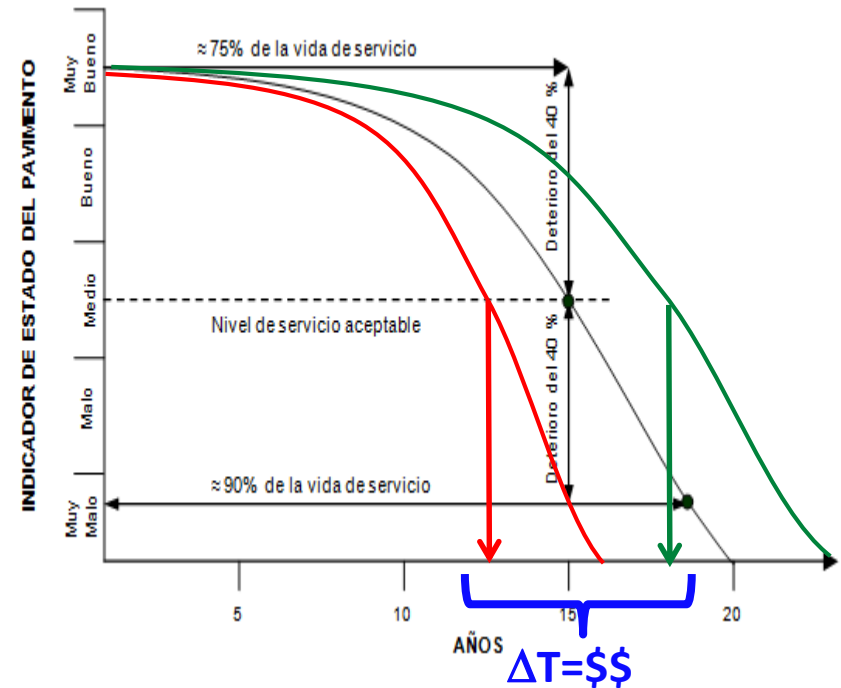


- Completa interconexión de grietas.
- Con expulsión de finos



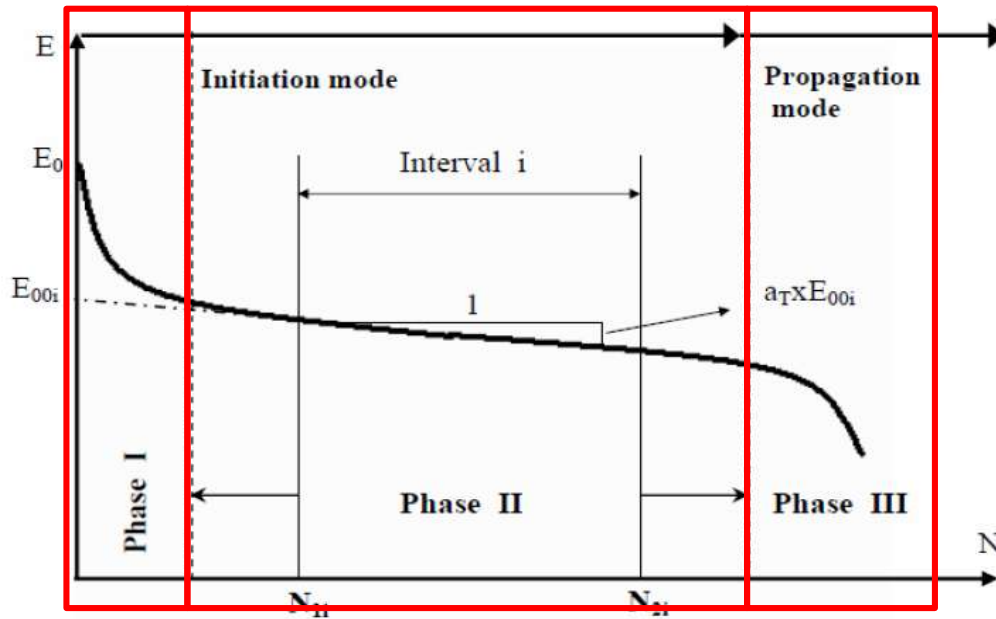
# Introducción

- Fisuración por fatiga es uno de los deterioros mas importantes.
- Implicancias económicas.
- Efecto estructural y estético.
- Progreso del deterioro afecta confort y seguridad (IRI-baches).

