

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

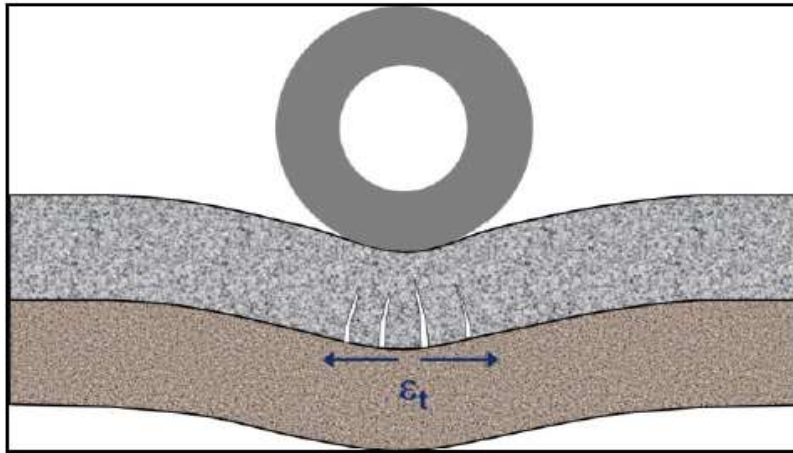
Pavimento Flexible

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

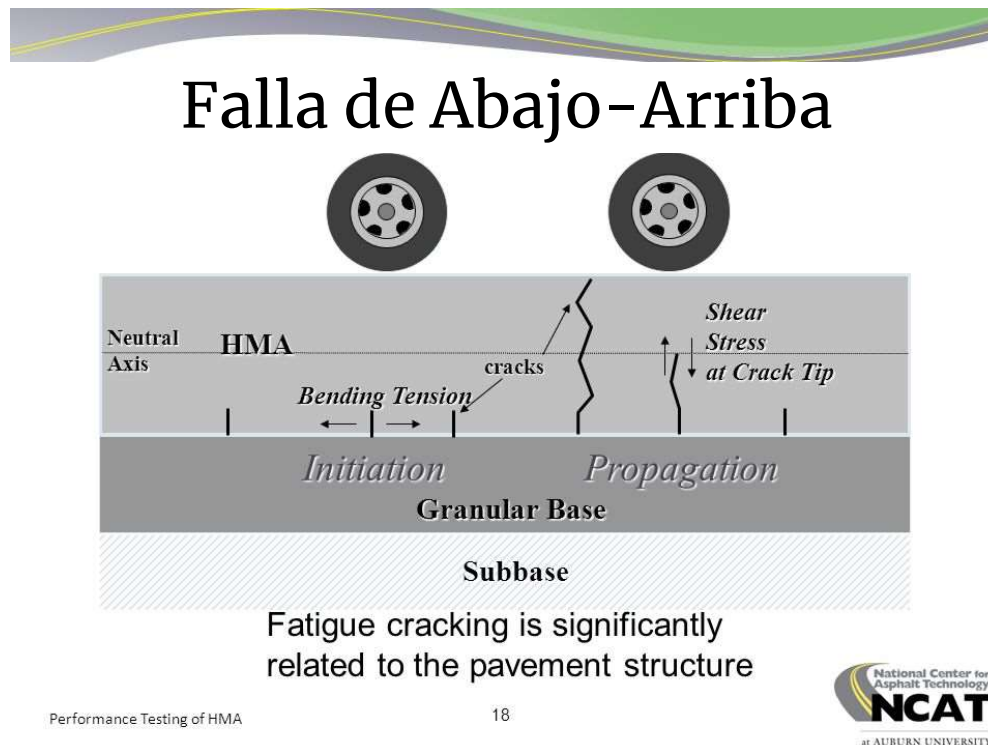
FATIGA DE MATERIALES CEMENTADOS



Resistencia a la Fatiga

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

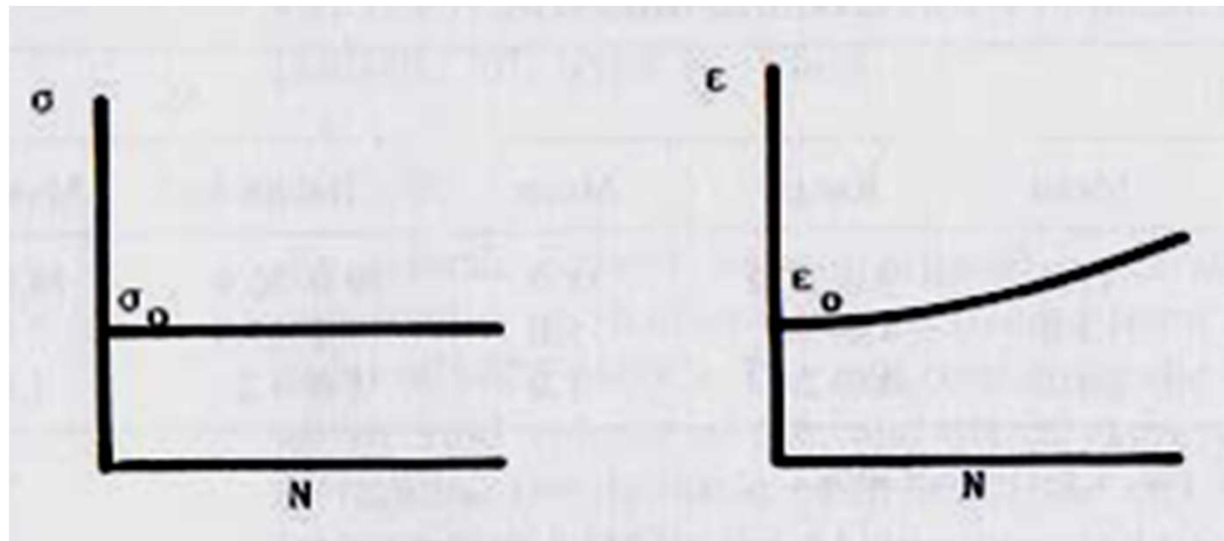
FATIGA DE MATERIALES CEMENTADOS



