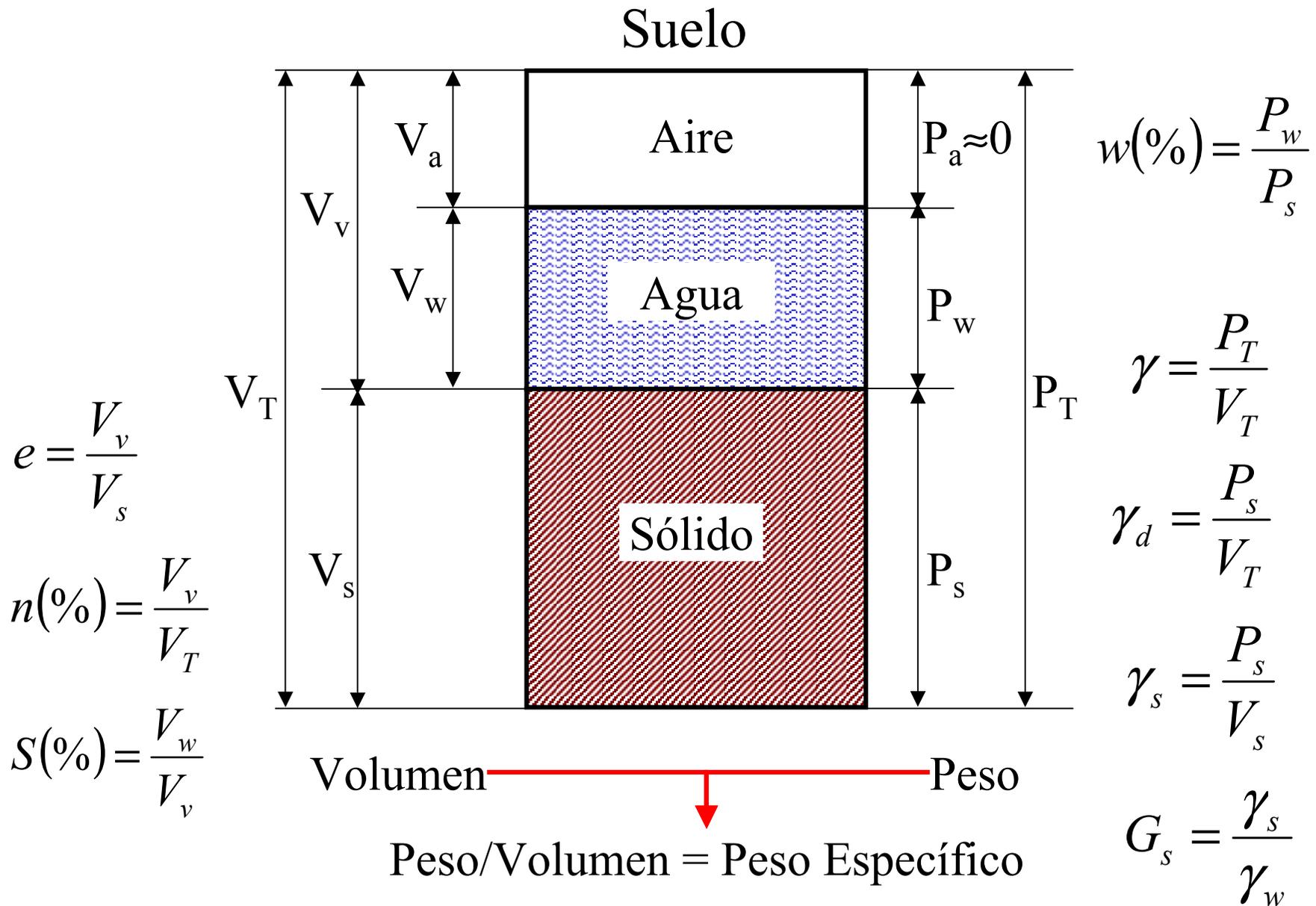


PROPIEDADES DE LOS SUELOS

Curso de Actualización Profesional



Propiedades Índice

Relaciones de Volumen

Porosidad $n(\%) = \frac{V_v}{V_T}$

Relación de Vacíos $e = \frac{V_v}{V_s}$

Grado de Saturación $S(\%) = \frac{V_w}{V_v}$

Relaciones de Peso

Humedad $w(\%) = \frac{P_w}{P_s}$

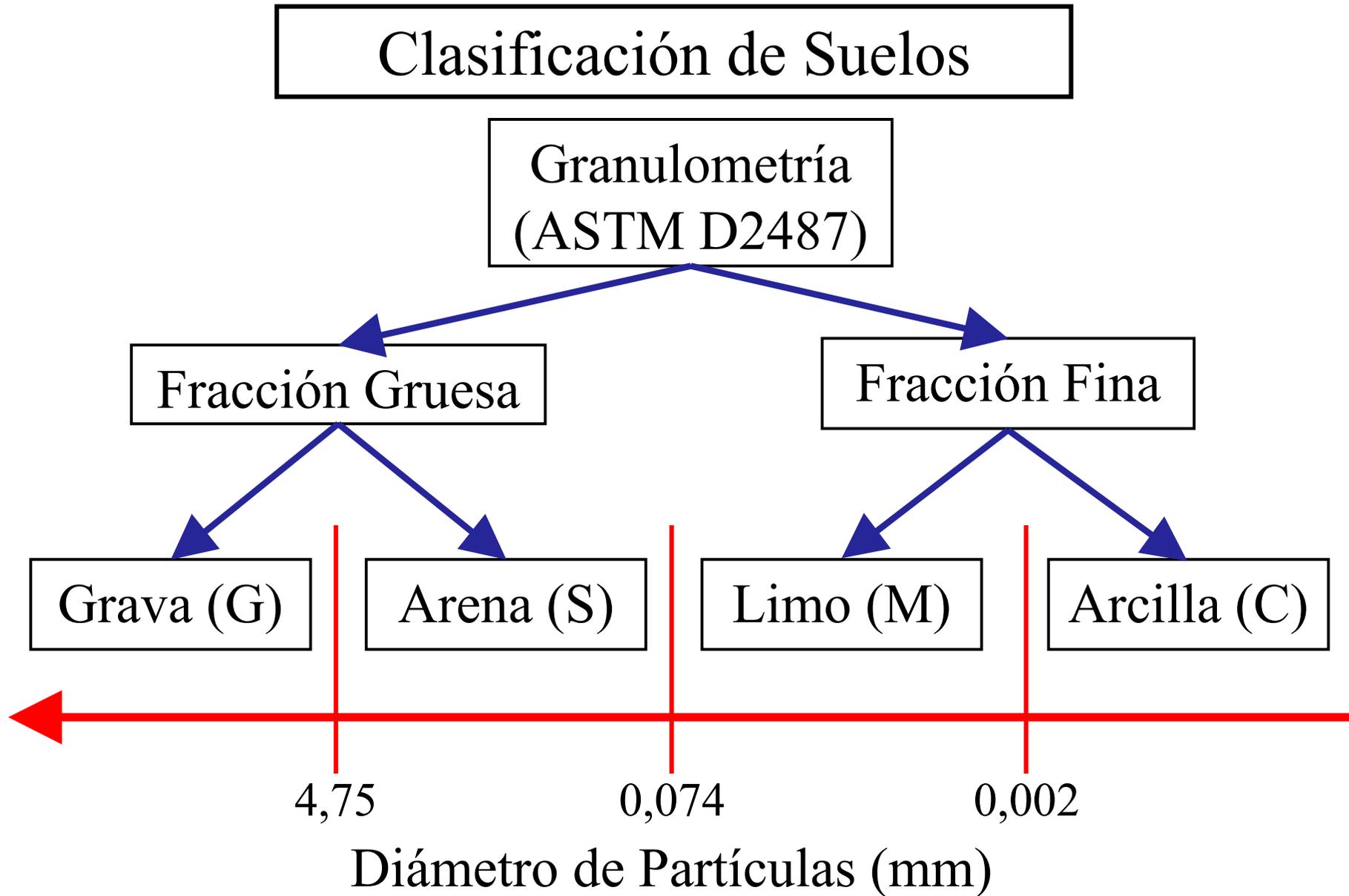
Relaciones Peso-Volumen

Peso Específico $\gamma = \frac{P_T}{V_T}$

Peso Específico Seco $\gamma_d = \frac{P_s}{V_T}$

Peso Específico de Sólidos $\gamma_s = \frac{P_s}{V_s}$

Gravedad Específica $G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$

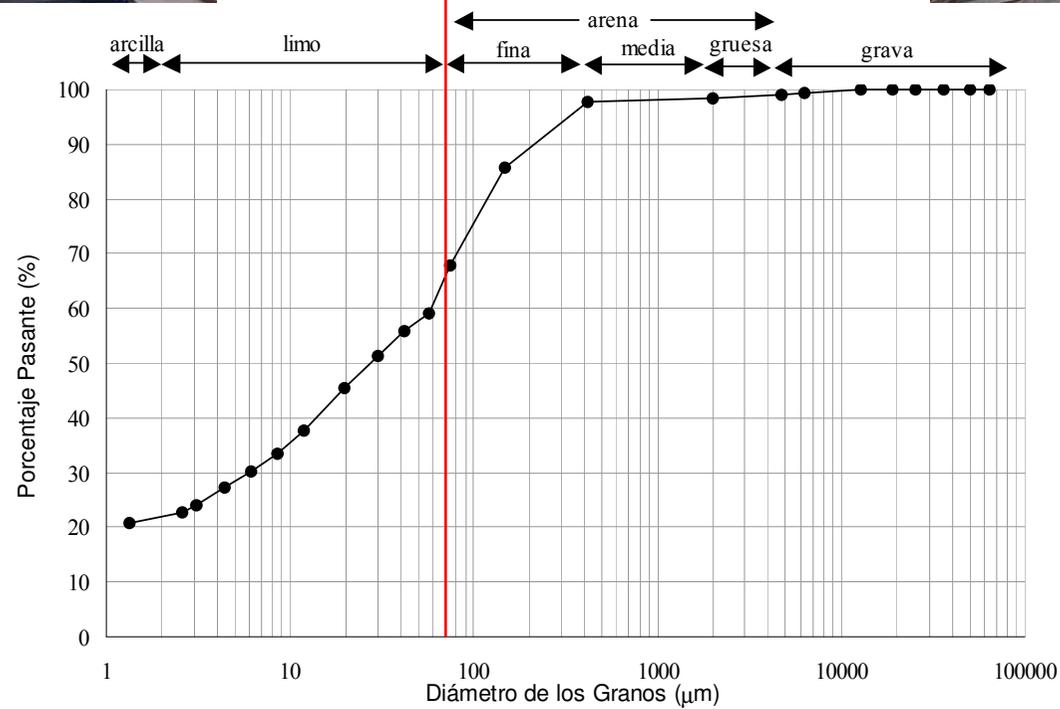


Análisis Granulométrico (ASTM D422)

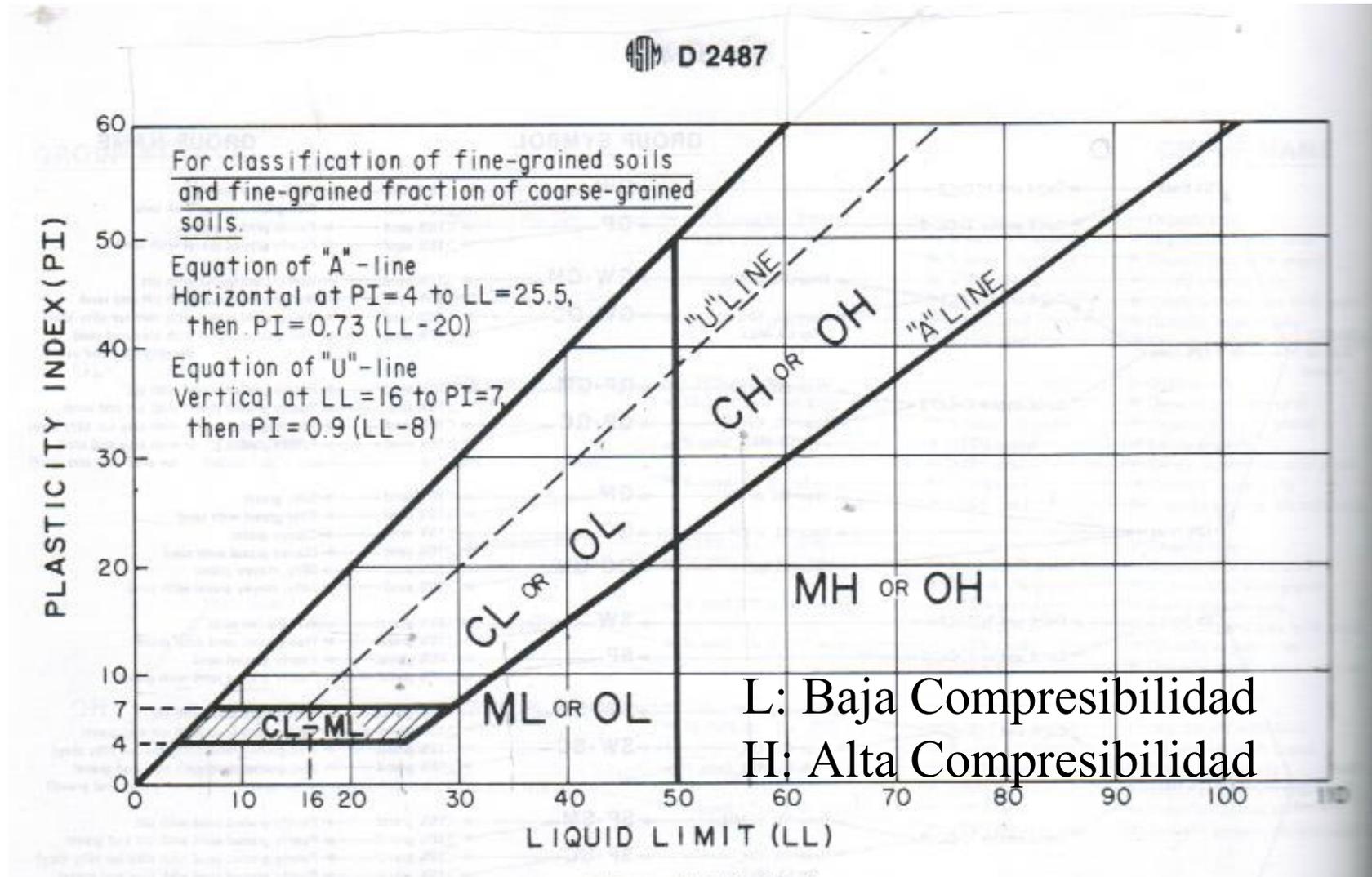
Sedimentación



Tamizado



Carta de Plasticidad



Sistema de Clasificación AASHTO (ASTM D3282)

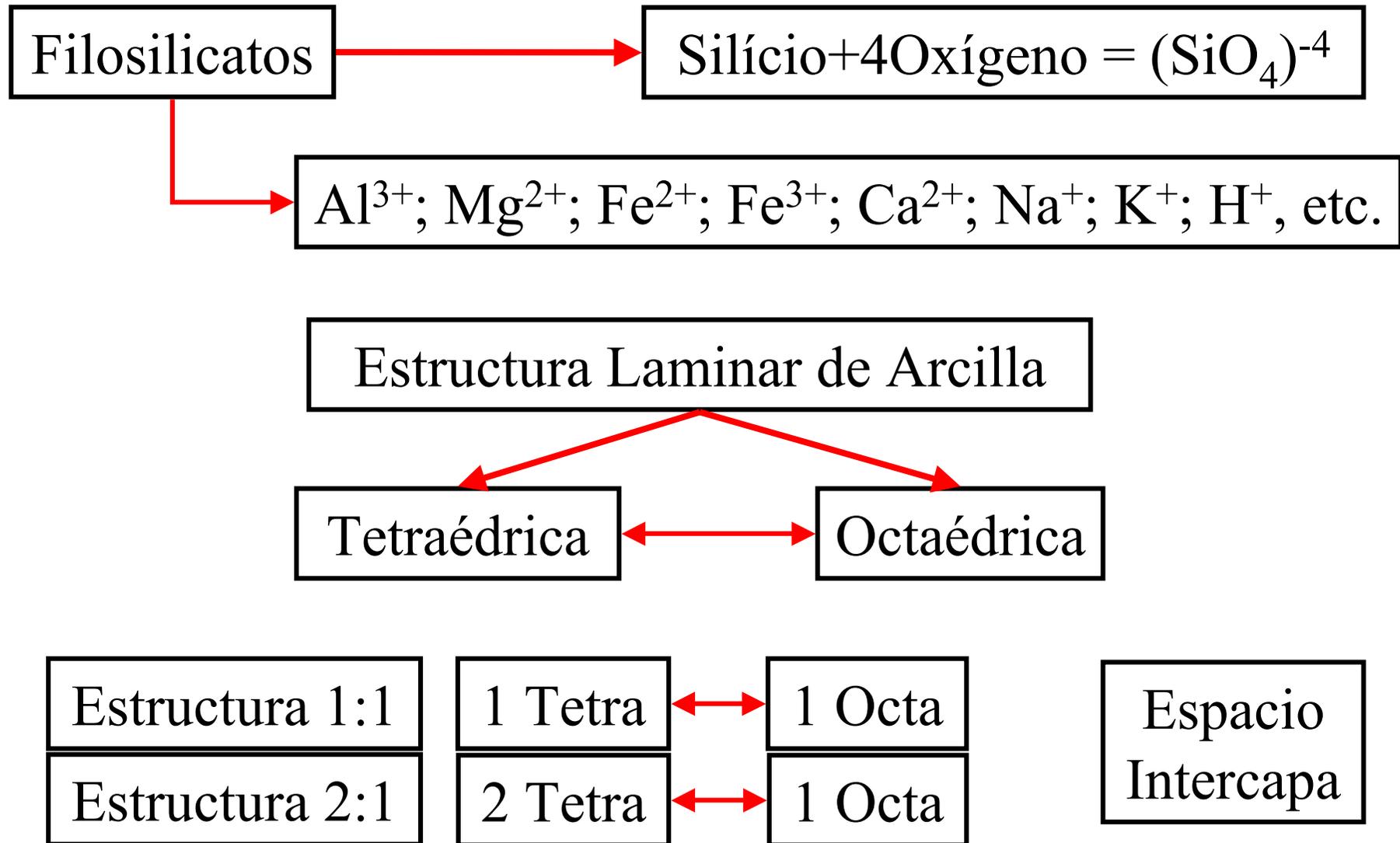
Clasificación de suelos y mezclas de agregados para la Construcción Vial

Recommended Practice AASHTO M 145-82 (Specifications - Parte 1, 1986)

Clasificación General	Materiales Granulares (35% o menos pasa el tamiz N°200)							Materiales limo-arcillosos (más de 35% pasa el tamiz N°200)			
Clasificación de Grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Análisis de tamizado (% pasa)											
2.00 mm (# N°10)	50 máx	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
0.425 mm (# N°40)	30 máx	50 máx	51 min	----	----	----	----	----	----	----	----
0.075 mm (# N°200)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 min	36 min	36 min	36 min
Características de fracción pasa # N°40											
Límite Líquido (LL)	----	----	40 máx	41 min	40 máx	41 min	40 máx	41 min	40 máx	41 min	41 min
Índice Plástico (IP)	6 máx	NP	10 máx	10 máx	11 min	11 min	10 máx	10 máx	11 min	11 min	11 min
Materiales constituyentes significativos	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Clasificación general como subrasante	Excelente a buena							Regular a pobre			

El IP del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL menos 30. El IP del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30 (ver **Gráfico** siguiente). La casilla A-3 antes de la A-2 es debido al proceso de eliminación de izquierda a derecha. No indica superioridad de A-3 sobre A-2.

