

MECÁNICA DE PAVIMENTOS

Comportamiento Mecánico de Pavimentos



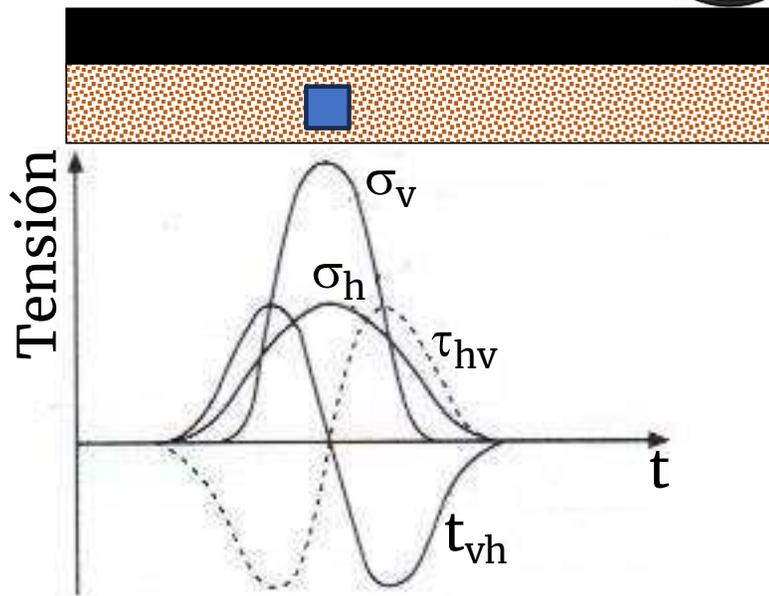
FACULTAD DE
INGENIERÍA



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Dr. Ing. Leonardo Behak
Instituto de Estructuras y Transporte

COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE PAVIMENTOS



σ_v : Pulso Semisinusoidal

Carga de Tránsito

Tensión baja → Deformación baja

Tiempo de aplicación instantáneo

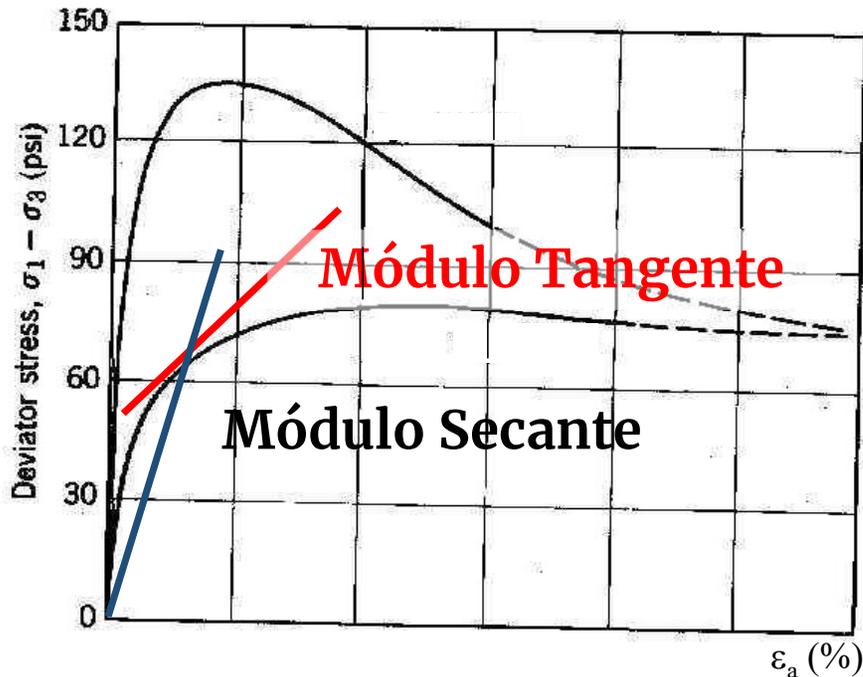
Intensidad gradual

Aplicación cíclica

Período de reposo entre vehículos

MÓDULOS DE DEFORMABILIDAD

Materiales Elástico No Lineales o Elasto-Plásticos

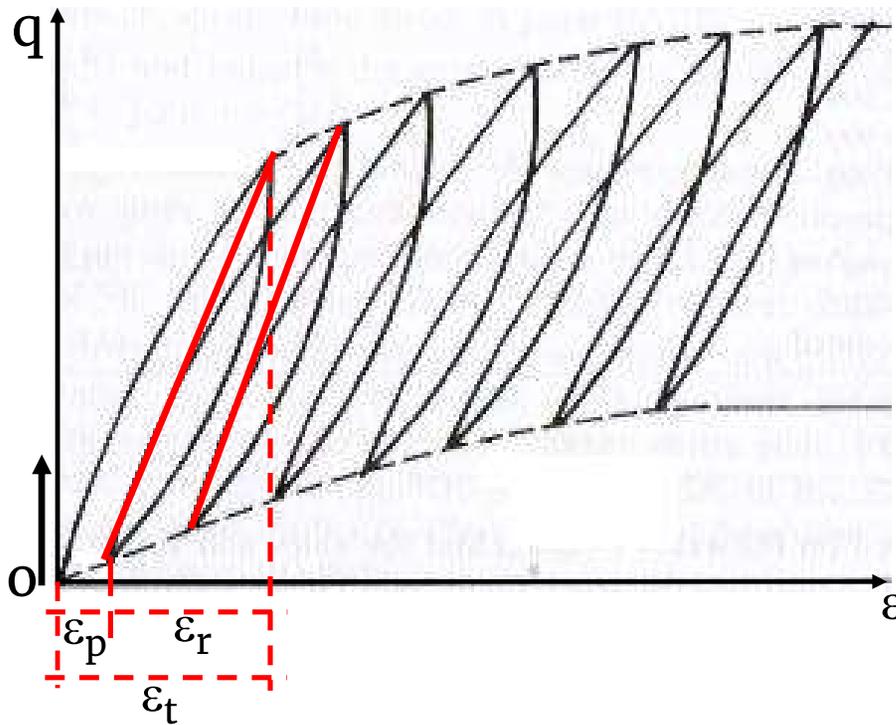


Función de q y ϵ

A muy bajas deformaciones: Módulo Tangente \approx Módulo Secante

Rigidez de materiales es mayor para menores niveles de q

MÓDULO RESILIENTE (HVEEM, 1955)



$$MR = \frac{q}{\epsilon_r}$$

$$\epsilon_t = \epsilon_p + \epsilon_r$$

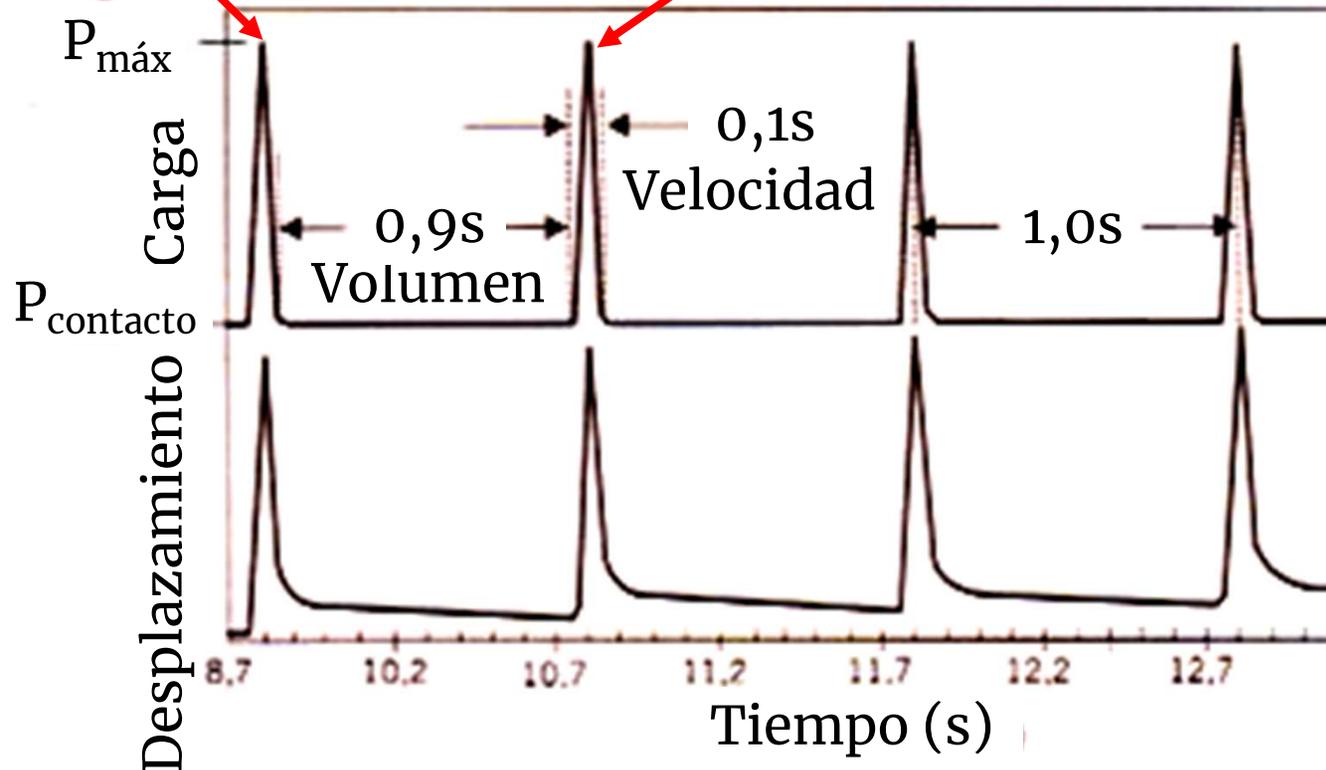
ϵ_p : Deformación permanente
 ϵ_r : Deformación recuperable
 ϵ_t : Deformación total