Parámetros críticos de fatiga: Deformación de Tracción (ϵ_t) o Tensión de Tracción (σ_t) en fondo de capa cementada

ENSAYOS DE FATIGA

Ensayos con Tensión Controlada (TC)



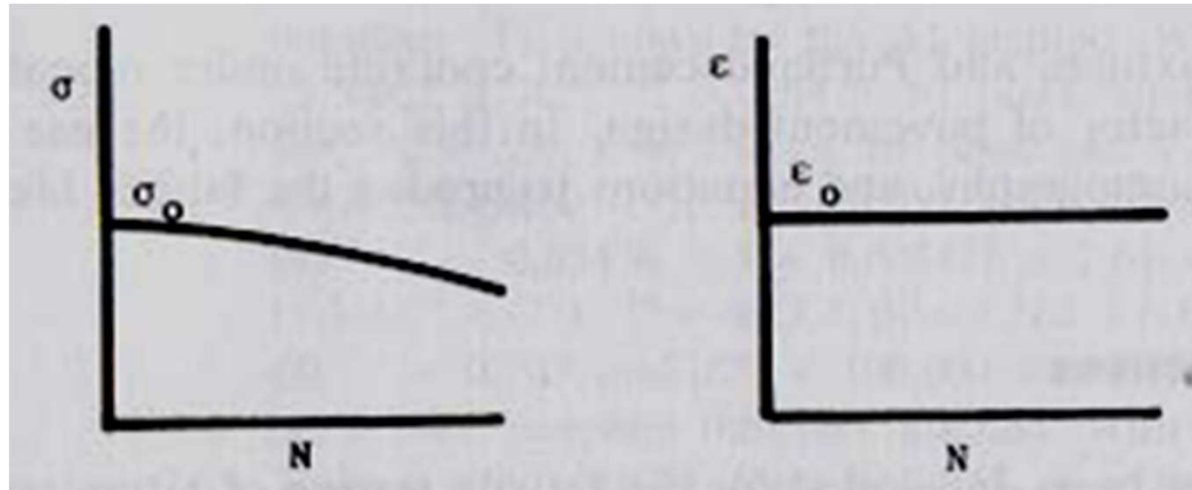
Ensayo hasta ruptura de probeta o $\epsilon = 2\epsilon_0$

Indicada para capas gruesas (≥ 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 (≤ 51 mm)

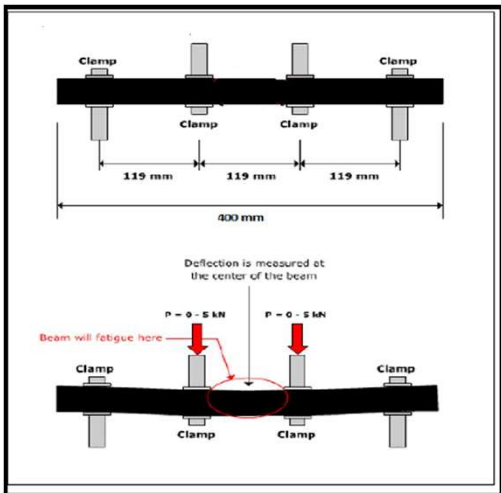
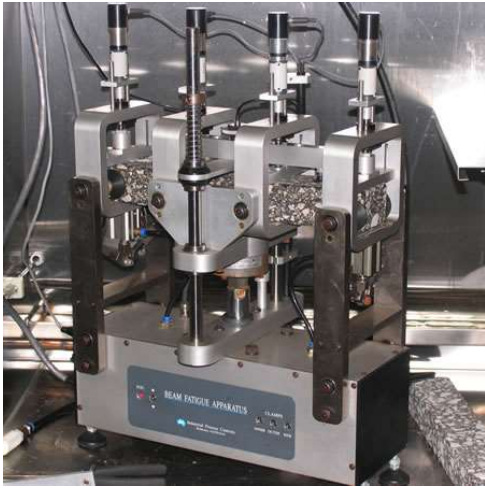
Resultado más representativo de ocurrencia en campo