Arcillas

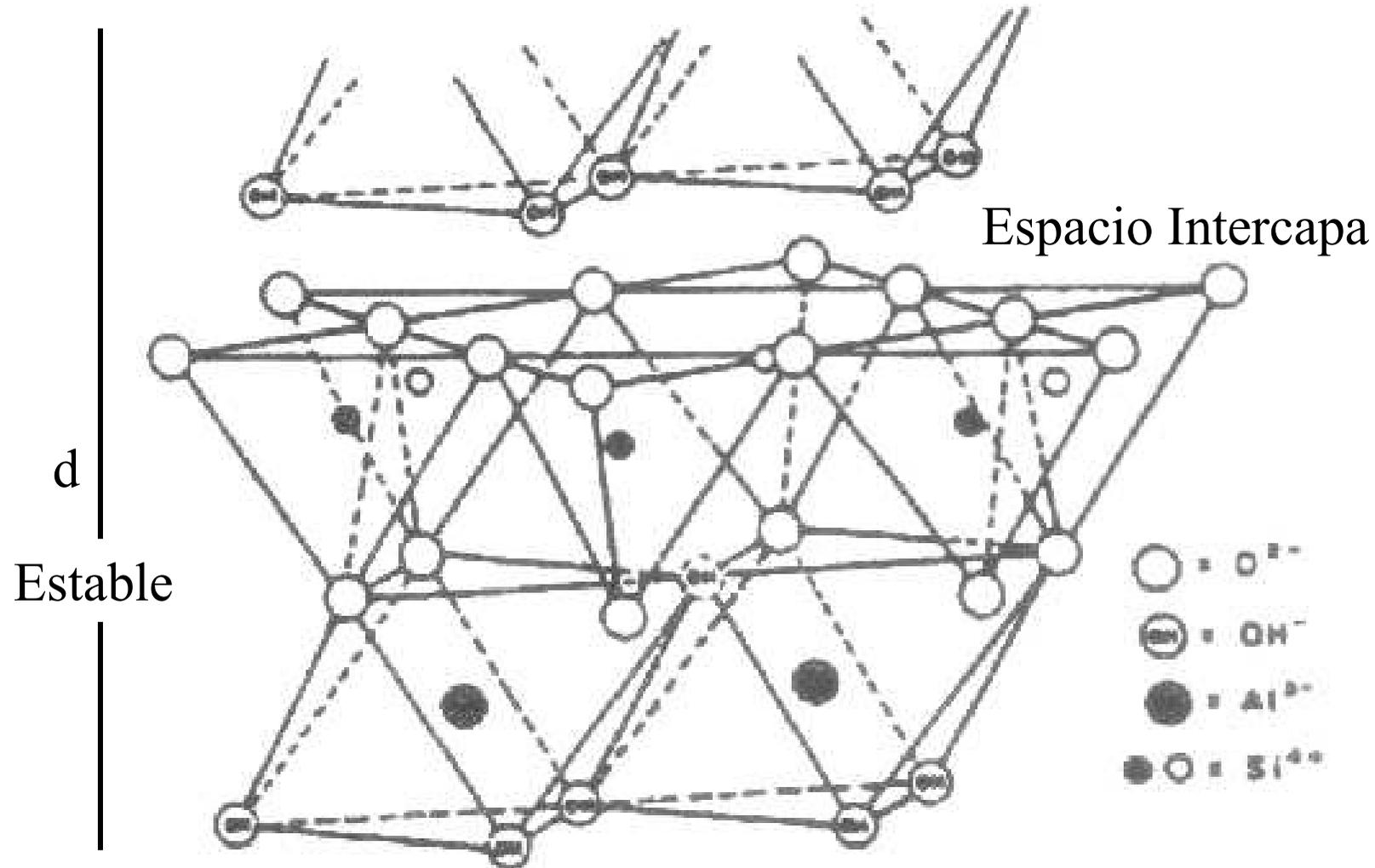


Clasificación de Minerales Arcillosos (AIPEA, 1976)

Capa	Material intercapa	Grupo	Subgrupo	Especie
1:1	Ninguna	Caolinita Serpentina	Di	Caolinita
2:1	Catión hidratado	Esmectita	Di	Montorillonita
	Catión hidratado	Vermiculita	Di, Tri	Vermiculita
	Catión no hidratado	Mica	Tri	Illita
	Lámina de hidróxidos	Clorita	Di, Tri	

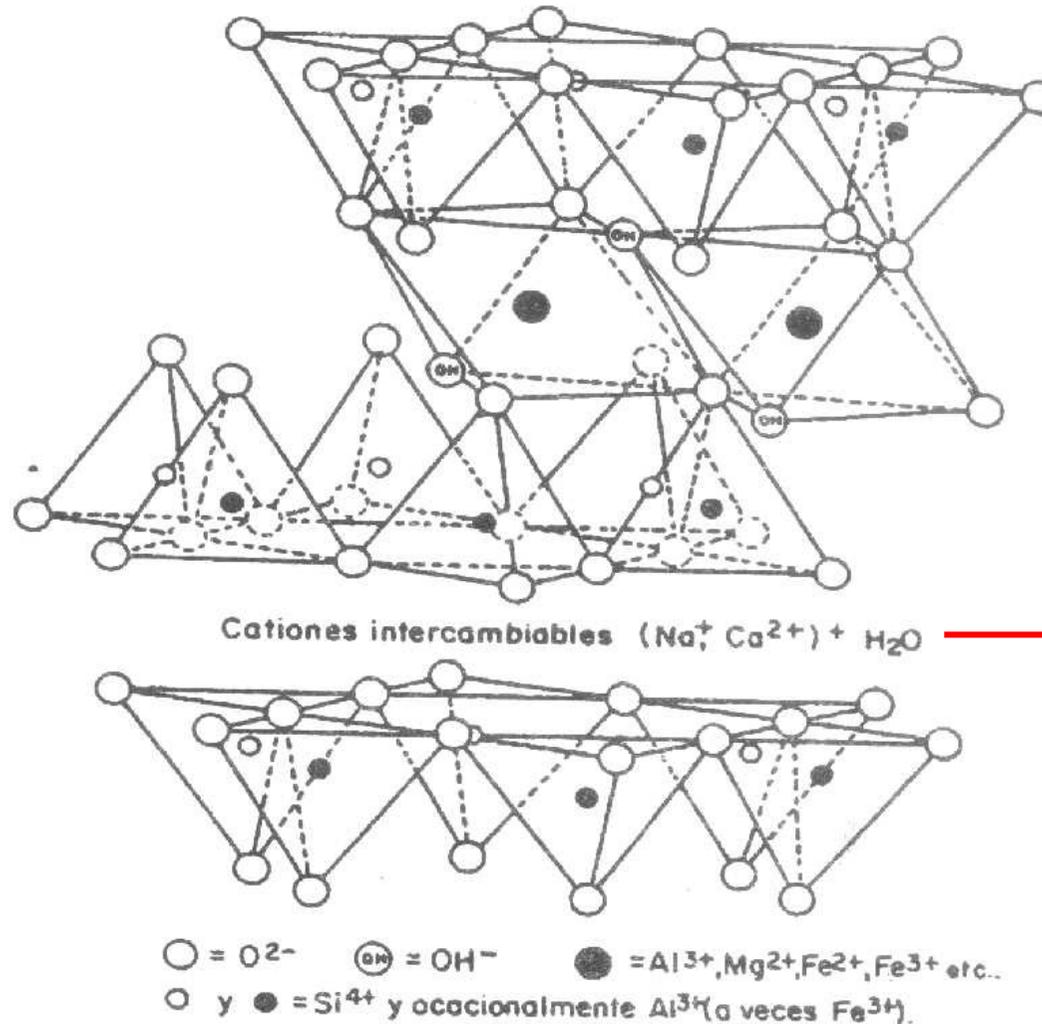
Di: Dioctaédricas; Tri: Trioctaédricas

Grupo Caolinita (1:1)