ENSAYOS DE MÓDULO RESILIENTE

Simular carga de tránsito \Rightarrow Ensayo de carga repetida (cíclica)

Carga de Vehículo

Pulso de Carga en un solo sentido



ENSAYOS TRIAXIAL CÍCLICO (AASHTO T307)

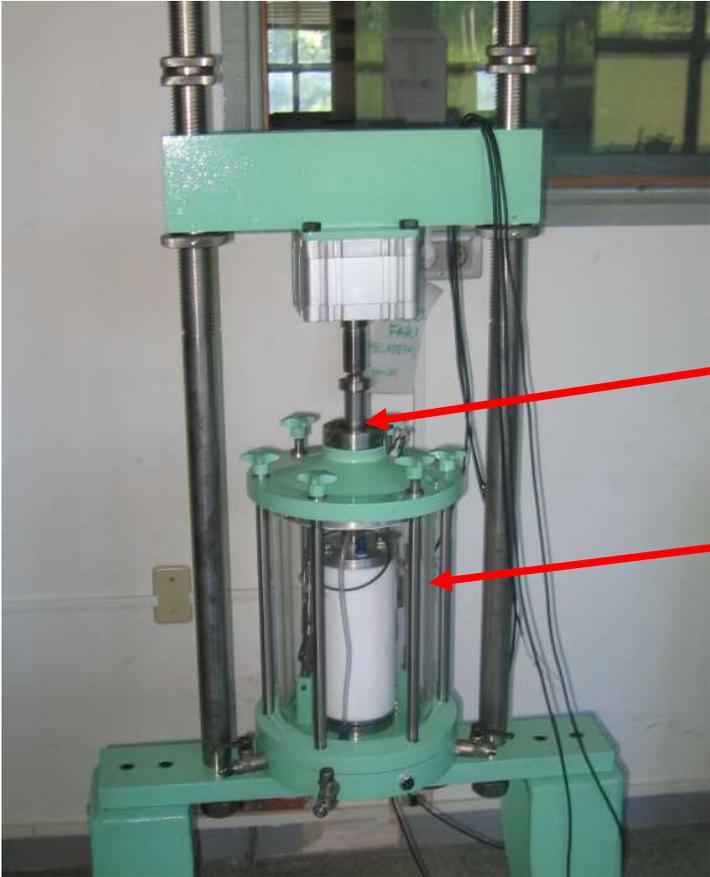
Seed et al. (1955)

Ensayo para Suelos y Materiales Granulares

Tensión desviadora
(σ_d) cíclica

Presión de cámara (σ_c)
neumática

Se aplican n secuencias de $\sigma_d - \sigma_3$
de m ciclos



ENSAYOS TRIAXIAL CÍCLICO (AASHTO T307)