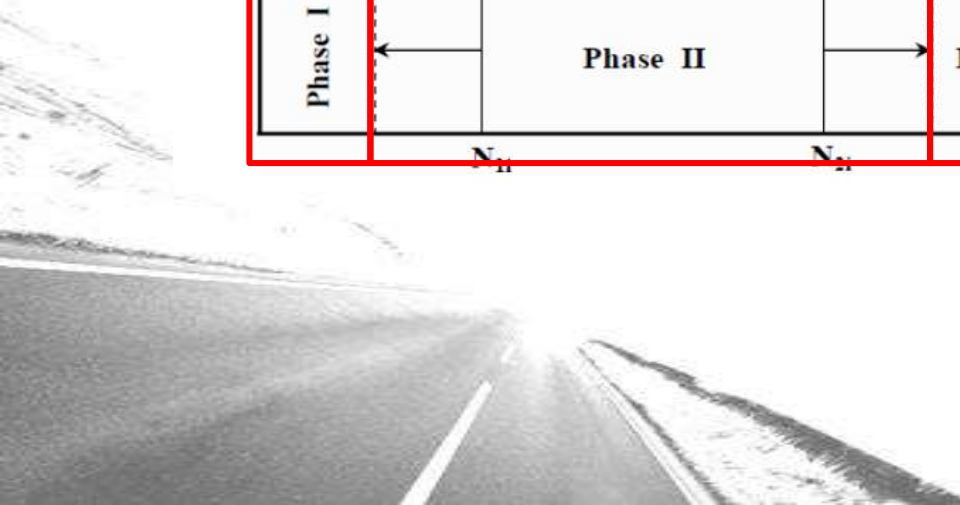
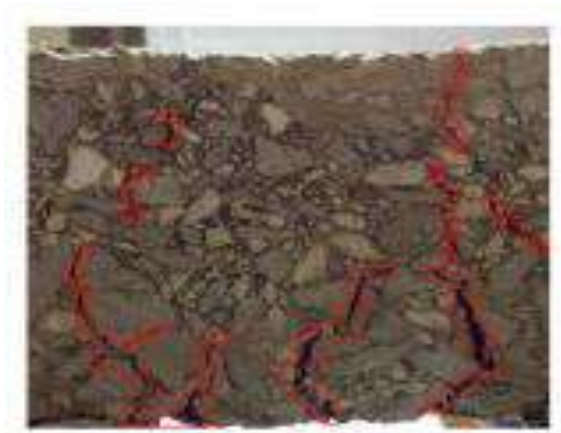
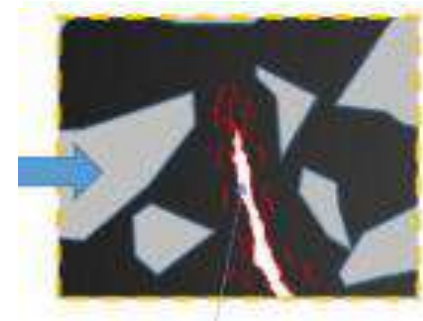


# Introducción

Fases de degradación por el fenómeno de la fatiga en mezclas asfálticas.

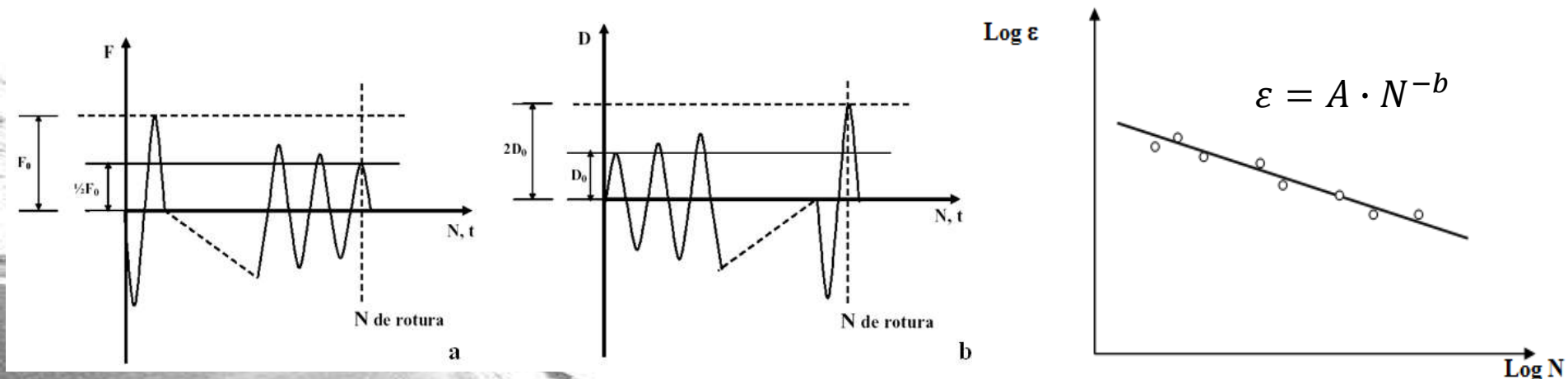


Fase III Ruptura



# Introducción

- La resistencia a fatiga se determina, hoy en día, por procedimientos normados de larga duración.
  - ❖ Se caracterizan por mantener constante la deformación o la tensión.
  - ❖ Utilizan criterios de fallo tradicionales.



