

# MECÁNICA DE PAVIMENTOS

## Mecanismos de Falla de Pavimentos

---



FACULTAD DE  
INGENIERÍA



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

Dr. Ing. Leonardo Behak  
Instituto de Estructuras y Transporte

# MECANISMOS DE FALLA DE PAVIMENTOS

Necesarios para modelar el desempeño de pavimentos

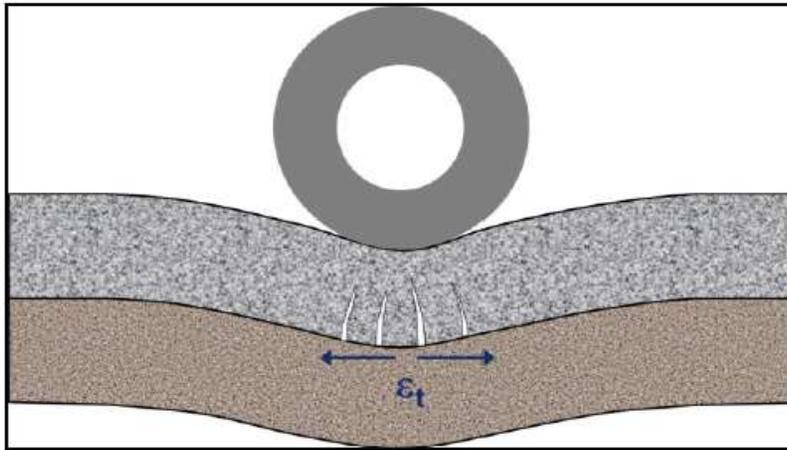
Pavimento Flexible

Fatiga de Mezclas Asfálticas y Materiales Cementados  
Trituración de Materiales Cementados  
Deformación Permanente  
Resistencia al Corte de Materiales Granulares  
Fatiga Térmica de Mezclas Asfálticas

Pavimento Rígido

Fatiga de Carpetas de Hormigón  
Pumping y Erosión de Materiales Granulares

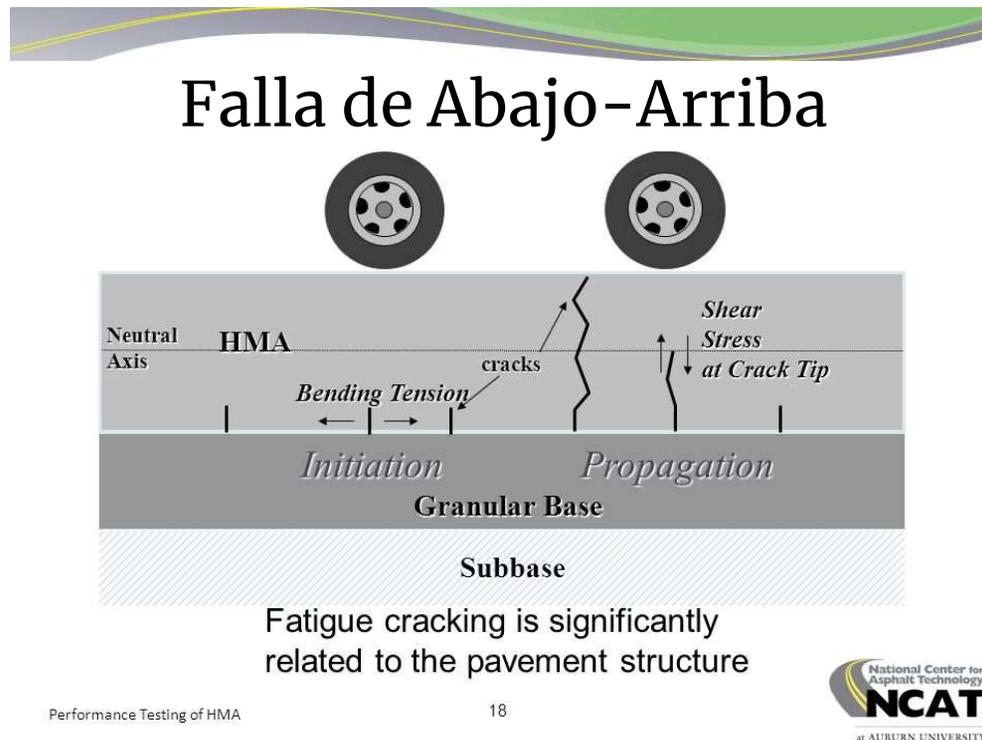
# FATIGA DE MATERIALES CEMENTADOS



## Resistencia a la Fatiga

Capacidad de resistir a la acción del tránsito y medio ambiente sin formación de fisuras