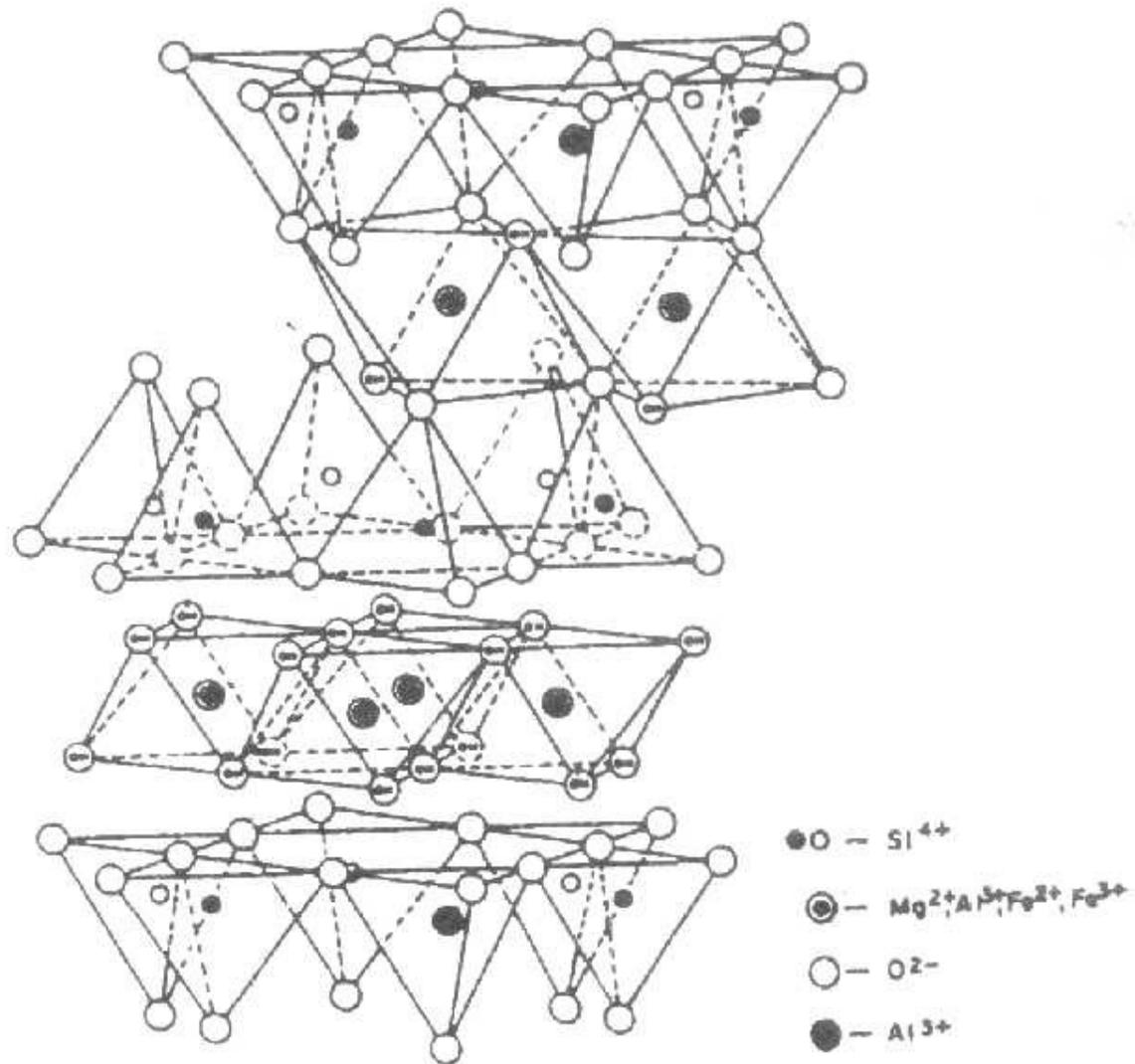
d: Espacio Basal (mínima distancia entre dos planos basales)

Grupo Esmectita (2:1) (Montmorillonita)



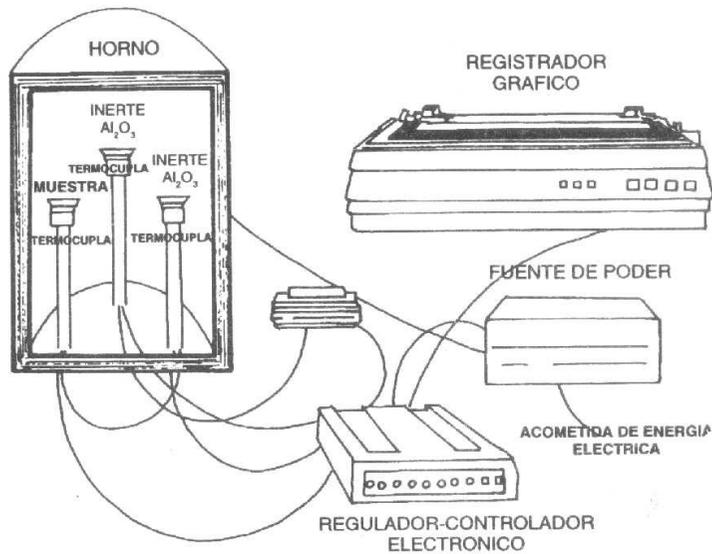
Expansividad estructural por absorción de agua o moléculas polares

Grupo Clorita

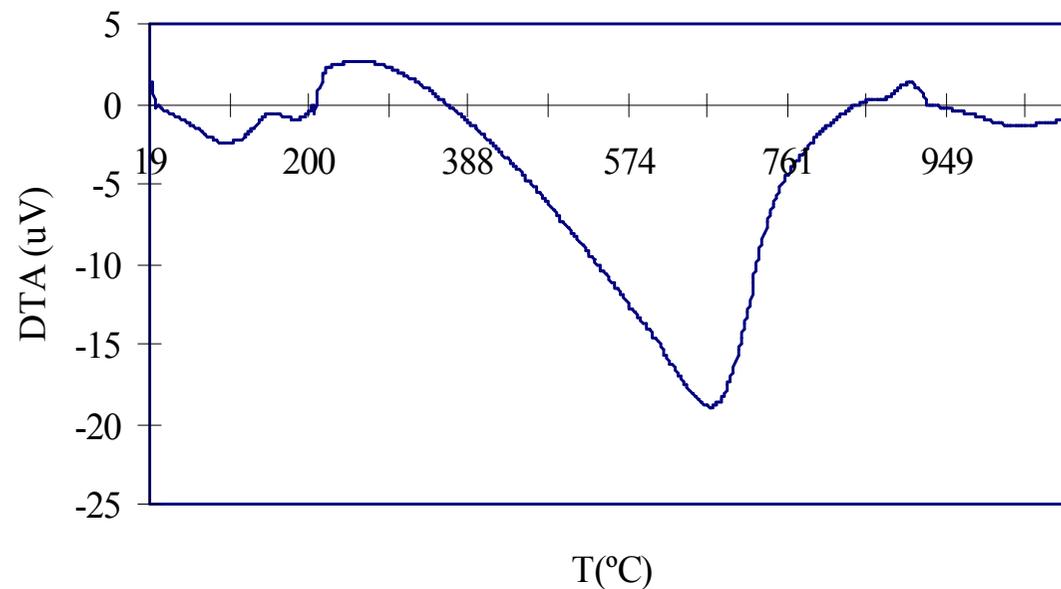


Técnicas de Identificación de Minerales Arcillosos

Análisis Térmico Diferencial (ATD)



ATD Esmectita

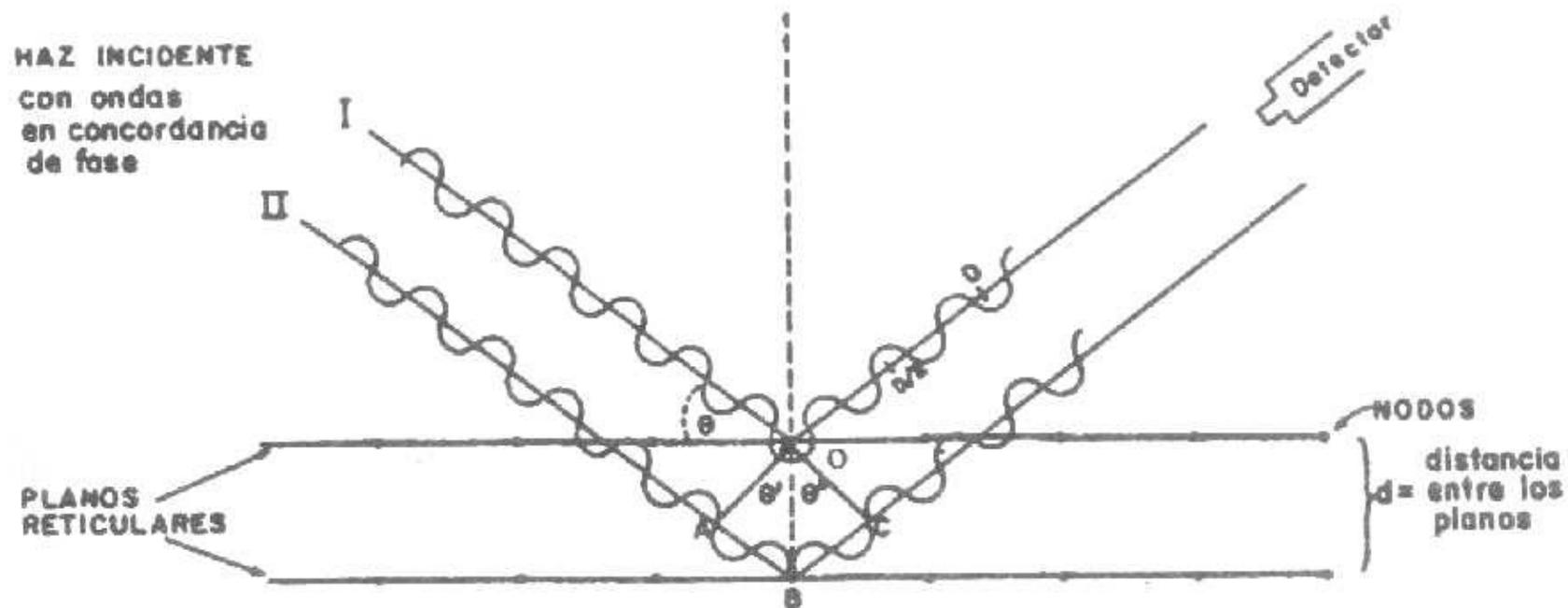


Técnicas de Identificación de Minerales Arcillosos

Difracción de Rayos X (DRX)