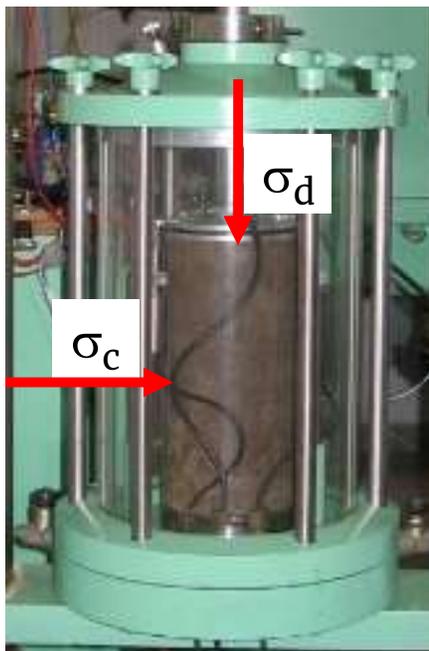
Válvula de 3 Vías



Válvula Proporcional



$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_d$$



Celda de Carga



LVDT



ENSAYOS TRIAXIAL CÍCLICO (AASHTO T307)

Secuencias de Carga ($\sigma_d - \sigma_3$) para Suelo de Subrasante

Secuencia Nº	Presión de Confinamiento (kPa)	Tensión Desviadora Máxima (kPa)	Nº Aplicaciones de Carga
0	41,4	27,6	500-1000
1	41,4	13,8	100
2	41,4	27,6	100
3	41,4	41,4	100
4	41,4	55,2	100
5	41,4	68,9	100
6	27,6	13,8	100
7	27,6	27,6	100
8	27,6	41,4	100
9	27,6	55,2	100
10	27,6	68,9	100
11	13,8	13,8	100
12	13,8	27,6	100
13	13,8	41,4	100
14	13,8	55,2	100
15	13,8	68,9	100

MR = Valor medio
de últimos 5 ciclos
de cada secuencia

ENSAYOS TRIAXIAL CÍCLICO (AASHTO T307)

Secuencias de Carga ($\sigma_d - \sigma_3$) para Materiales de Base y Subbase

Secuencia Nº	Presión de Confinamiento (kPa)	Tensión Desviadora Máxima (kPa)	Nº Aplicaciones de Carga
0	103,4	103,4	500-1000
1	20,7	20,7	100
2	20,7	41,4	100
3	20,7	62,1	100
4	34,5	34,5	100
5	34,5	68,9	100
6	34,5	103,4	100
7	68,9	68,9	100
8	68,9	137,9	100
9	68,9	206,8	100
10	103,4	68,9	100
11	103,4	103,4	100
12	103,4	206,8	100
13	137,9	103,4	100
14	137,9	137,9	100
15	137,9	275,8	100

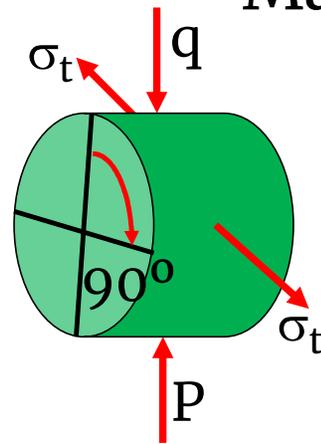
ENSAYOS TRACCIÓN INDIRECTA CÍCLICA (A ASTM D7369)

Schmidt (1972)