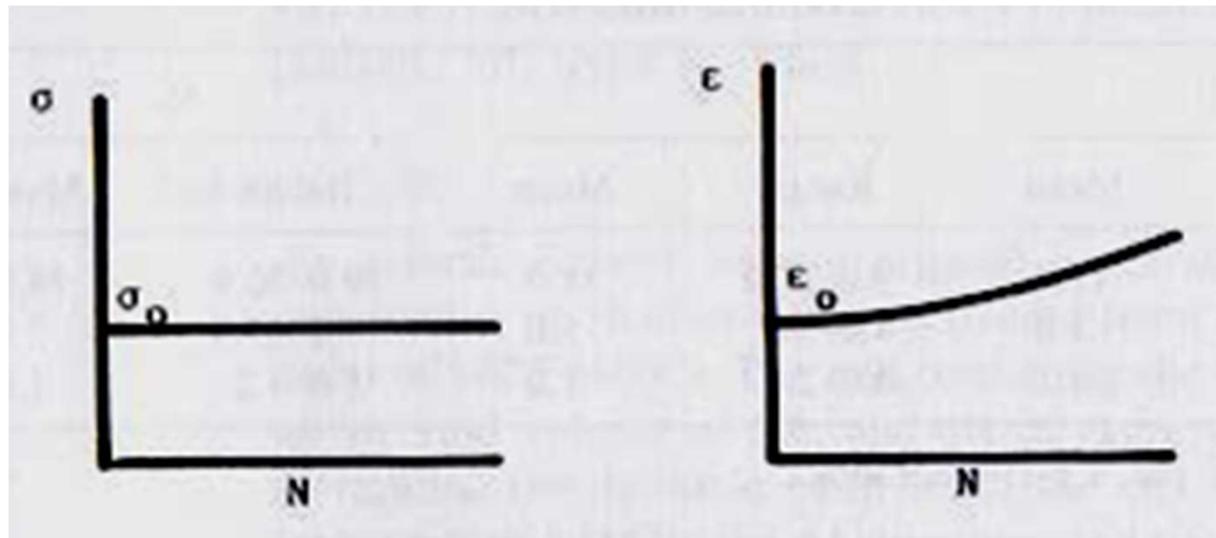
# FATIGA DE MATERIALES CEMENTADOS



Parámetros críticos de fatiga: Deformación de Tracción ( $\epsilon_t$ ) o Tensión de Tracción ( $\sigma_t$ ) en fondo de capa cementada

# ENSAYOS DE FATIGA

## Ensayos con Tensión Controlada (TC)



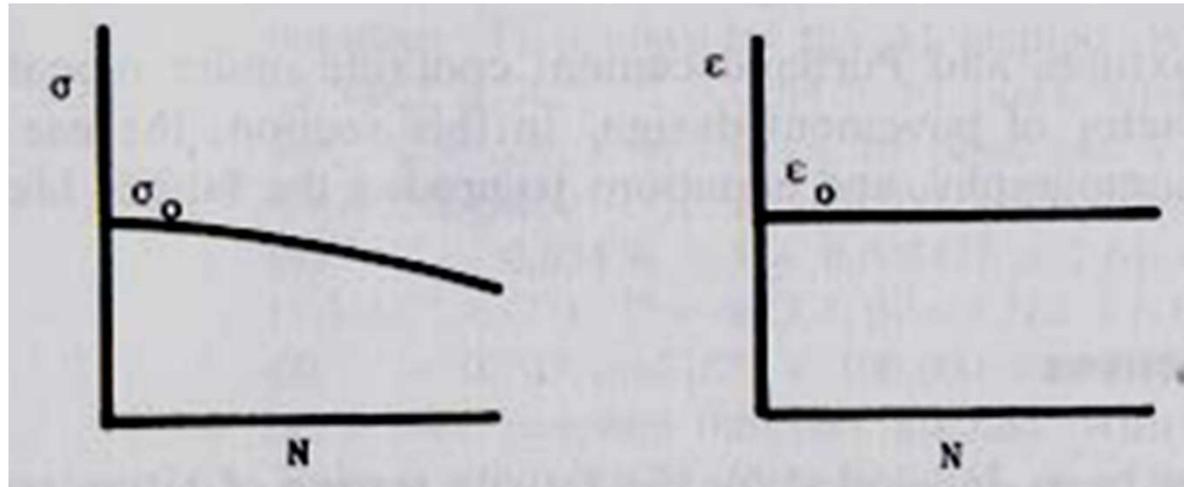
Ensayo hasta ruptura de probeta o  $\epsilon = 2\epsilon_0$

Indicada para capas gruesas ( $\geq 152$  mm)

Resultado más severo que observado en campo

# ENSAYOS DE FATIGA

## Ensayos con Deformación Controlada (DC)



Ensayo hasta  $\sigma = 50\% \sigma_0$

Indicada para capas delgadas ( $\leq 51$  mm)

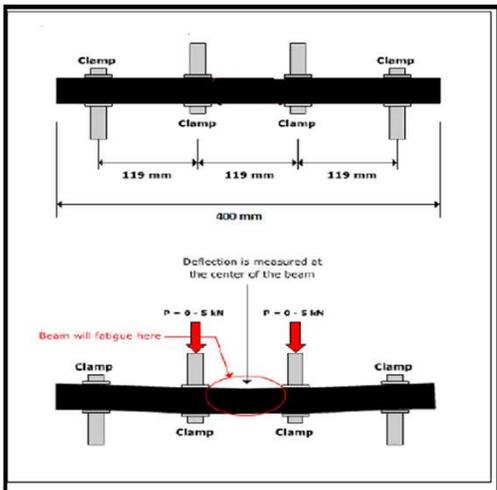
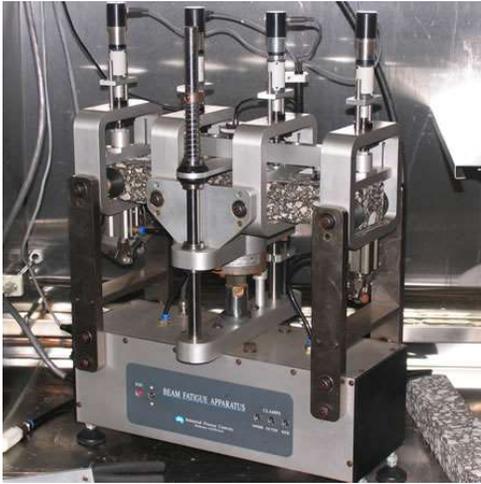
Resultado más representativo de ocurrencia en campo