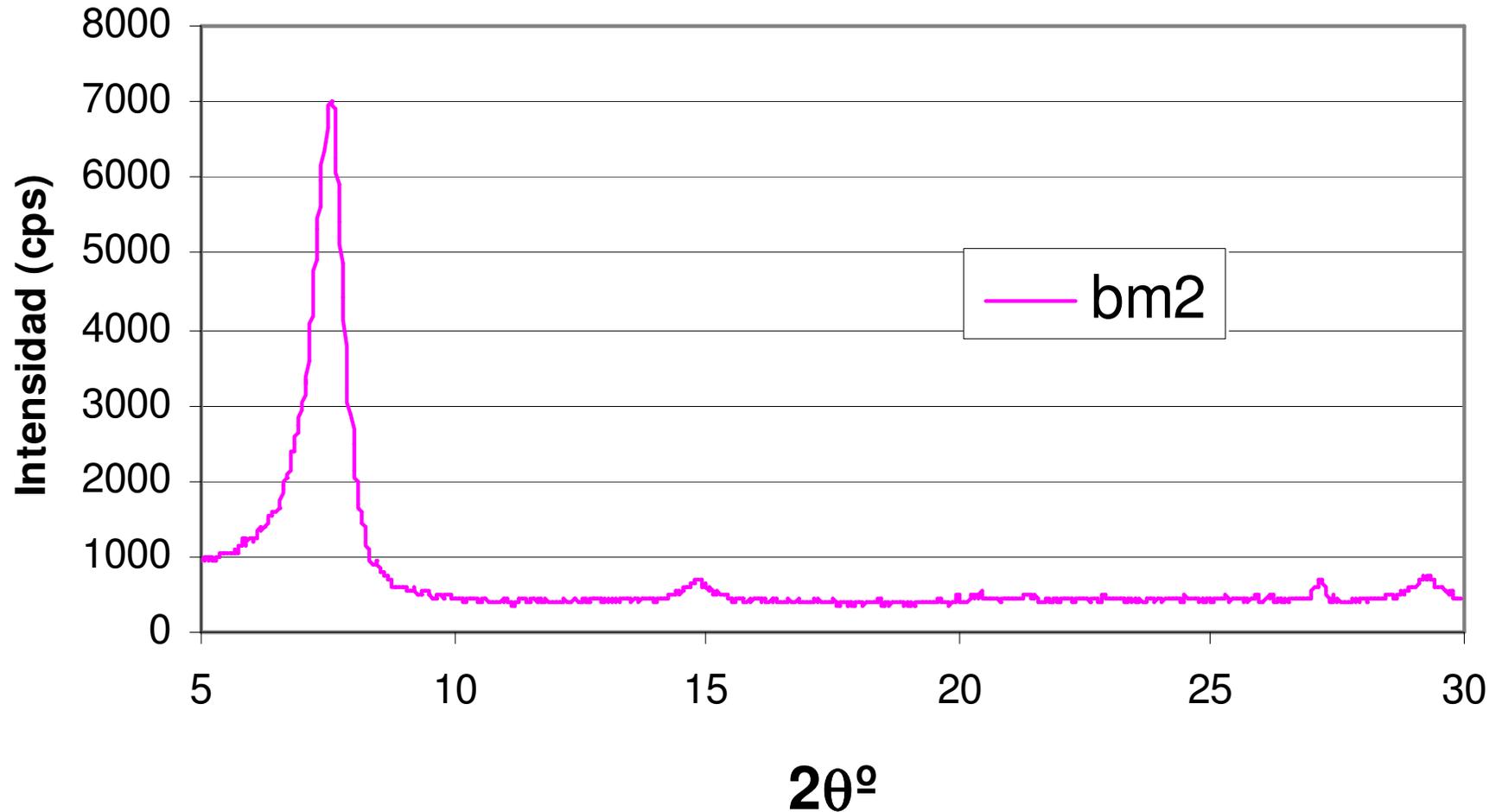
Ley de Bragg

$$n\lambda = 2d \sin\theta$$



Técnicas de Identificación de Minerales Arcillosos

DRX Esmectita

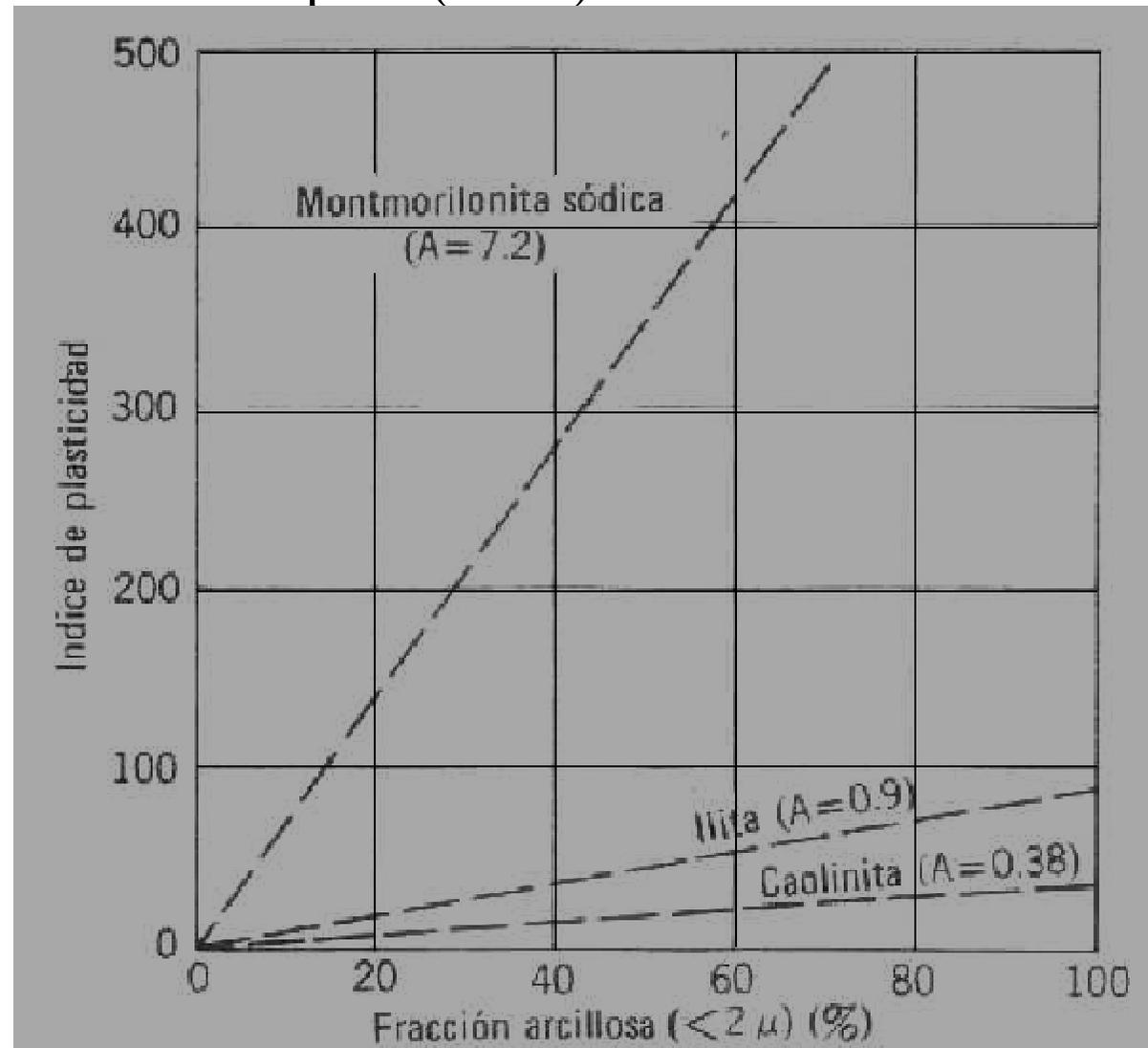


Técnicas de Identificación de Minerales Arcillosos

Skempton (1953)