# Introducción

**Durabilidad de las Estructuras de Pavimento**

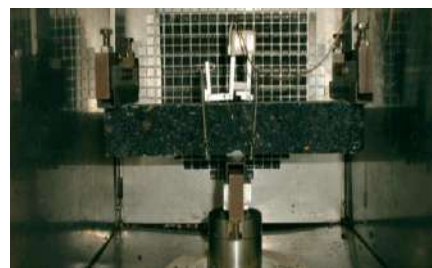
**Mejorar el diseño de los materiales**

**Agrietamiento por Fatiga**

**ENSAYOS DE FATIGA**



**Two-point bending test (2PB)**  
**Annex A-B**



**Three-point bending test (3PB)**  
**Annex C**



**Four-point bending test (4PB)**  
**Annex D**



**Indirect tensile test (IDT)**  
**Annex E**

# Introducción

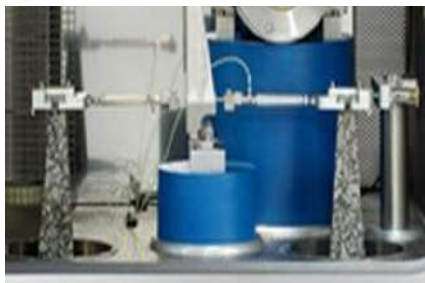
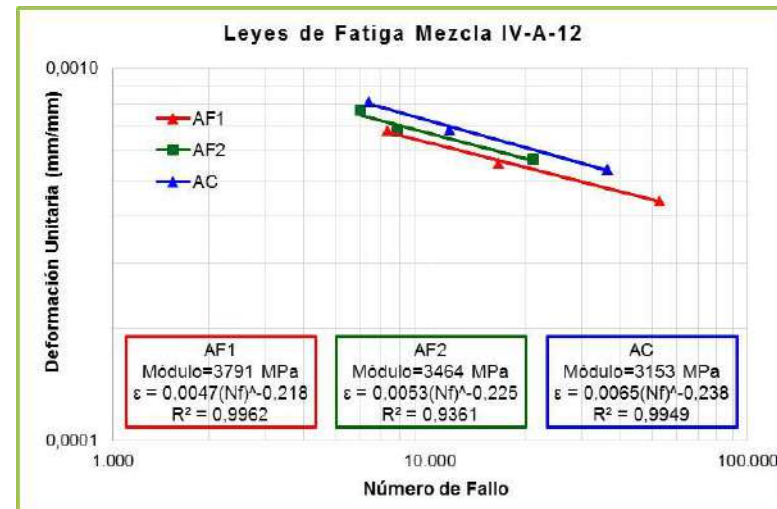
**Durabilidad de las Estructuras de Pavimento**



**Agrietamiento por Fatiga**

**ENSAYOS DE FATIGA**

**Mejorar el diseño de los materiales**



**Two-point bending test (2PB)**  
**Annex A-B**



**Three-point bending test (3PB)**  
**Annex C**



**Four-point bending test (4PB)**  
**Annex D**



**Indirect tensile test (IDT)**  
**Annex E**




# Introducción

## ¿Cual es el Problema?

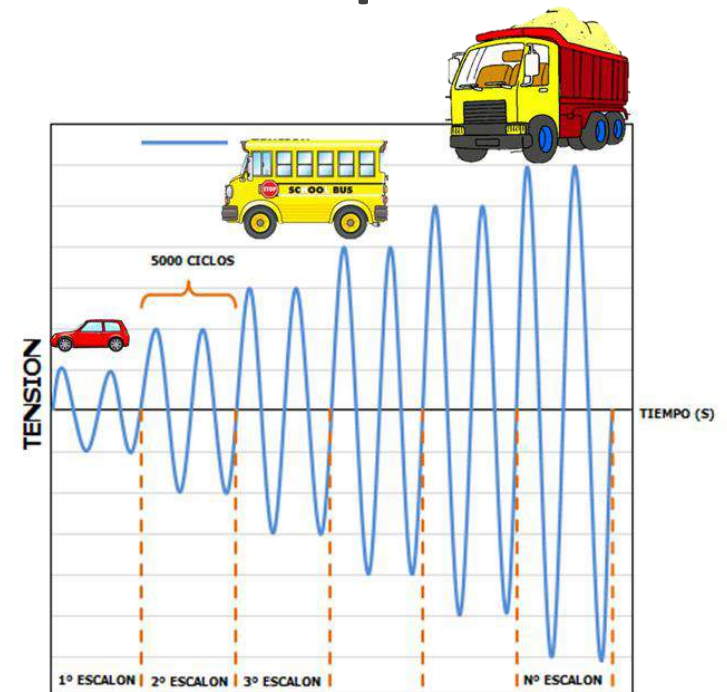
- Ensayos costosos.
- Numerosos ensayos para definir una ley de fatiga
- Personal especializado.
- Requieren bastante tiempo de ejecución.
- Criterios de fallo tradicionales cuestionados en la literatura (mezclas dúctiles).



- 
- Usualmente, no se considera esta propiedad en el diseño de las mezclas asfálticas y en el diseño de estructuras de pavimentos.
  - No se estudien otras variables.  
( $T^{\circ}$ , vel. de carga, daño por humedad, envejecimiento, etc.)

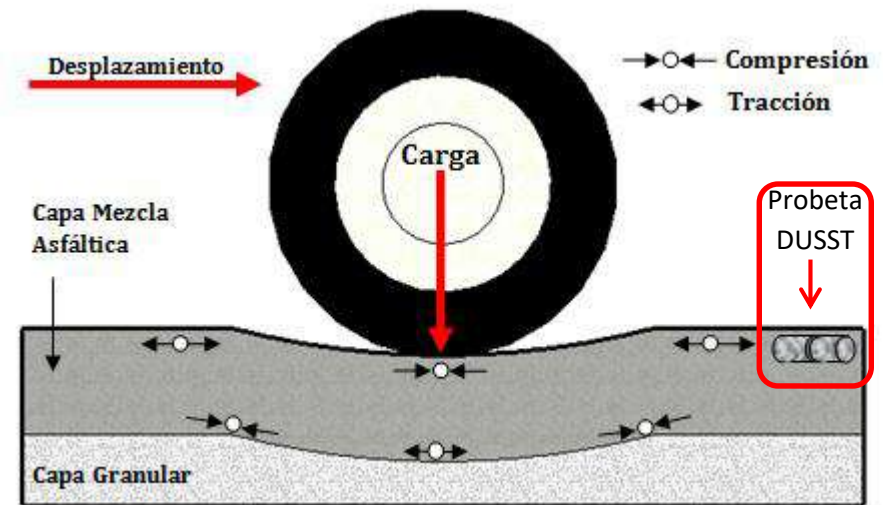
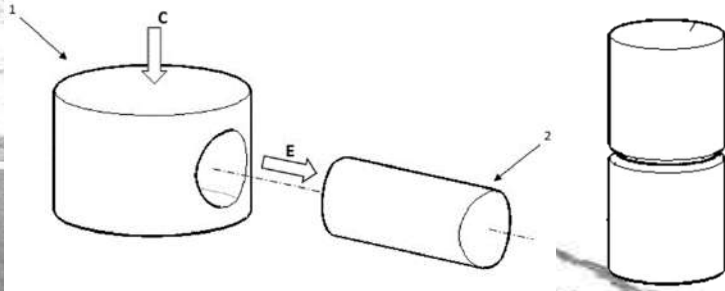
# DUSST

## Direct Uniaxial Stress Sweep Test



# Propuesta Ensayo de Fatiga Acelerado

- DUSST (Direct Uniaxial Stress Sweep Test) es un procedimiento de ensayo para evaluar de forma acelerada la resistencia a fatiga de las M.A.
- Se basa en un proceso de fatiga de la M.A. resultante de la aplicación de un barrido de ciclos de tensiones incrementales que refleje el real estado tensional y fallo de las mezclas en pavimentos.