ENSAYOS DE TRACCIÓN INDIRECTA CÍCLICA



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

ENSAYOS DE TRACCIÓN POR FLEXIÓN CÍCLICA



Generalmente ensayo DC

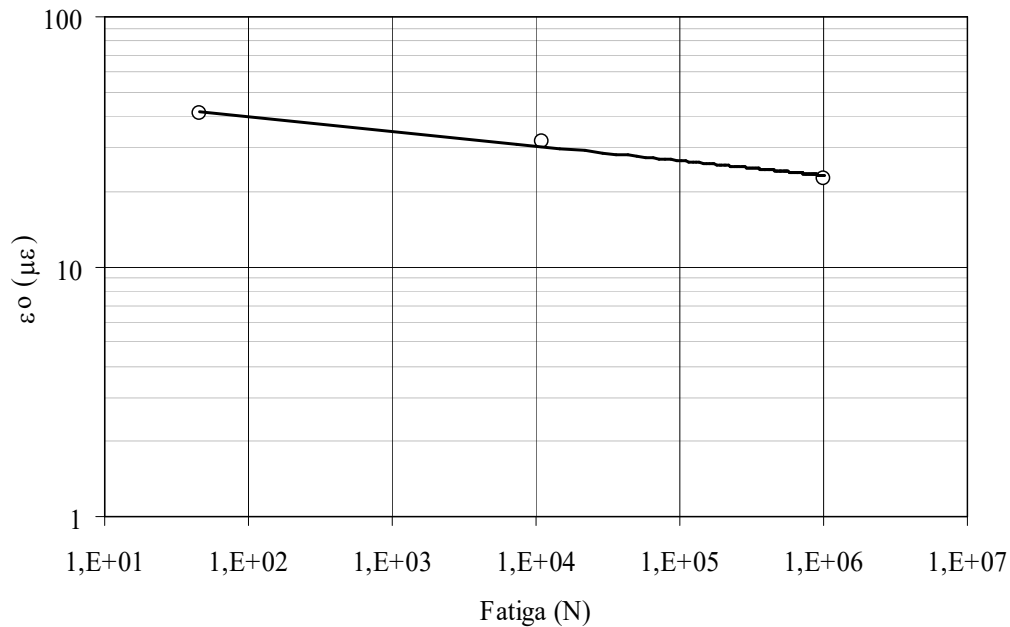
Ciclos iniciales de acondicionamiento

Ciclos de hasta 10 Hz a ε constante con registro de σ_t (particularmente σ_{t0})

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

Varias probetas ensayadas a diferentes ε

ENSAYOS DE FATIGA



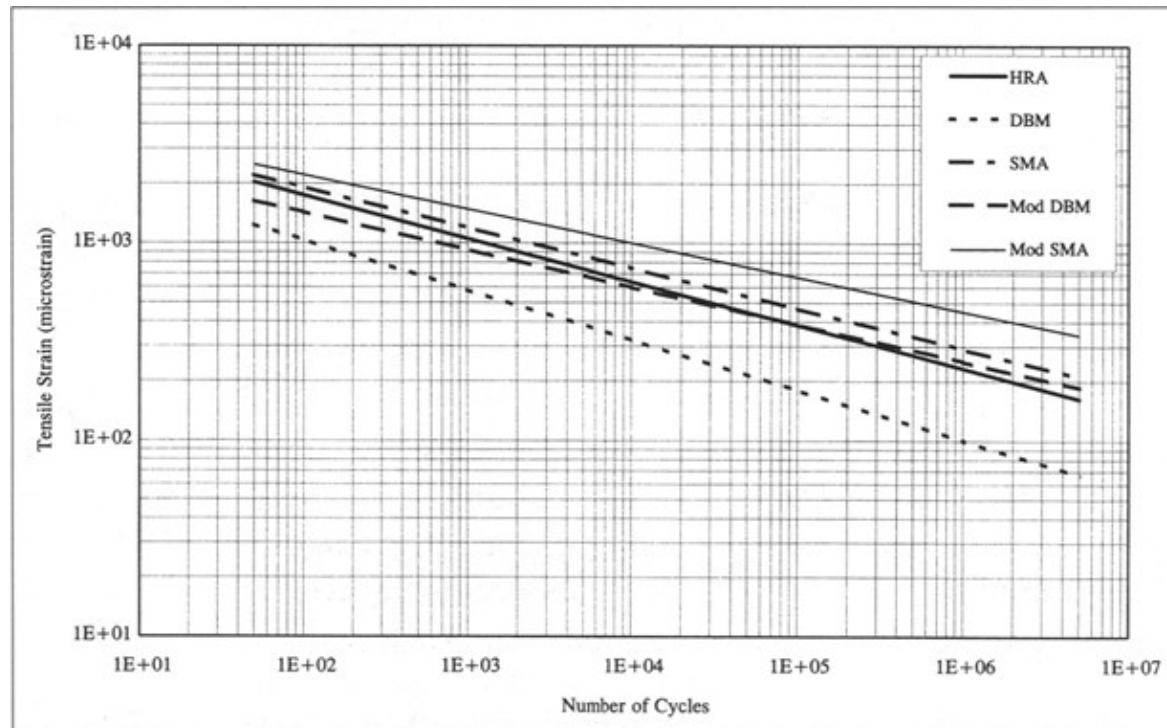
$$N = k_1 \left(\frac{1}{\sigma_0} \right)^{k_2}$$