Ensayo para Mezclas Asfálticas y
Materiales Cementados

$$\sigma_{t\text{máx}} = 0,10 - 0,20 \text{ RTD}$$

100 ciclos

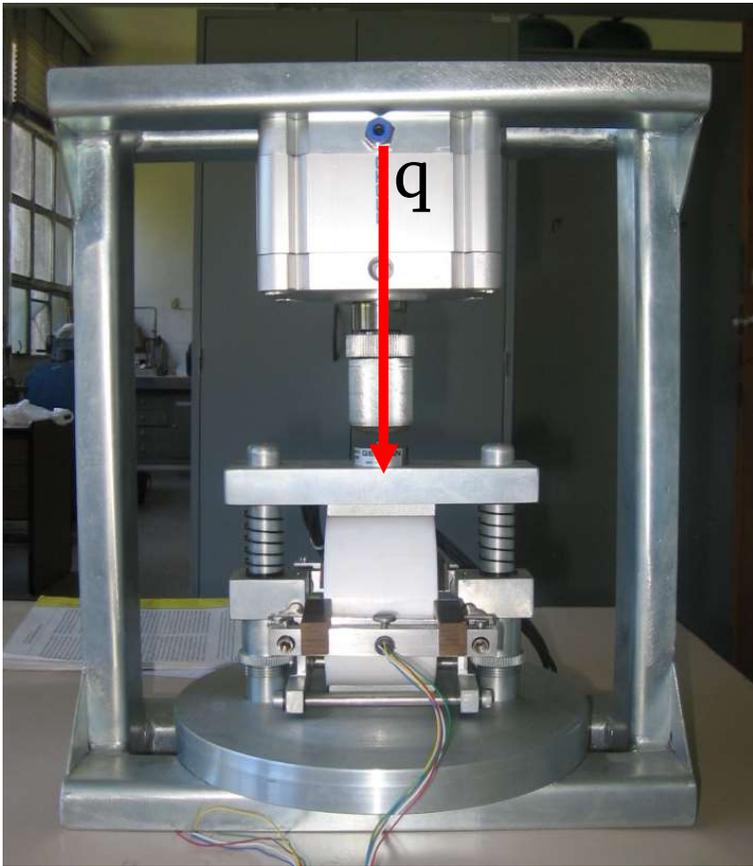


$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi h d}$$

h: Altura
d: Diámetro

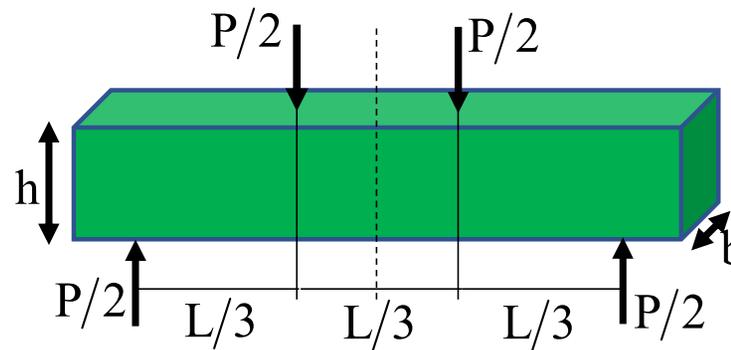
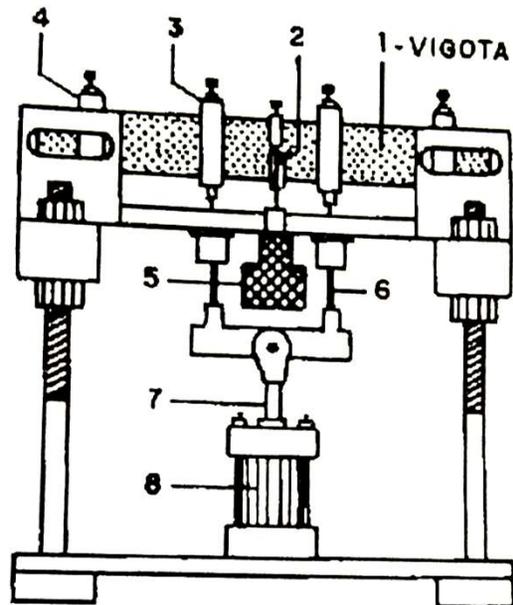
$$MR = \frac{P}{\delta h} (\mu + 0,2734)$$

δ : Desplazamiento recuperable horizontal



ENSAYOS DE FLEJO-TRACCIÓN CÍCLICA

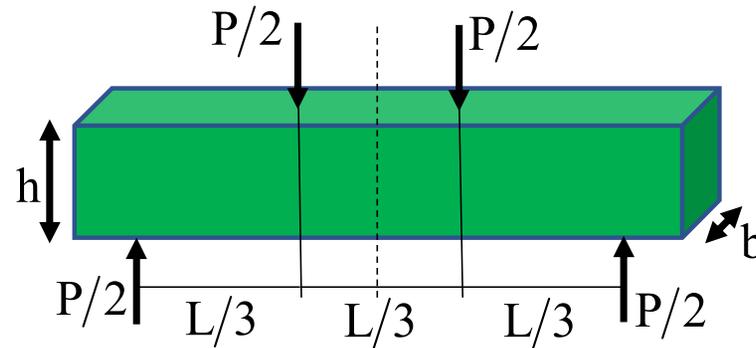
Flexión de 4 Puntos



- 1 – Vigueta de Prueba
- 2 – LVDT
- 3 – Abrazadera de Carga
- 4 – Abrazadera de Rótula