# Propuesta Ensayo de Fatiga Acelerado

## Fácil implementación



1

2

3

# Propuesta Ensayo de Fatiga Acelerado

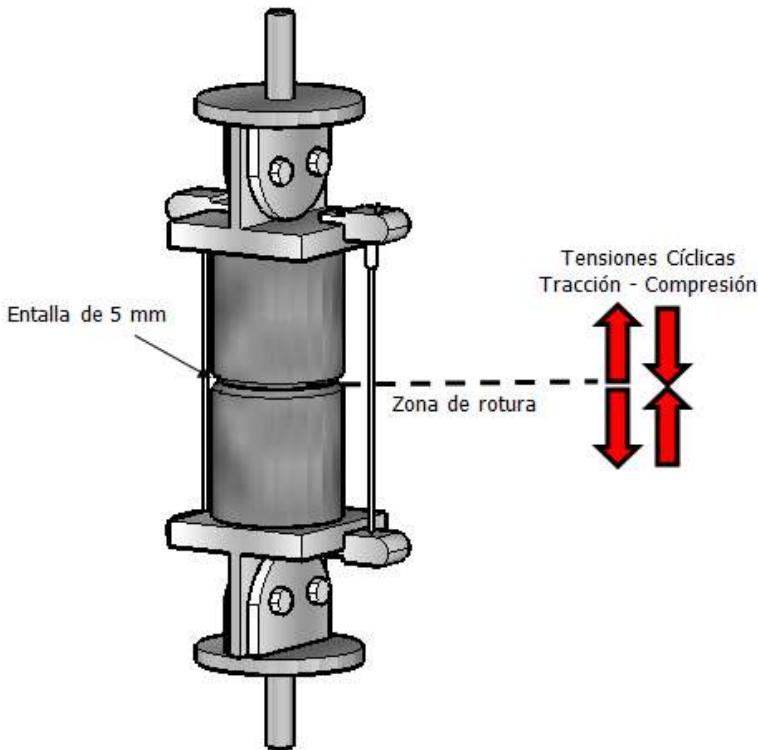
## Metodología DUSST: ejecución del ensayo

### Probeta

- 5,08 cm de diámetro (2" )
- 6 cm de alto
- Entalla central de 5 mm

### Rutina

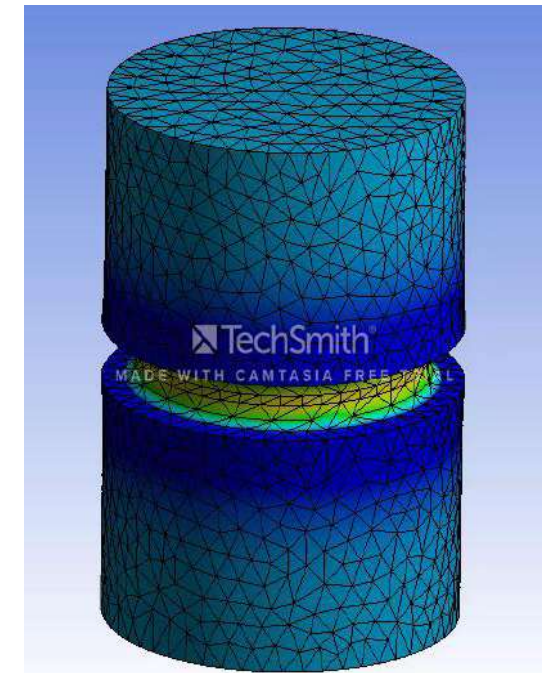
- Ensayo de barrido de tensiones
- Series cíclicas uniaxiales controladas por tensión
- Señal impuesta: senoidal (puede incluir periodos de reposo)
- Frecuencia: 10 Hz (2 a 30 Hz)
- Aumento de amplitud tens. cada 5000 ciclos (variable)
- Amplitud inicial: 250 KPa
- Incremento de amplitud: 50 KPa