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

N: Número de ciclos hasta falla
 σ_0 ; ε_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)

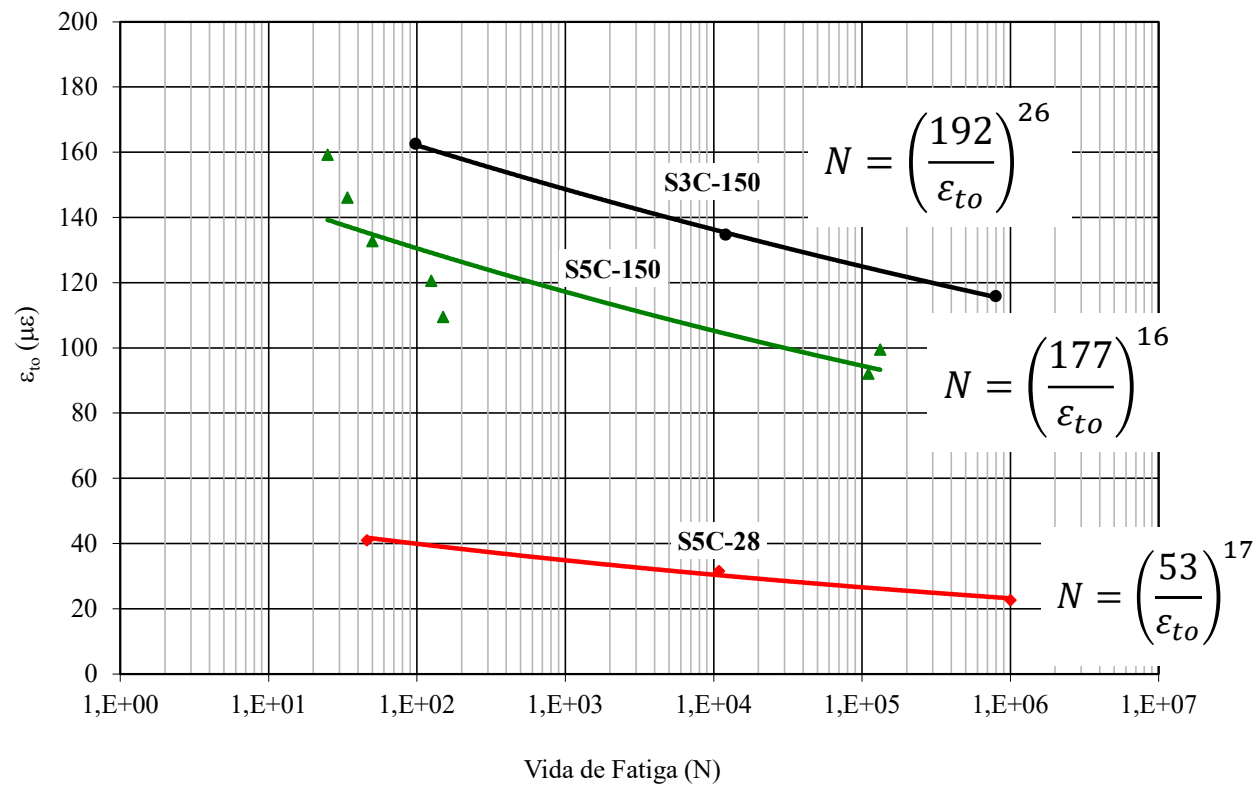
$$N = b \left(\frac{\mu\varepsilon_b}{\mu\varepsilon} \right)^a$$

$\mu\varepsilon$: Deformación de tracción inicial [μs]

$\mu\varepsilon_b$: Deformación para 95% de carga de falla [μs]