- 5 – Batiente de Acero
- 6 – Hasta de Carga
- 7 – Pistón
- 8 – Cilindro de Carga

ENSAYOS DE FLEJO-TRACCIÓN CÍCLICA



Módulo Resiliente a la Flexión

$$MR = \frac{23PL^3}{1296\delta I} \left[1 + \frac{216h^2}{115L^2} (1 + \mu) \right]$$

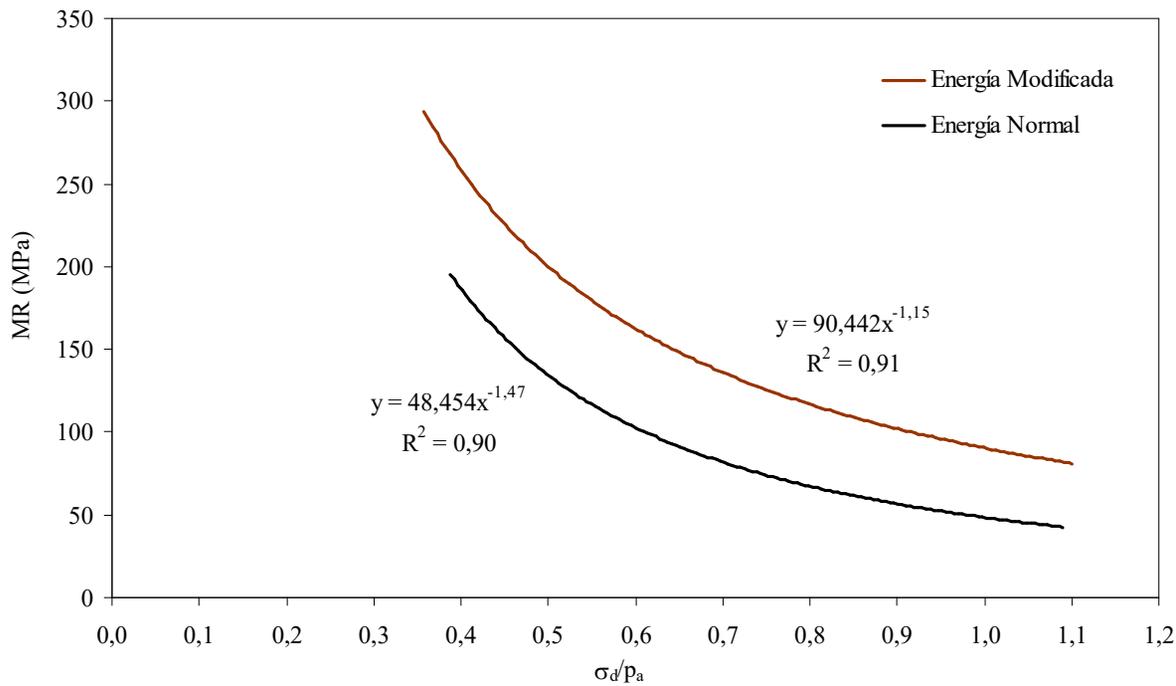
δ : Deflexión Máxima

I : Momento de Inercia

$$MR_t = \frac{\sigma_t}{\epsilon_t} \quad \text{MR a la Tracción}$$
$$MR_c = \frac{\sigma_c}{\epsilon_c} \quad \text{MR a la Compresión}$$

CARACTERÍSTICAS RESILIENTE DE SUELOS ARCILLOSOS

Limo Arcilloso de Cebollatí (CH)