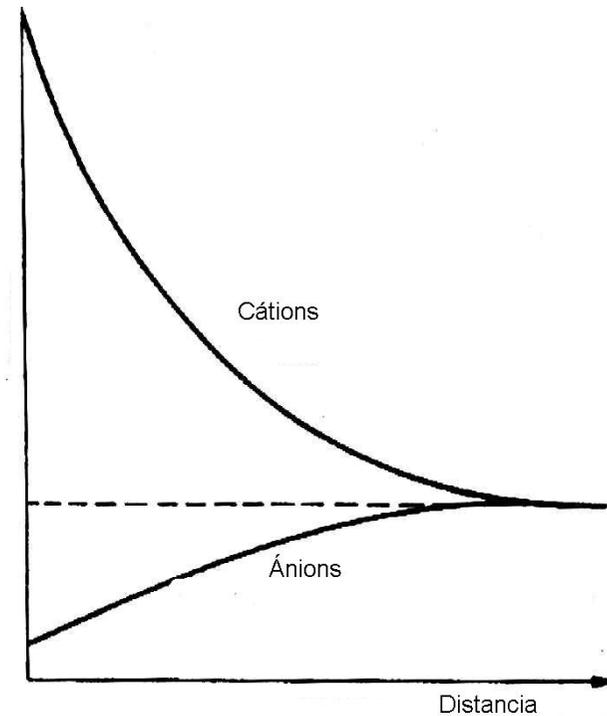
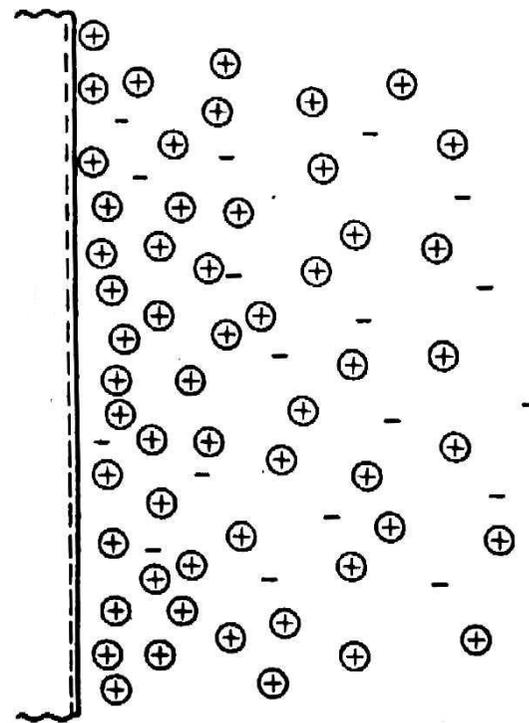
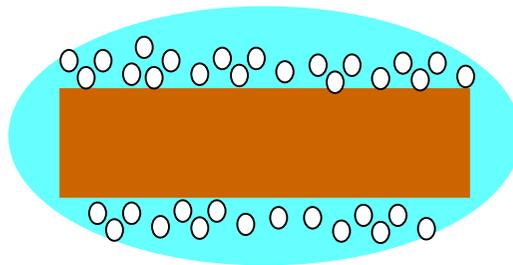
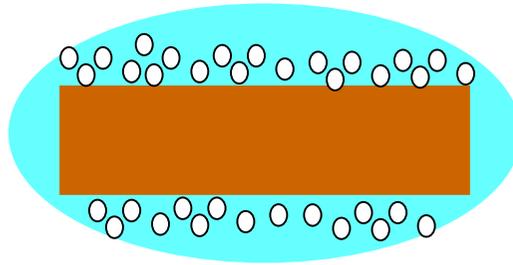
Actividad Coloidal

$$A = \frac{IP}{\% \text{ Pasa } 2\mu\text{m}}$$



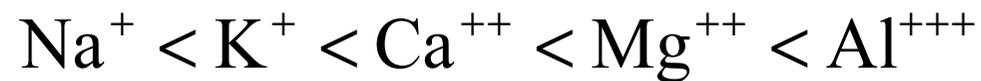
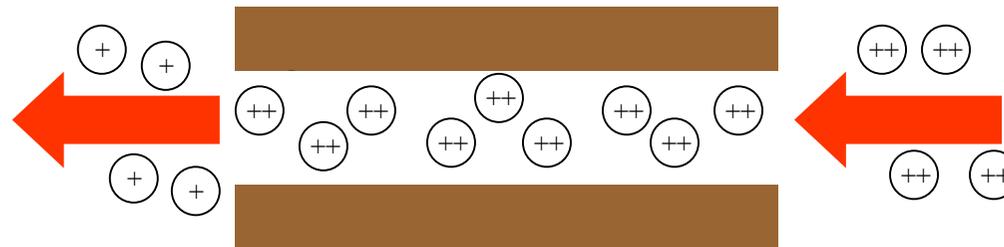
Propiedades Físico-Químicas de Arcillas

Doble Capa Difusa



Propiedades Físico-Químicas de Arcillas

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)



Función de mineral arcilloso

	Caolinita	Illita	Clorita	Esmectita	Vermiculita
CIC (cmol/kg)	3-15	10-40	10-40	80-150	100-150
Sup. Esp. (m ² /g)	10-20	65-100	65-100	≈ 840	≈ 840

Ensayo de Azul de Metileno

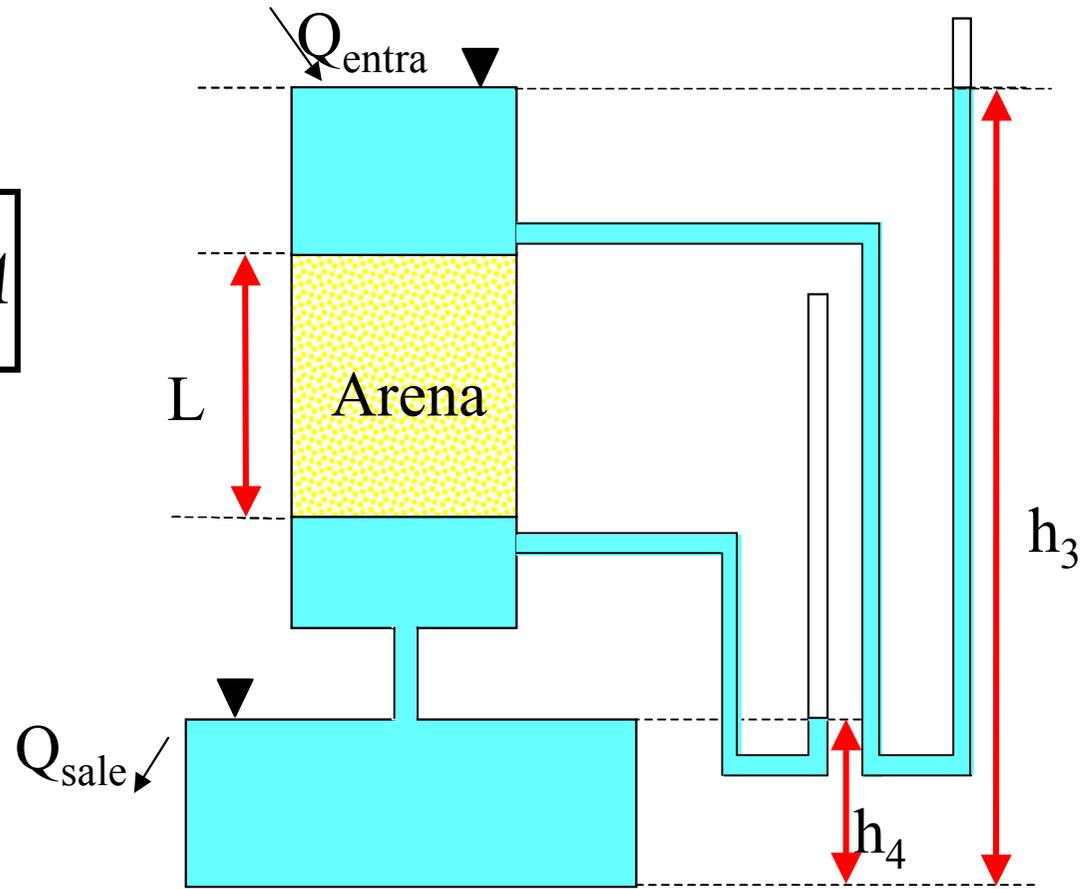
Conductividad Hidráulica

Ley de Darcy
(1856)