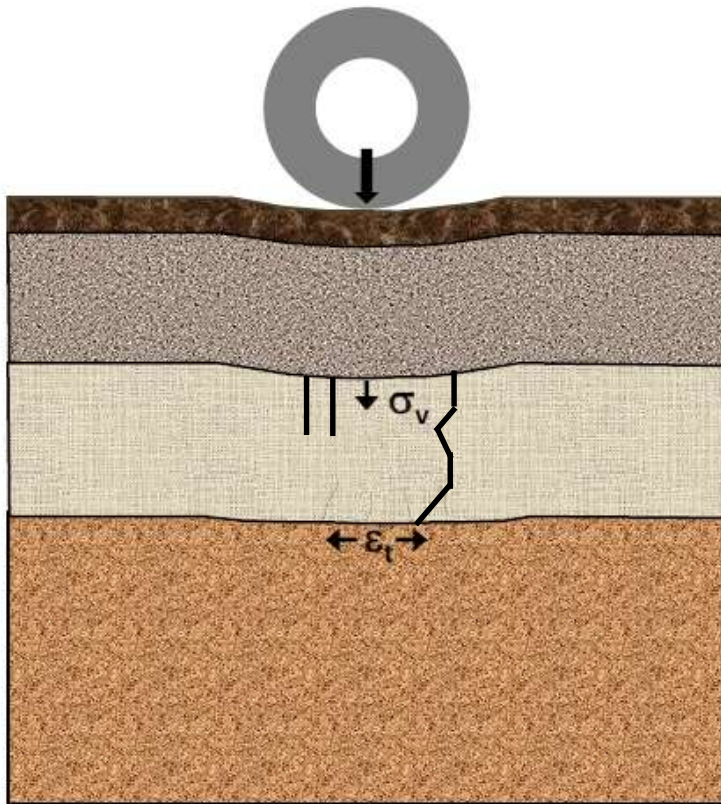
FATIGA DE SUELO-CAL

Suelo de Cebollatí (CH) (Behak, 2013)



TRITURACIÓN DE MATERIALES CEMENTADOS

Falla de Arriba-Abajo



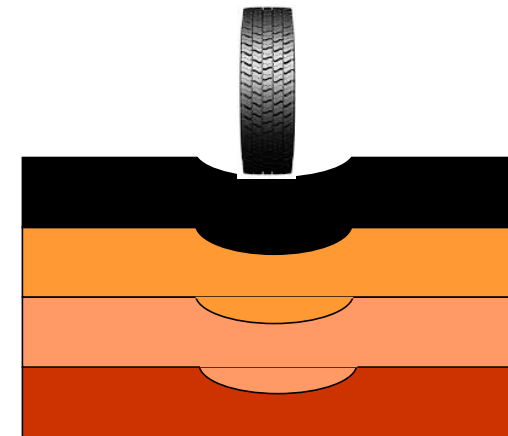
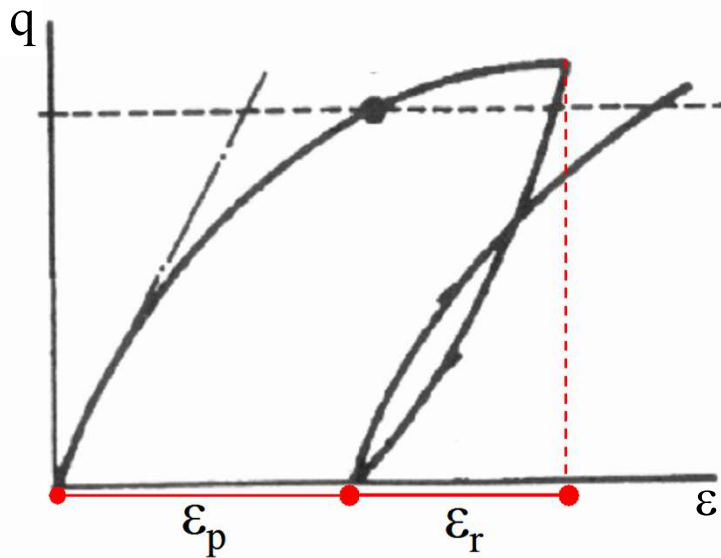
Falla por compresión causada por ciclos de carga de tránsito

Parámetro crítico: Tensión Vertical (σ_v) en el tope de capa cementada

Ensayo de Resistencia al Corte Inconfiada

DEFORMACIÓN PERMANENTE

Ahuellamiento

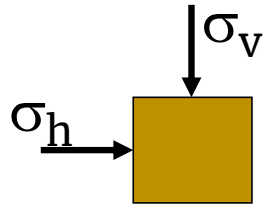


Falla estructural causada por acumulación de deformaciones permanentes

DEFORMACIÓN PERMANENTE

Método Directo

Tensiones normales en
plano medio de capa

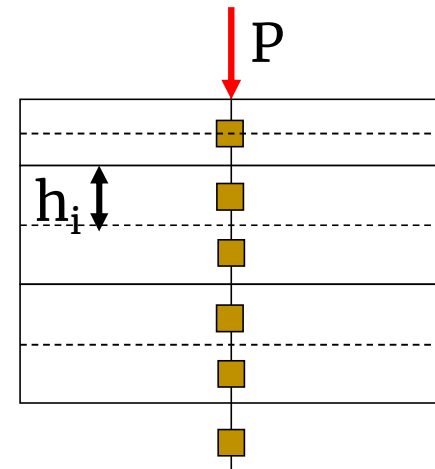


$$(\sigma_v; \sigma_h) \xrightarrow{\text{Ensayo}} (\varepsilon_{pv}; \varepsilon_{ph})$$