# ENSAYOS DE TRACCIÓN INDIRECTA CÍCLICA



- Ciclos iniciales de acondicionamiento
- Ciclos de 1 Hz a  $\sigma$  constante con registro de  $\varepsilon_t$  (particularmente  $\varepsilon_o$ )
- Final: Ruptura de probeta o hasta llegar a un número (N) de ciclos predefinidos (por ej.  $10^6$ )
- Varias probetas ensayadas a diferentes  $\sigma$

# ENSAYOS DE TRACCIÓN POR FLEXIÓN CÍCLICA



Generalmente ensayo DC

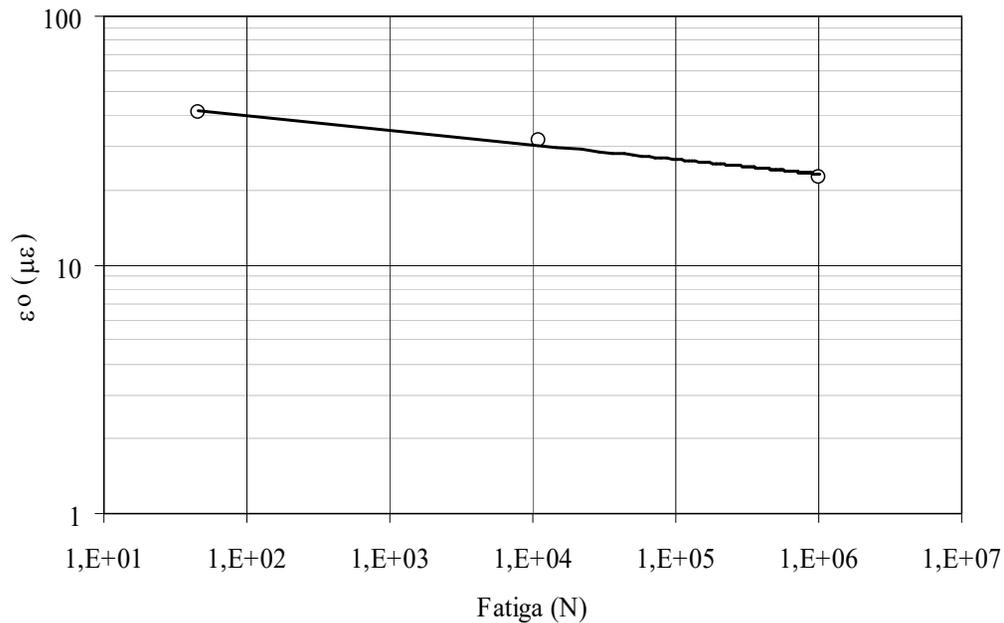
Ciclos iniciales de acondicionamiento

Ciclos de hasta 10 Hz a  $\varepsilon$  constante con registro de  $\sigma_t$  (particularmente  $\sigma_{t0}$ )

Final cuando  $\sigma = 0,5\sigma_0$

Varias probetas ensayadas a diferentes  $\varepsilon$

# ENSAYOS DE FATIGA



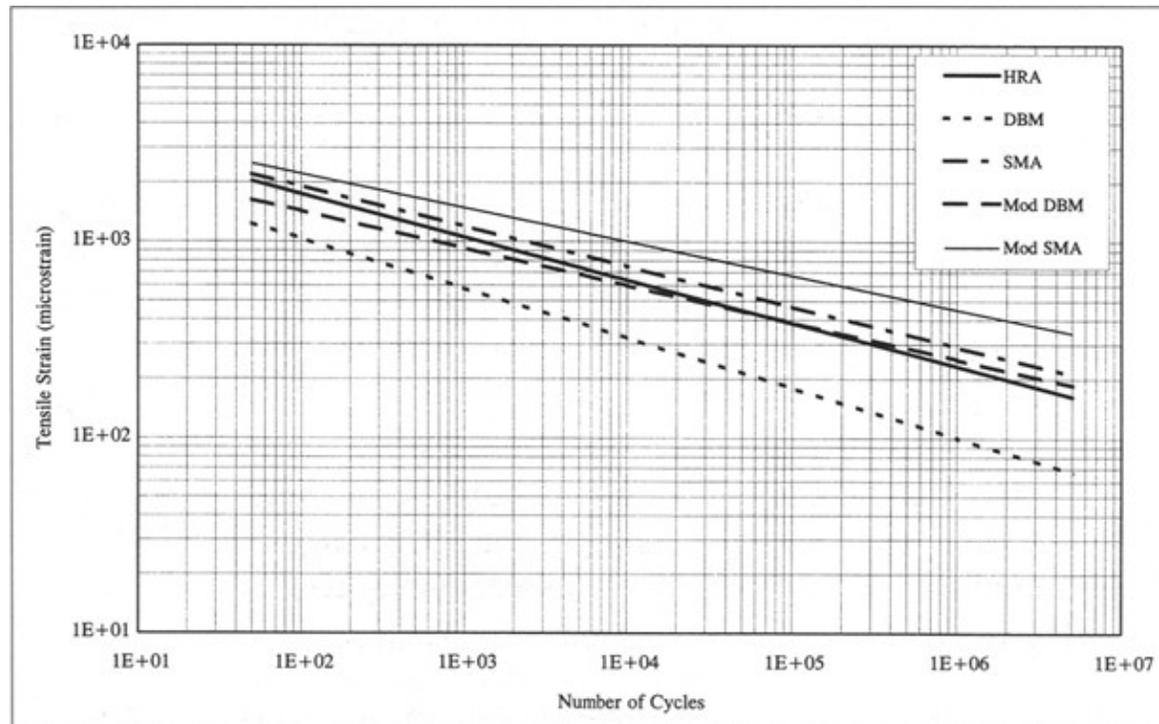
$$N = k_1 \left( \frac{1}{\sigma_0} \right)^{k_2}$$