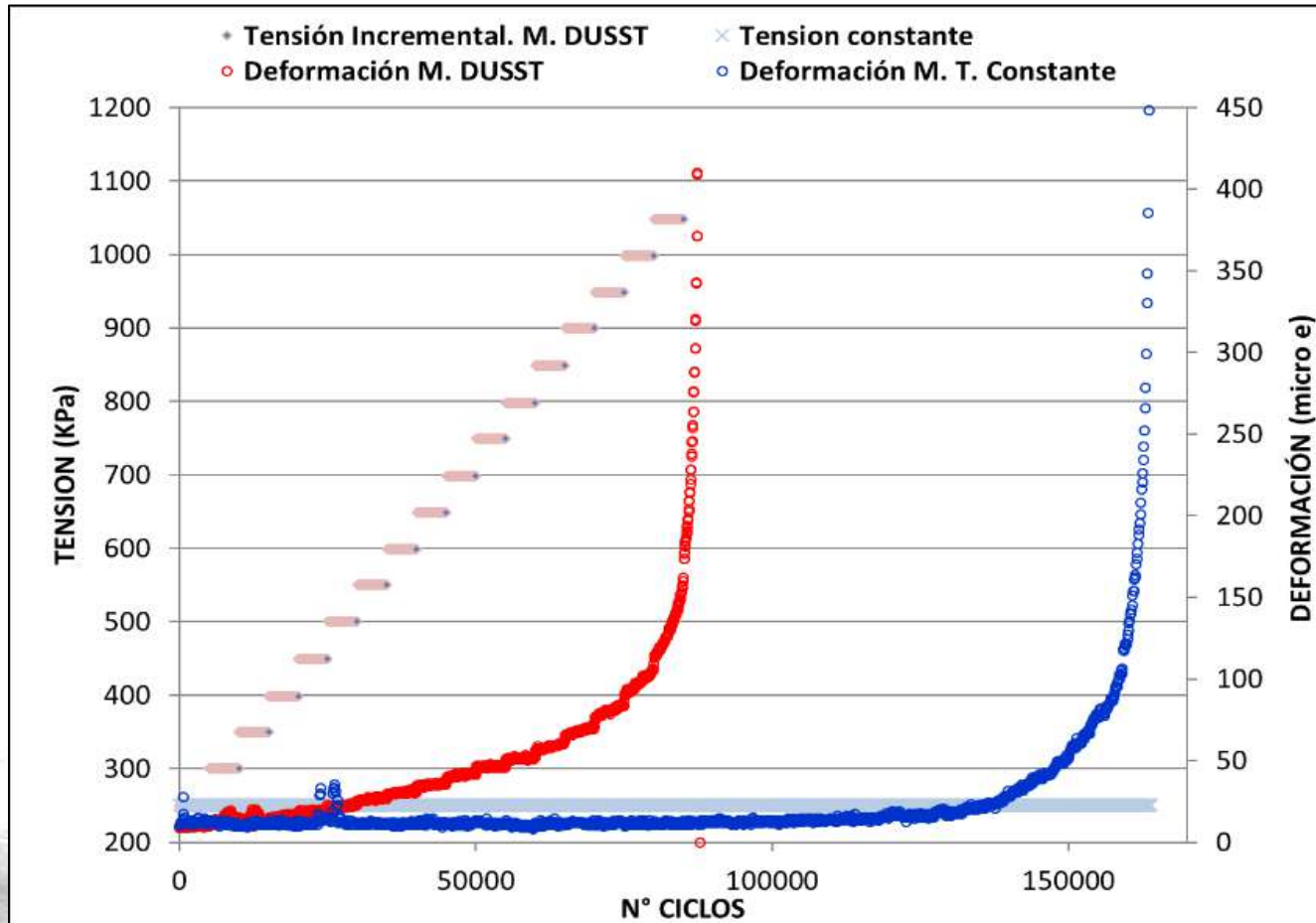
# Propuesta Ensayo de Fatiga Acelerado

Resultados: Se analizan 3 curvas

1. Evolución de la deformación.
  - Leyes de fatiga (nuevo criterio propuesto).
2. Evolución del módulo.
3. Evolución de la energía disipada.

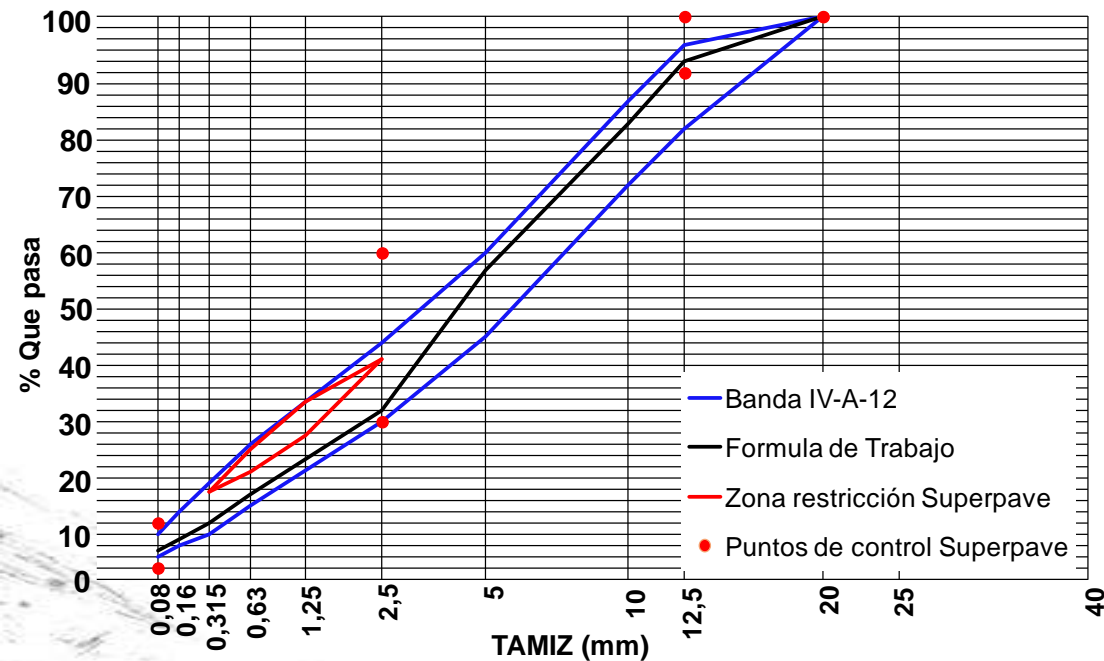


# Ejemplo de Aplicación y Resultados



# Ejemplo de Aplicación y Resultados

Mezcla IV-A-12 (ABERTURA TAMIZ  $0.45$ )