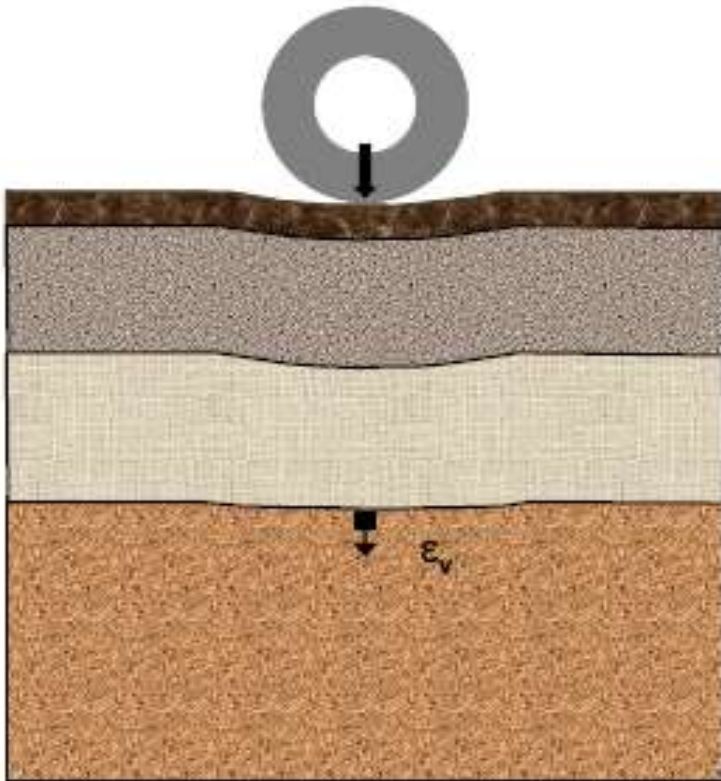
Deformación Total

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

ε_{pi} : Deformación Permanente media de capa i



DEFORMACIÓN PERMANENTE DE SUBRASANTES



Suelo de subrasante tiene la mayor incidencia en Deformación Permanente

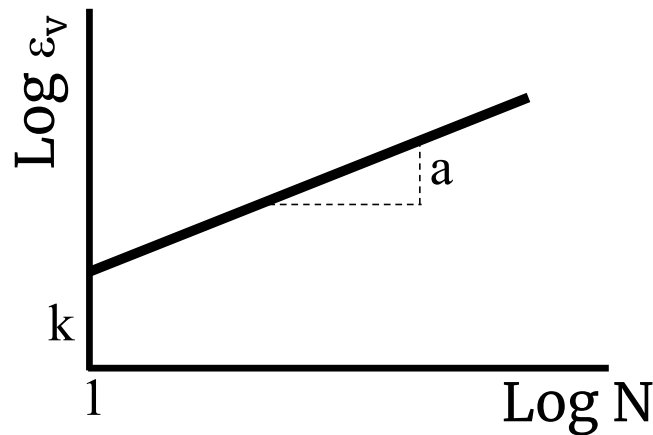
Parámetro crítico: Deformación Vertical (ϵ_v) o Tensión Vertical (σ_v) en el tope de subrasante