$$N = k_1 \left( \frac{1}{\varepsilon_0} \right)^{k_2}$$

**N:** Número de ciclos hasta falla  
 **$\sigma_0$ ;  $\varepsilon_0$ :** Tensión y Deformación inicial  
 **$k_1$ ;  $k_2$ :** Parámetros del material

# FATIGA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

## Ensayos de Flexión de Vigas (Khalid, 1999)



HRA: Asfalto en caliente; DBM: Macadam denso

# FATIGA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Monismith et al. (1985)

$$N_f = k_1 \left( \frac{1}{\varepsilon_t} \right)^{k_2} \left( \frac{1}{S_{mix}} \right)^{k_3}$$

$S_{mix}$ : Rigidez inicial

Finn et al. (1986)

$$N_f = p \left( \frac{1}{\varepsilon_t} \right)^q (E)^r$$

E: Módulo Dinámico

Shell (1978)

$$N_f = \left[ \frac{6918(0,856 \cdot V_b + 1,08)}{S_{mix}^{0,36} \cdot \varepsilon_t} \right]^5$$

$V_b$ : Volumen de asfalto

# FATIGA DE MATERIALES CEMENTADOS

## Ensayos de Flexión de Vigas de Suelo-Cemento (Ceratti, 1991)

Ceratti (1991)

$$N = 10^{(\varepsilon_t - a/b)}$$

a y b: Parámetros función de clasificación de suelos SUCS

González et al. (2010)

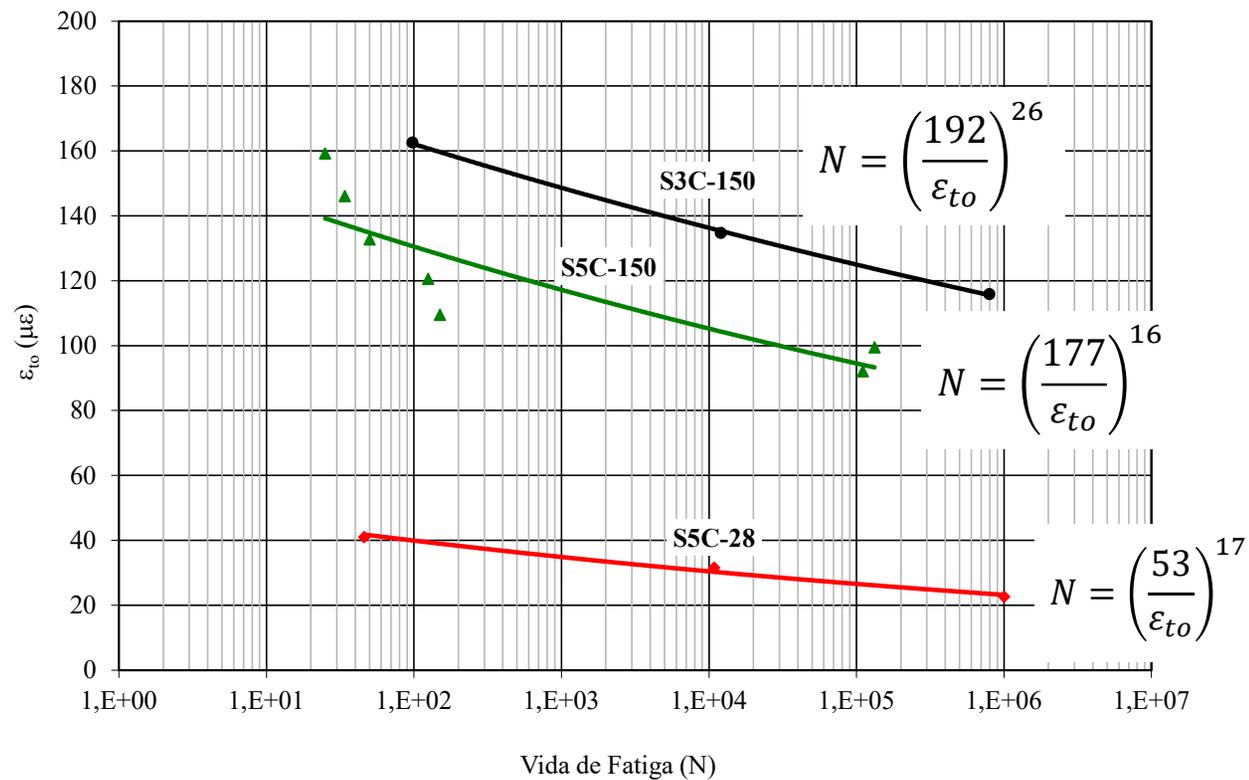
$$N = b \left( \frac{\mu\varepsilon_b}{\mu\varepsilon} \right)^a$$