$$Q = k \cdot \frac{\Delta h}{L} \cdot A = k \cdot i \cdot A$$

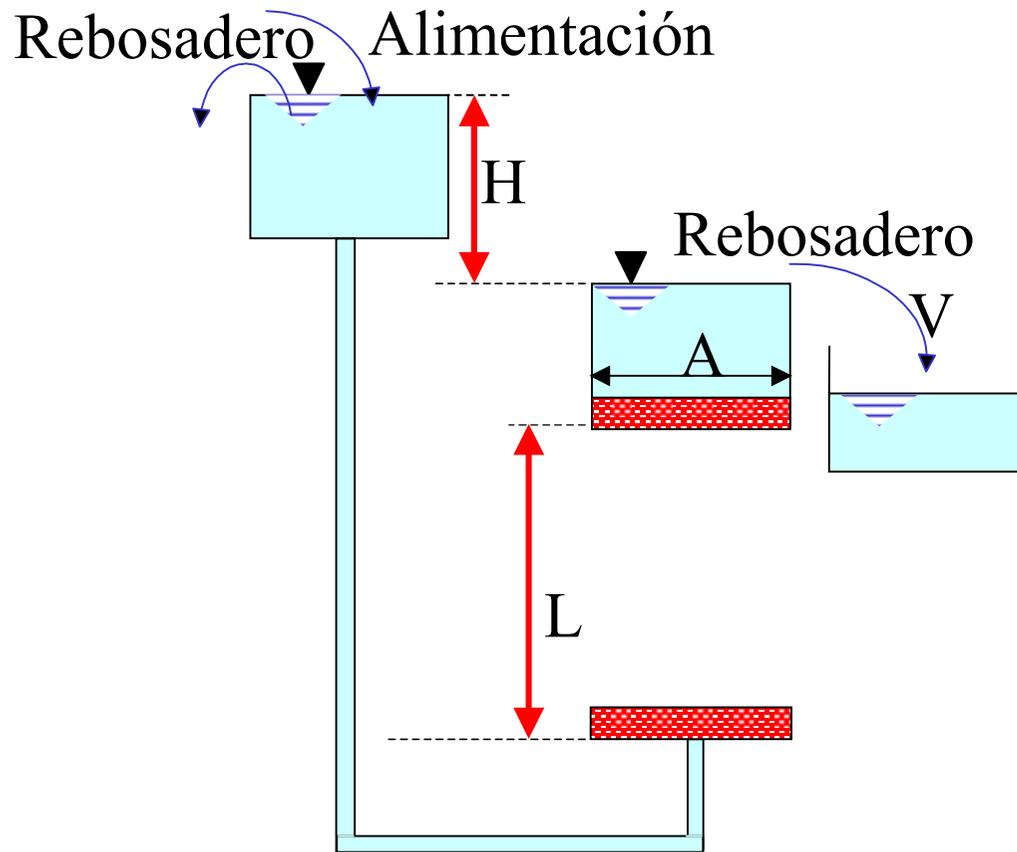
$$i = \frac{\Delta h}{L} \quad \text{Gradiente Hidráulico}$$

k: Coeficiente de conductividad hidráulica

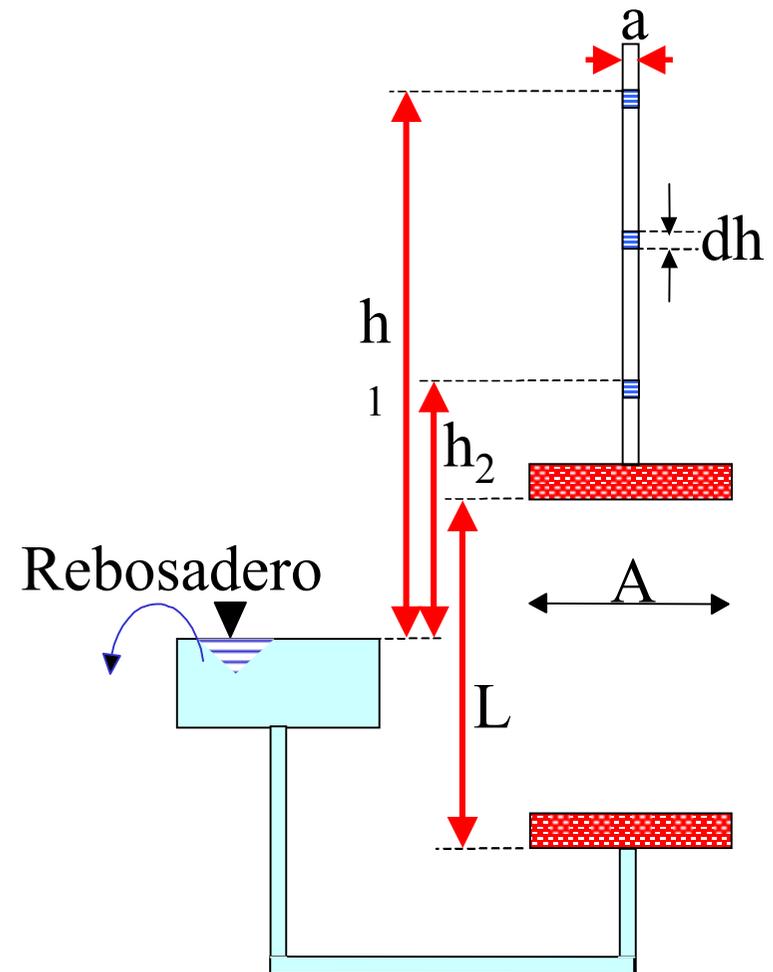


Ensayos de Carga Hidráulica

Carga Constante
(ASTM D2434)



Carga Variable



Ensayos de Carga Hidráulica Infiltrómetro de Doble Anillo (ASTM D3385)



Compresibilidad

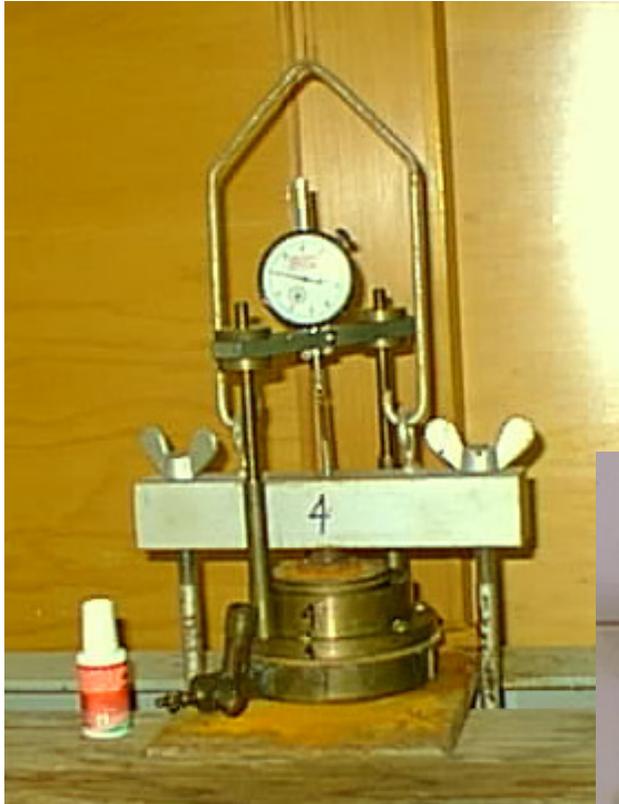


Asentamiento



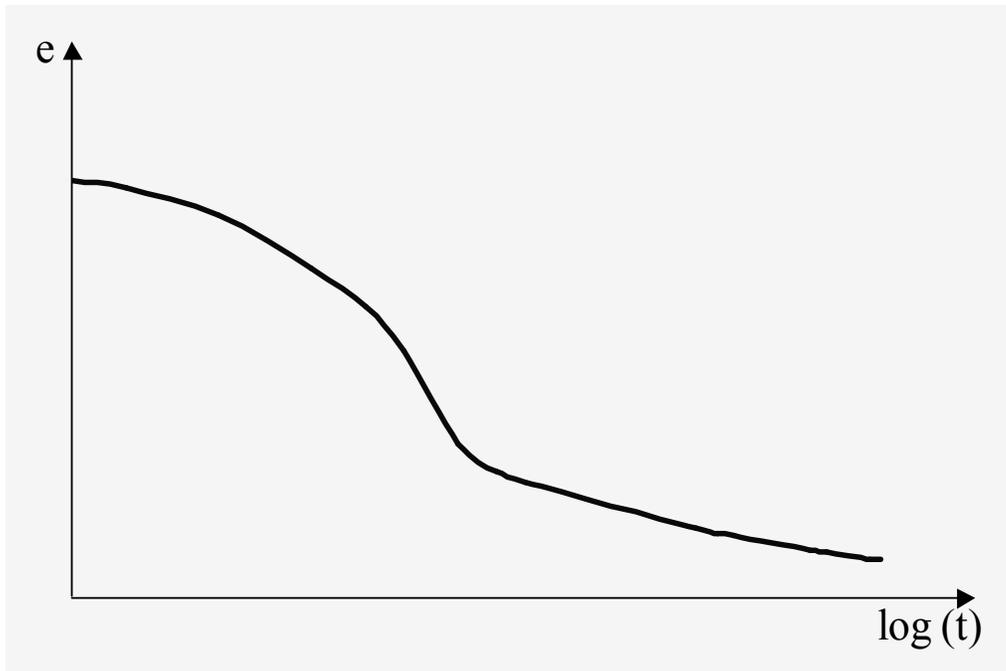
Consolidación

Consolidación (Norma ASTM D2435)