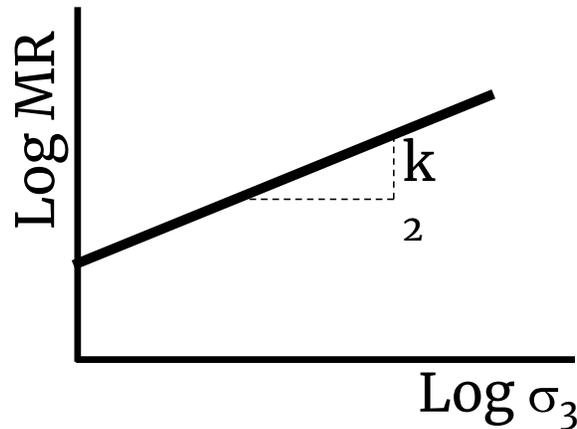


$$MR = k_1 \cdot \sigma_d^{k_2}$$

σ_d : Tensión Desviadora
 k_1 ; k_2 : Parámetros del modelo
 $k_2 < 0$

CARACTERÍSTICAS RESILIENTE DE SUELOS ARENOSOS

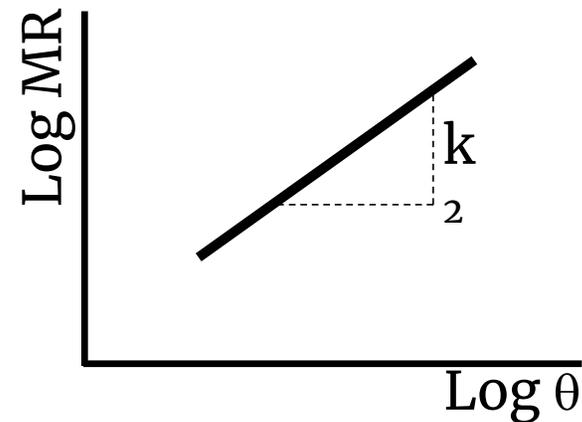
Arena



Dunlap (1963)

$$MR = k_1 \cdot \sigma_3^{k_2}$$

Arena Arcillosa



Seed et al. (1962)

$$MR = k_1 \cdot \theta^{k_2}$$

Tensión Volumétrica $\theta = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = \sigma_1 + 2\sigma_3$

MODELOS GENERALES DE MÓDULO RESILIENTE

Incluyen efecto de tensiones rasantes (t)

Uzan (1985)
$$\text{MR} = k_1 \left(\frac{\theta}{p_a} \right)^{k_2} \left(\frac{\sigma_d}{p_a} \right)^{k_3}$$
 p_a : Presión Atmosférica

Witczak (2001)

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

τ_{oct} : Tensión rasante octaédrica

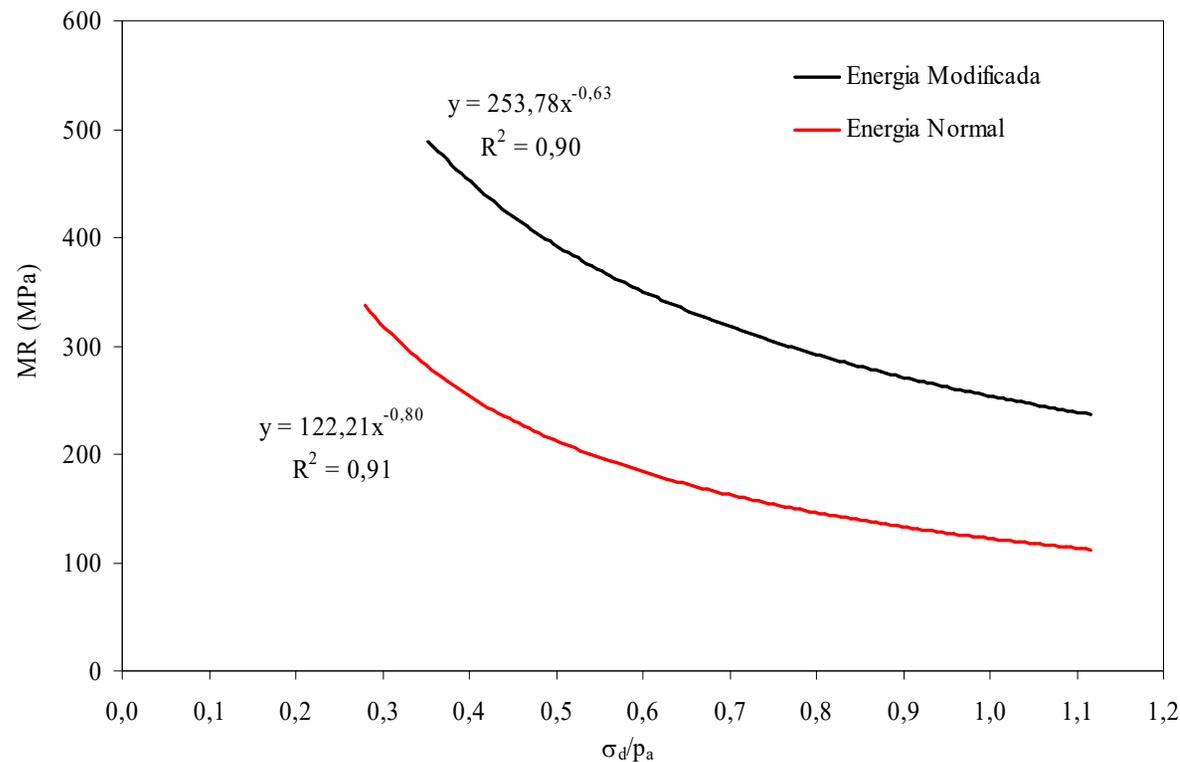
$$\tau_{\text{oct}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$$