$\mu\varepsilon$ : Deformación de tracción inicial [ $\mu\text{s}$ ]

$\mu\varepsilon_b$ : Deformación para 95% de carga de falla [ $\mu\text{s}$ ]

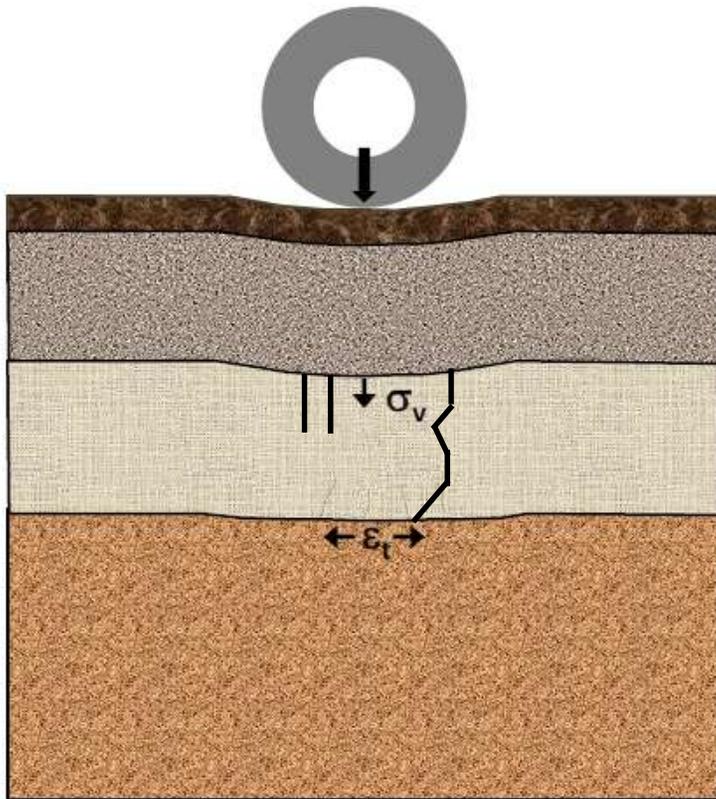
# FATIGA DE SUELO-CAL

## Suelo de Cebollatí (CH) (Behak, 2013)



# TRITURACIÓN DE MATERIALES CEMENTADOS

## Falla de Arriba-Abajo



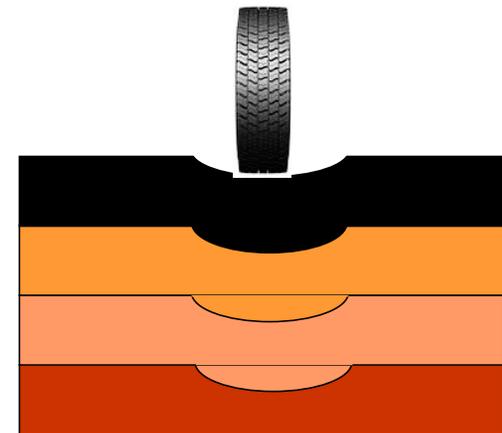
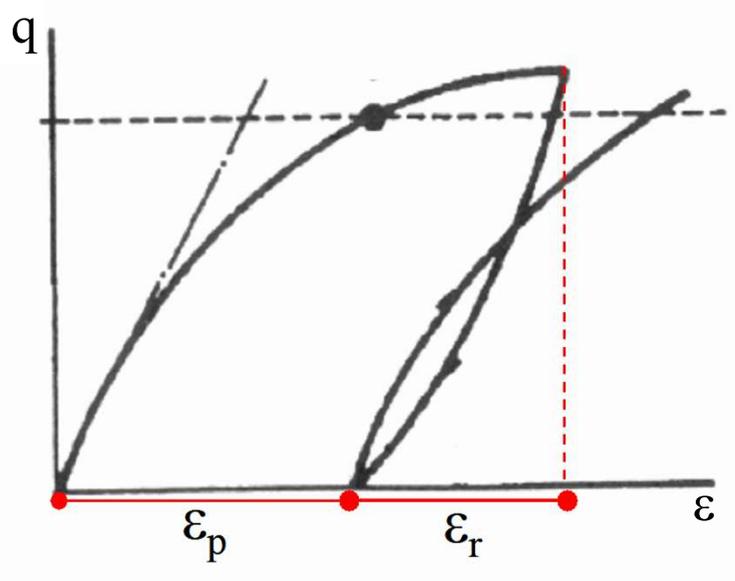
Falla por compresión causada por ciclos de carga de tránsito