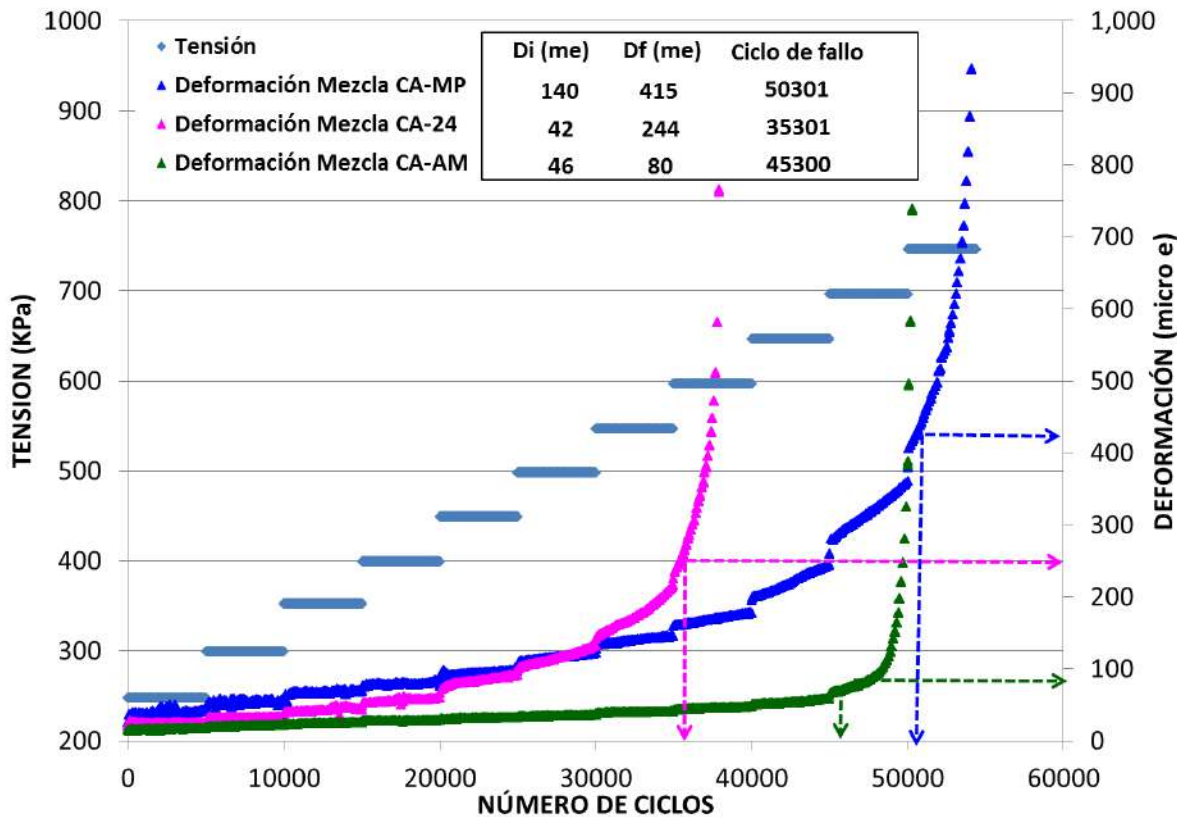


- Mezcla IV-A-12 (CA=5,2%)
- Temperatura 20° C
- 3 tipos de Cem. Asfálticos
  - CA-24
  - CA-AM
  - CA-MP