$$\tau_{\text{oct}} = (\sigma_1 - \sigma_3) = \sigma_d$$

$$\text{MR} = k_1 \left(\frac{\theta}{p_a} \right)^{k_2} \left(\frac{\sigma_d}{p_a} + 1 \right)^{k_3}$$

CARACTERÍSTICAS RESILIENTE DE SUELO-CAL

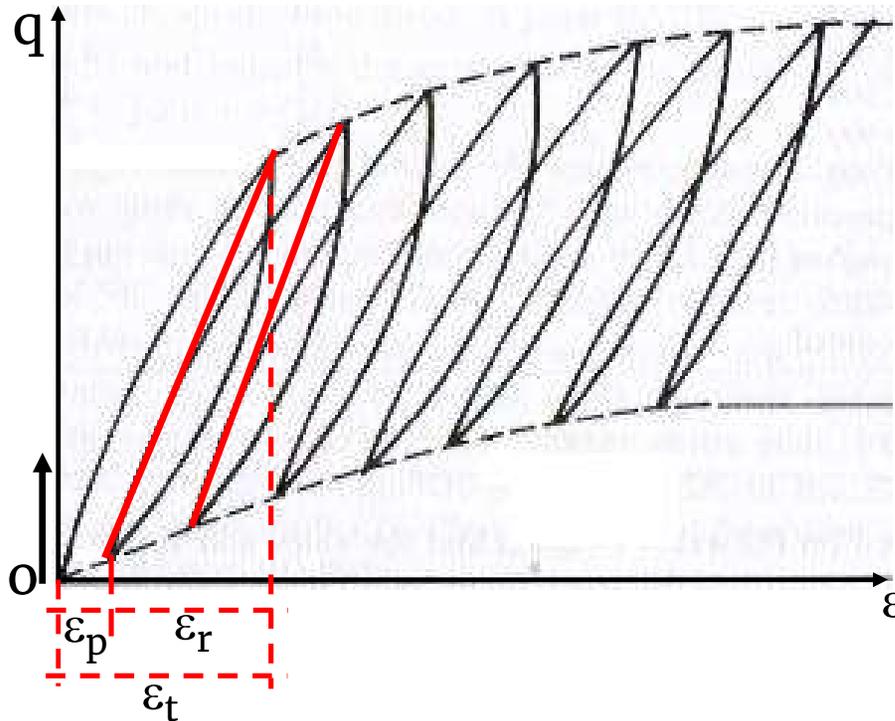
Limo Arcilloso de Cebollatí (CH) Modificado con Diferentes Contenidos de Cal y Tiempo



$$MR = k_1 \cdot \sigma_d^{k_2}$$

MÓDULO COMPLEJO DINÁMICO (E^*)

Mezclas Asfálticas



$$E^* = \frac{q}{\epsilon_r}$$

Función

Frecuencia de Carga

Temperatura

Ensayos de carga de pulso sinusoidal o semisinusoidal sin período de reposo

MÓDULO COMPLEJO DINÁMICO (ASTM D3497)

Probeta Cilíndrica

3 Frecuencias de Carga

3 Temperaturas

$$E^* = \frac{q}{\varepsilon_r}$$

Número Complejo

Parte Real

Rigidez Elástica

Parte Imaginaria

Amortiguación interna de los materiales

Valor Absoluto del E^*



Módulo Dinámico