Parámetro crítico: Tensión Vertical ( $\sigma_v$ ) en el tope de capa cementada

Ensayo de Resistencia al Corte Inconfiada

# DEFORMACIÓN PERMANENTE

## Ahuellamiento

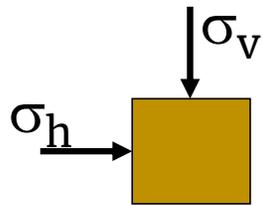


Falla estructural causada por acumulación de deformaciones permanentes

# DEFORMACIÓN PERMANENTE

## Método Directo

Tensiones normales en  
plano medio de capa

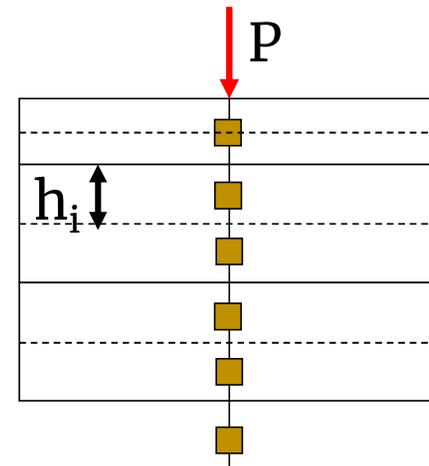


$$(\sigma_v; \sigma_h) \xrightarrow{\text{Ensayo}} (\varepsilon_{pv}; \varepsilon_{ph})$$

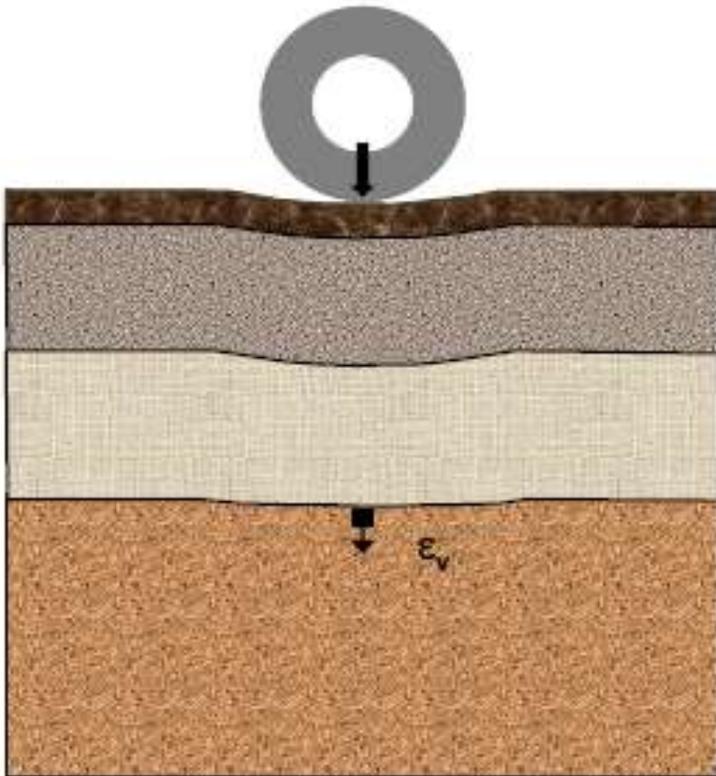
Deformación Total

$$\delta_{Ptotal} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{pi} h_i$$

$\varepsilon_{pi}$ : Deformación Permanente media de capa i



# DEFORMACIÓN PERMANENTE DE SUBRASANTES



Suelo de subrasante tiene la mayor incidencia en Deformación Permanente

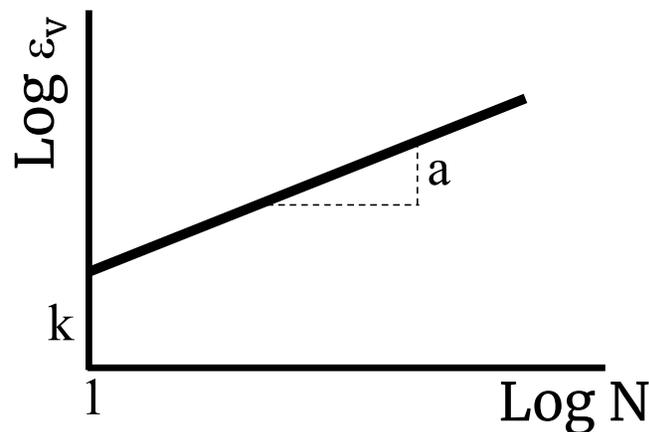
Parámetro crítico: Deformación Vertical ( $\epsilon_v$ ) o Tensión Vertical ( $\sigma_v$ ) en el tope de subrasante

# ENSAYOS DE DEFORMACIÓN PERMANENTE

Ensayos Cíclicos

Triaxial  
Tracción Indirecta  
Flexión

Para un estado tensional dado se aplican N ciclos de carga ( $10^5 - 10^6$ ) midiendo  $\epsilon_p$  a intervalos de N