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 ϵ_p a intervalos de N



$$\epsilon_p = kN^a$$

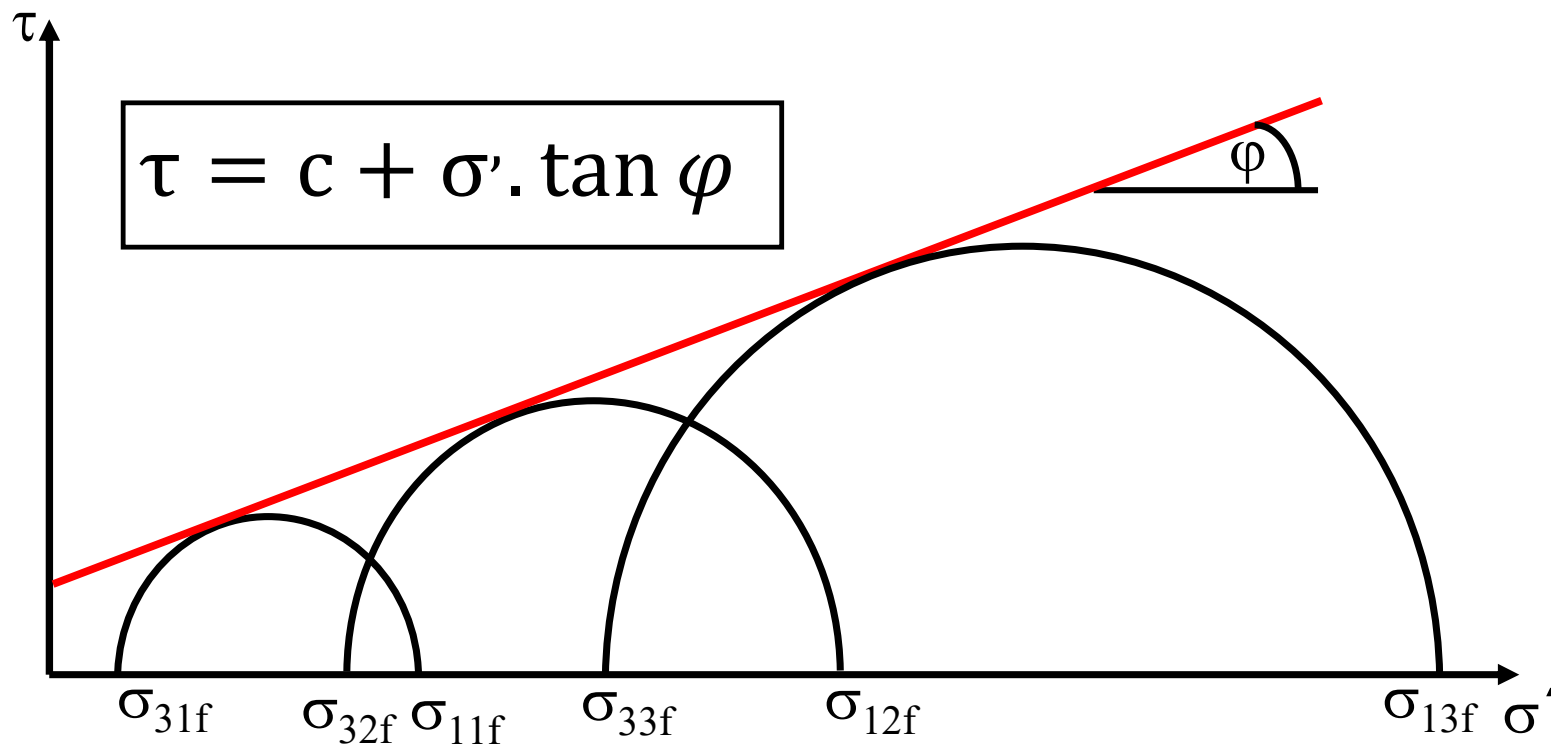
$$\delta_{vadm} = 10-20 \text{ mm}$$

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

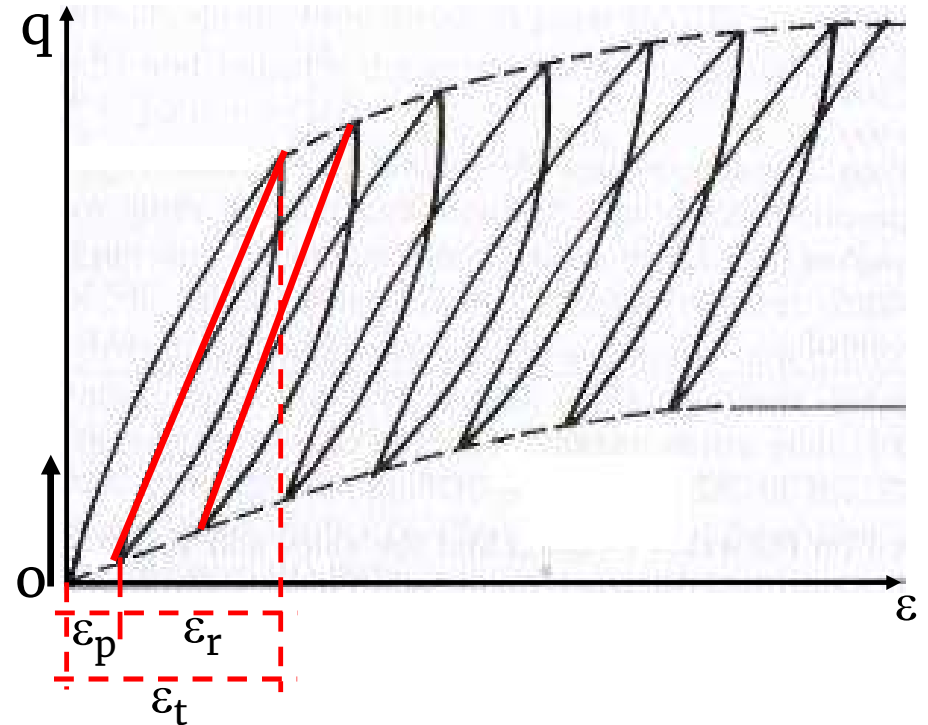
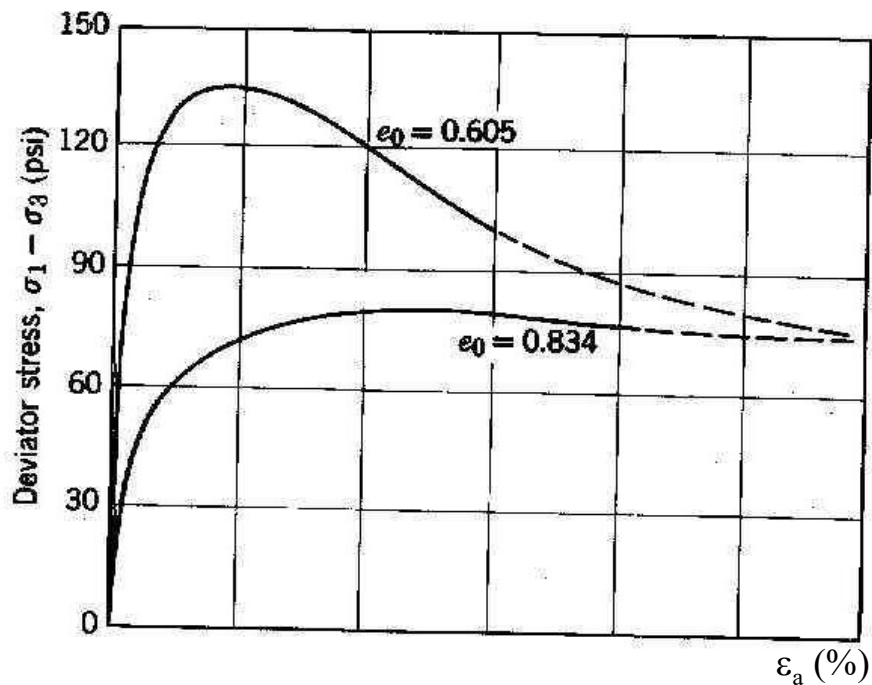
Tensión Vertical (σ_{vadm}) Admisible en
Tope de Subrasante

RESISTENCIA AL CORTE DE MATERIALES GRANULARES