# Ejemplo de Aplicación y Resultados

## Evolución de la Deformación



## Nuevo Criterio de Fallo

### $\epsilon$ fallo

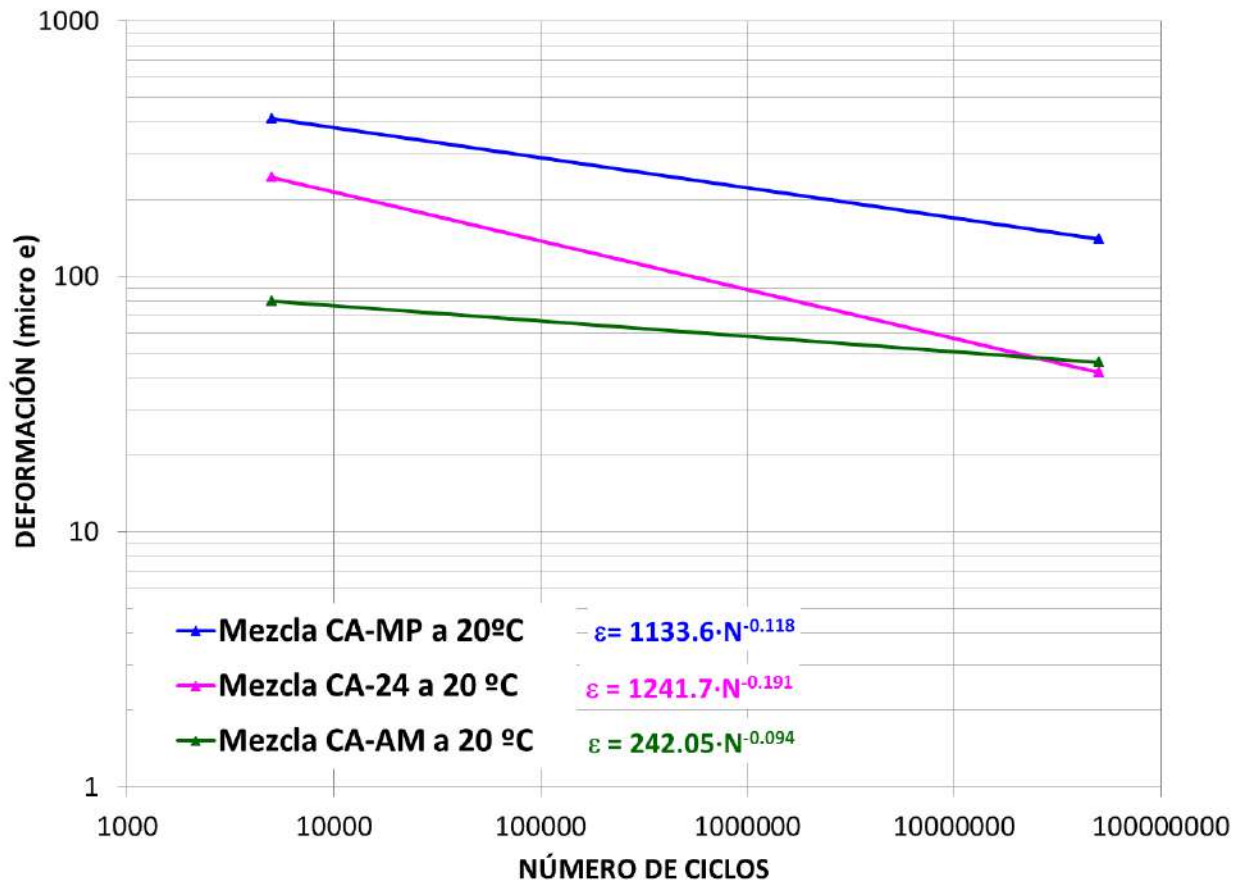
Valor promedio de los ciclos 100 y 500 de una misma serie de ciclos cuando se duplica el valor de  $\epsilon$  inicial de ese ciclo.

### $\epsilon$ inicial

Se asocia al Endurance Limit de cada mezcla. Valor promedio de serie anterior cuando la dif. del prom. de los últimos 400 ciclos y del valor promedio de los ciclos 100 y 500 del mismo ciclo es menor a 10%.