Tensión Vertical ( $\sigma_{vadm}$ ) Admisible en Tope de Subrasante

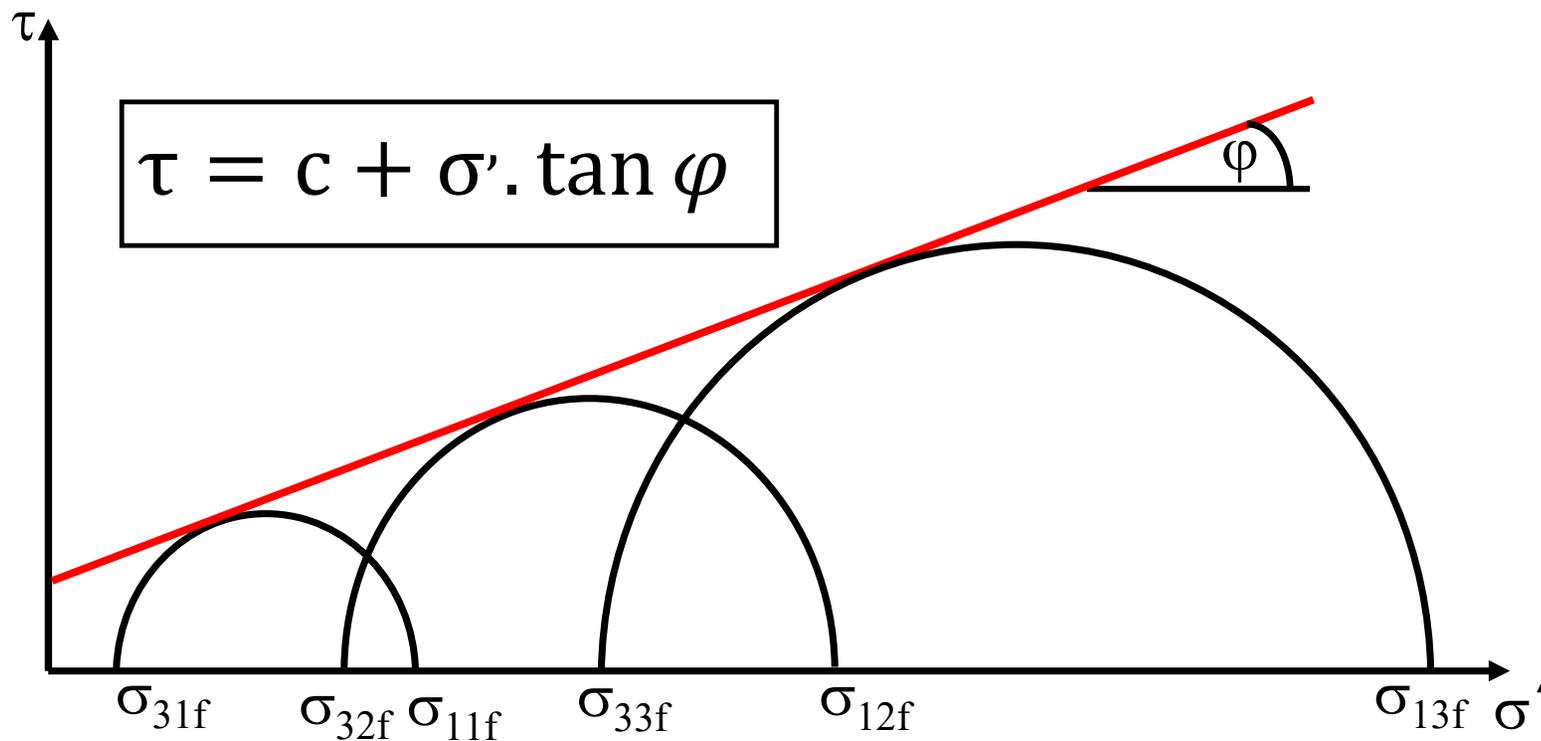
$$\epsilon_p = kN^a$$

$$\delta_{vadm} = 10 - 20 \text{ mm}$$

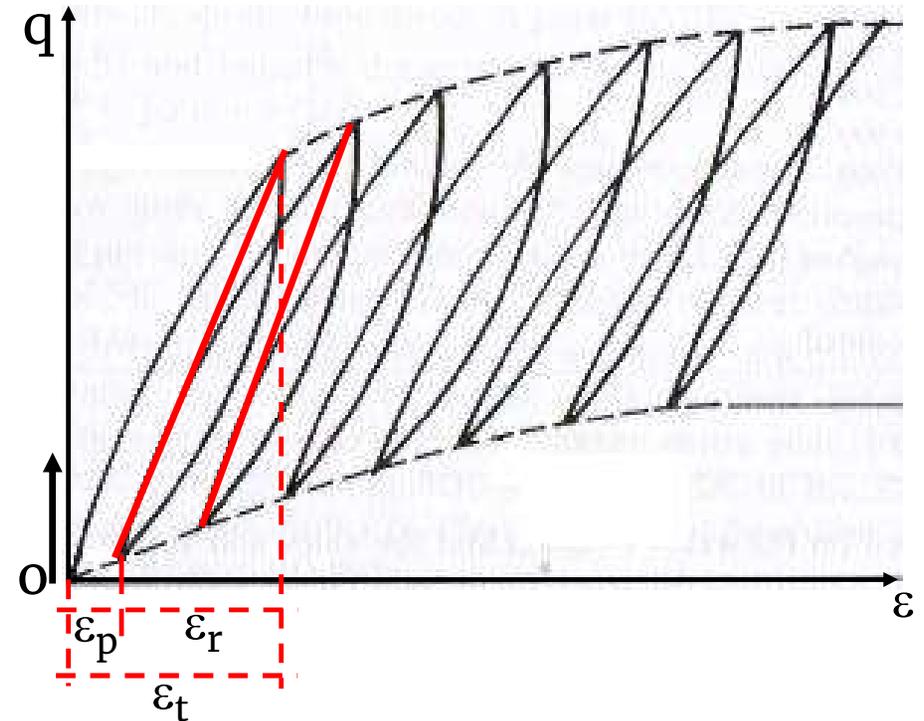
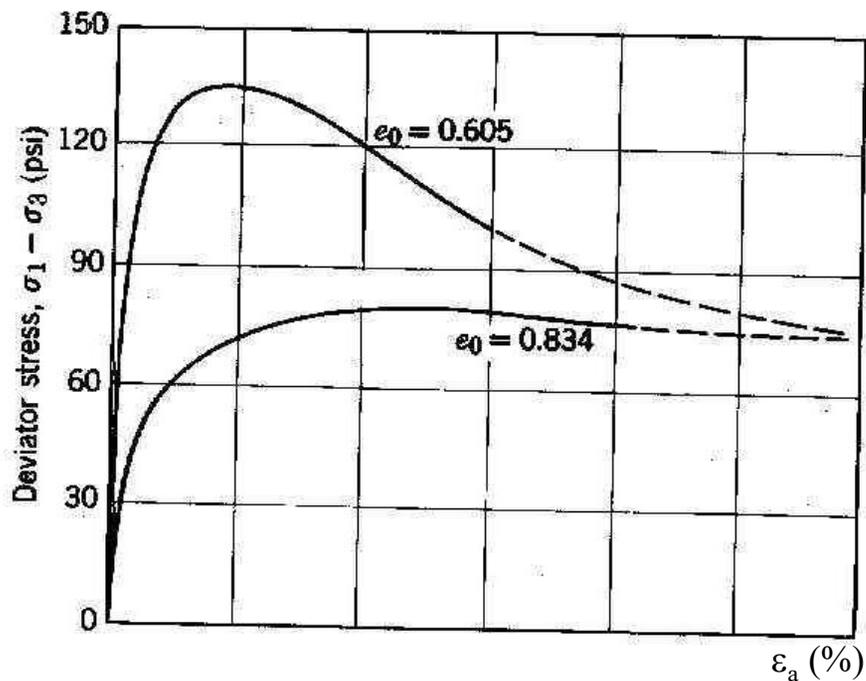
$$\sigma_{vadm} = \frac{0,006MR}{1 + 0,7\log N}$$

# RESISTENCIA AL CORTE DE MATERIALES GRANULARES

## Teoría de Falla de Mohr-Coulomb

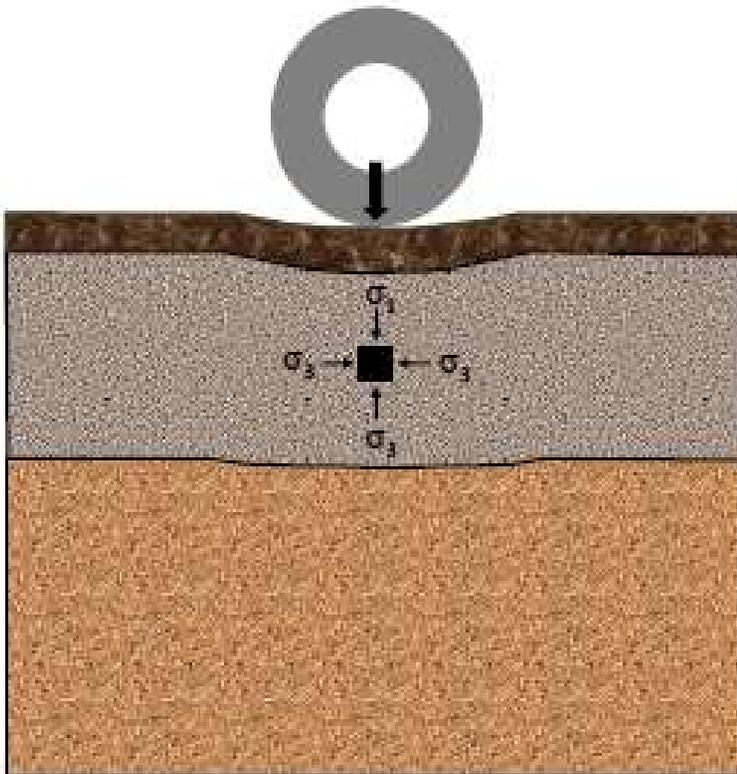


# RESISTENCIA AL CORTE DE MATERIALES GRANULARES



Resistencia al Corte se desarrolla completamente por acumulación de Deformaciones Permanentes

# RESISTENCIA AL CORTE DE MATERIALES GRANULARES



Parámetros críticos: Tensiones Principales ( $\sigma_1$ ;  $\sigma_3$ ) en el plano medio de capa granular

Ensayos de Resistencia al Corte