Teoría de Falla de Mohr-Coulomb

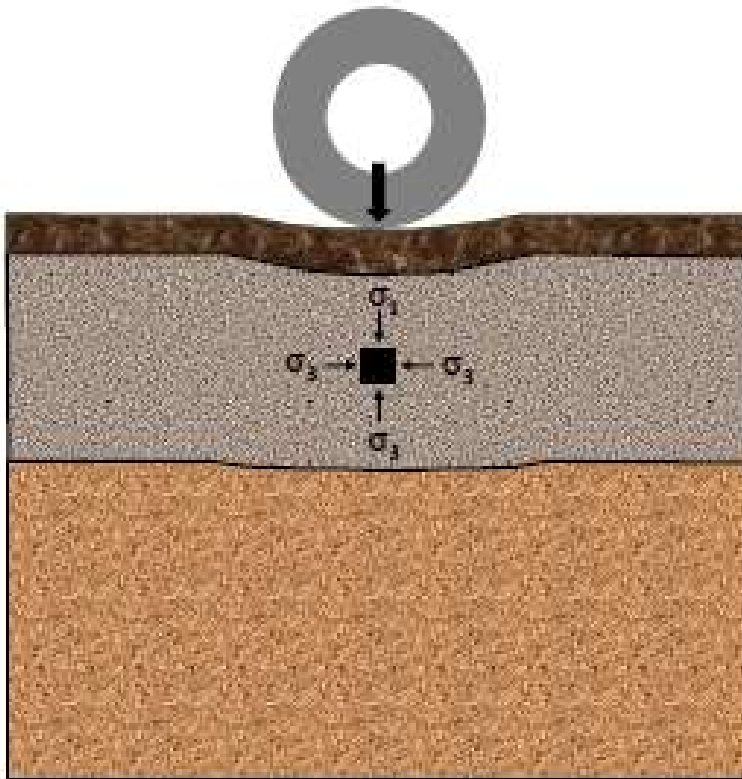


RESISTENCIA AL CORTE DE MATERIALES GRANULARES



Resistencia al Corte se desarrolla completamente por acumulación de Deformaciones Permanentes

RESISTENCIA AL CORTE DE MATERIALES GRANULARES



Parámetros críticos: Tensiones Principales (σ_1 ; σ_3) en el plano medio de capa granular

Ensayos de Resistencia al Corte