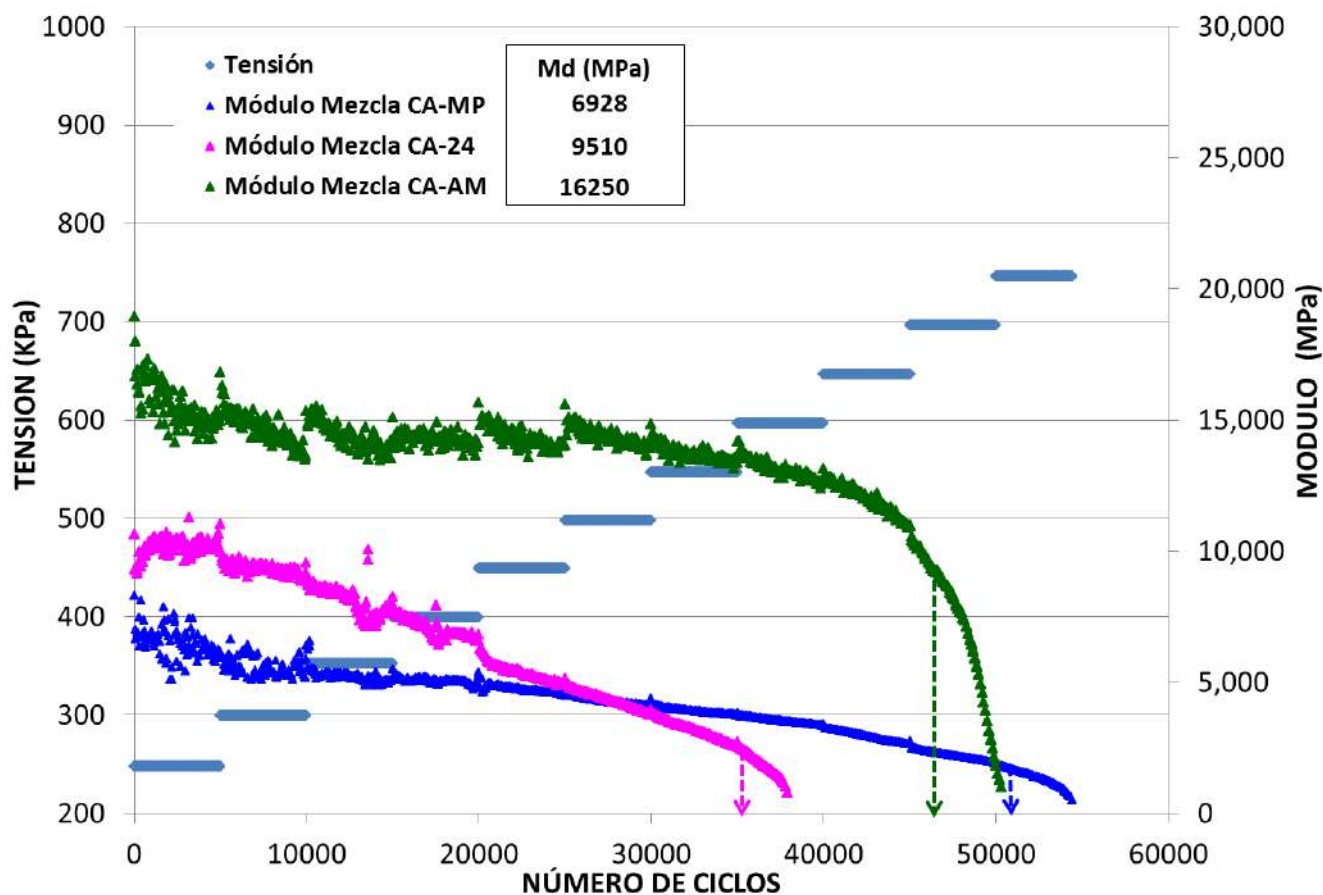
# Ejemplo de Aplicación y Resultados

## Leyes de Fatiga



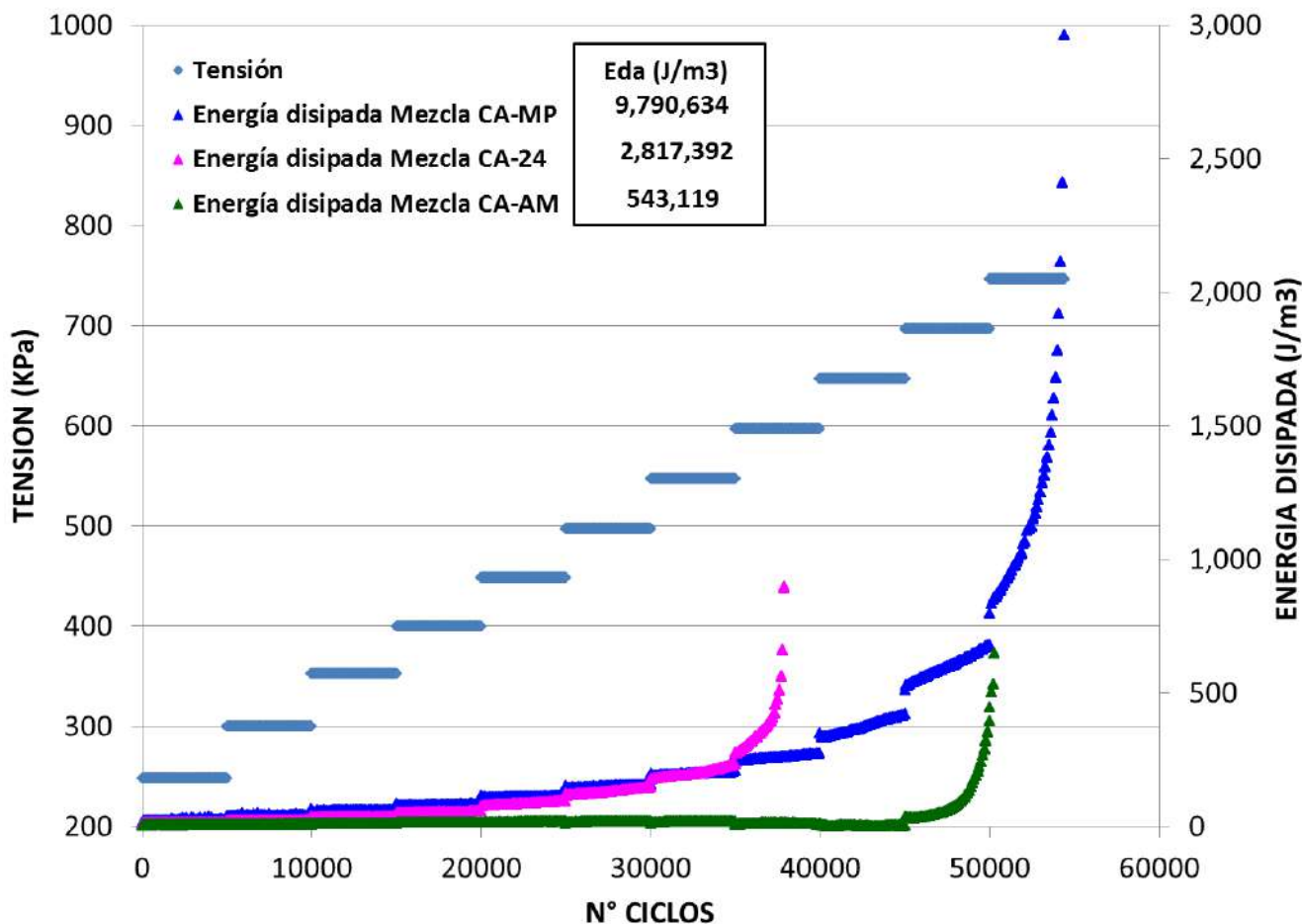
# Ejemplo de Aplicación y Resultados

## Evolución del Módulo Dinámico



# Ejemplo de Aplicación y Resultados

## Evolución de la Energía Disipada



# Conclusiones

- El nuevo procedimiento de ensayo que se presenta – ensayo DUSST - posee un gran potencial para evaluar la respuesta a fatiga de las M.A. debido a las siguientes ventajas:
  - Requiere menor tiempo de ejecución.
  - Requiere menor número de probetas.
  - Fácil fabricación de probetas.
  - Fácil evaluación de estructuras de pavimentos en uso (testigos).
  - Reproduce el real estado tensional del pavimento.
  - Nuevo criterio de fallo que garantiza la rotura por fatiga.
  - Permite evaluar más variables en el desempeño de las mezclas asfálticas.



**Permite diagnosticar rápidamente el comportamiento a fatiga de las mezclas**





Proyecto DIUFRO DII8-0053  
Departamento de Ingeniería de Obras Civiles  
Universidad de La Frontera



**Gracias por su atención!**

Ing. Luis Mardones Parra.  
[Luis.Mardones.p@ufrontera.cl](mailto:Luis.Mardones.p@ufrontera.cl)  
Departamento de Ingeniería de Obras Civiles  
Universidad de La Frontera