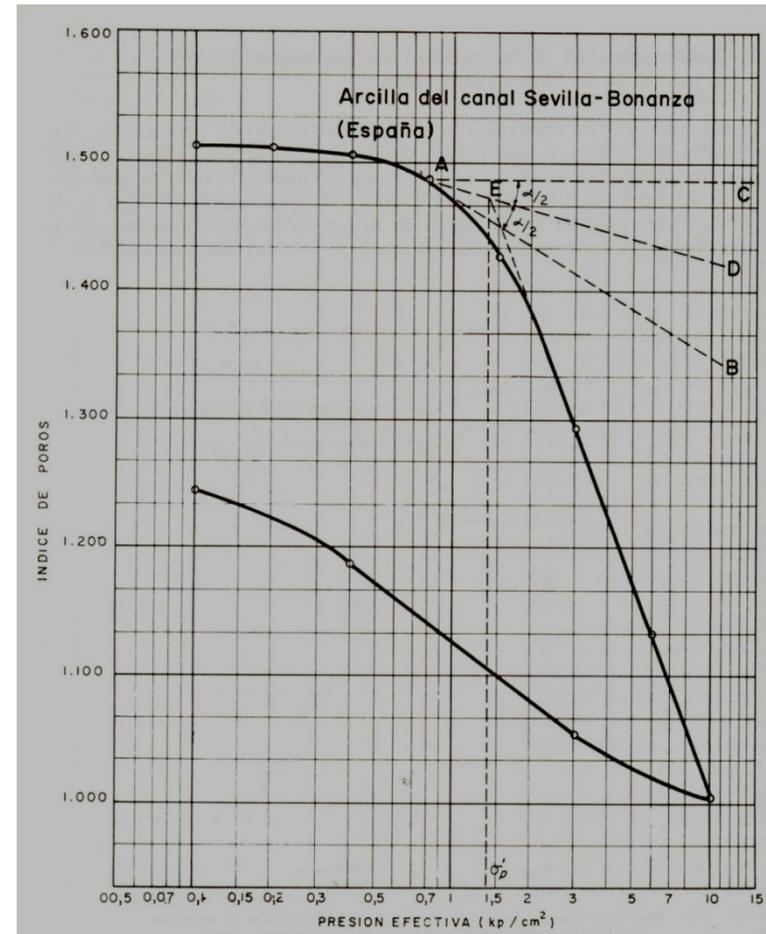


Consolidación

Curva de Consolidación



Curva de Compresibilidad



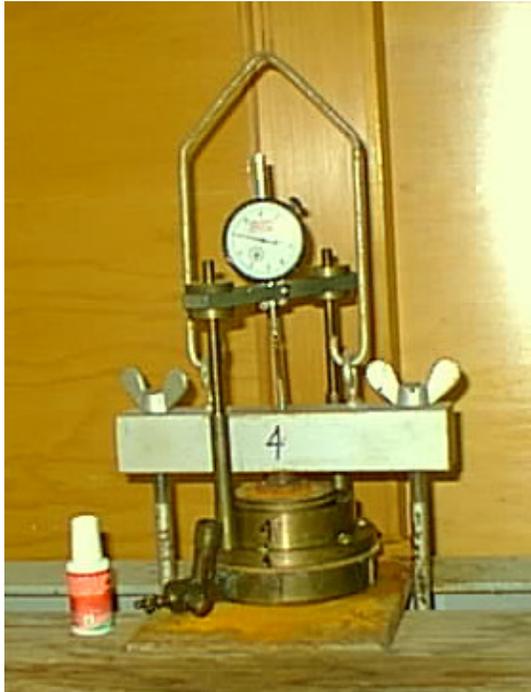
Estabilidad Volumétrica

Expansión



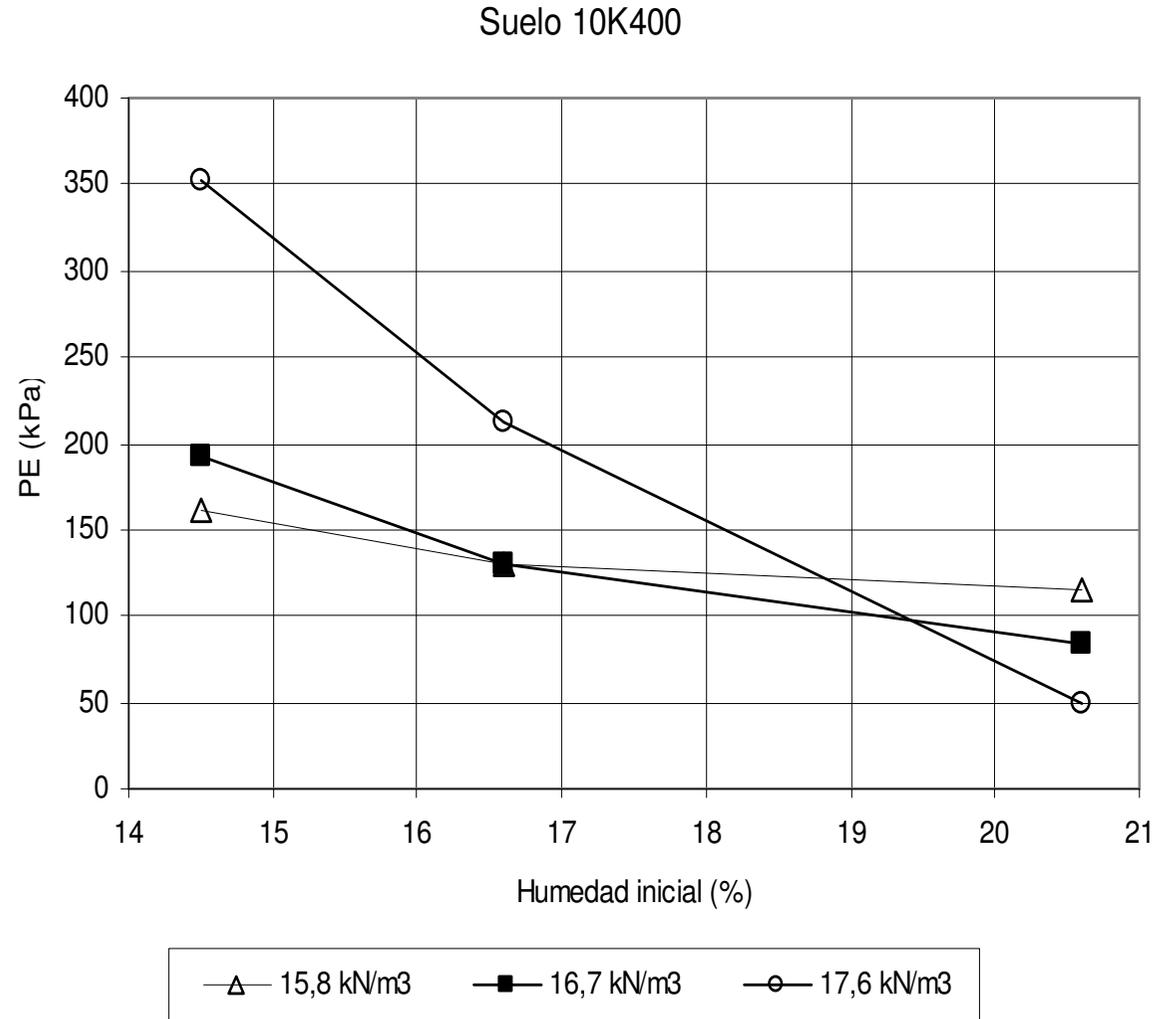
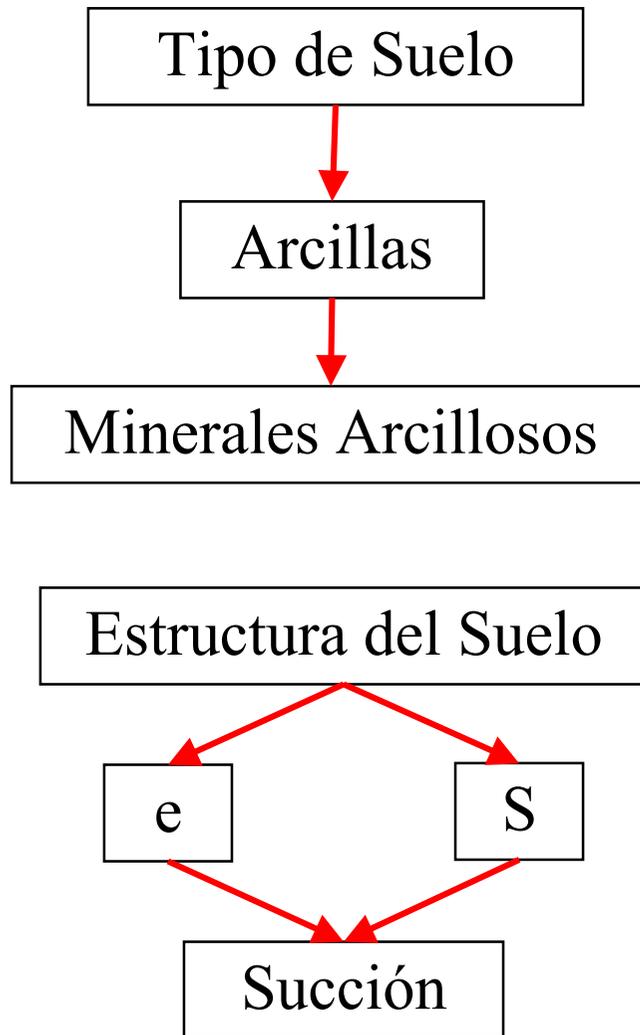
Deformación Volumétrica por aumento de Relación de Vacíos causado por aumento del Grado de Saturación

Ensayo de Expansión Edométrica (Norma ASTM D4546)



- Expansión Libre: Se desarrolla a presión atmosférica
- Presión de Expansión: Esfuerzo externo que anula la expansión

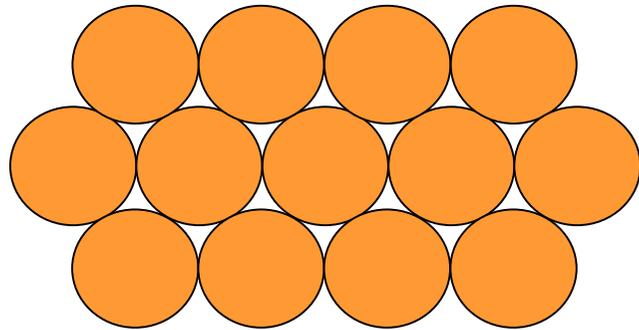
Factores que Influyen en la Expansión



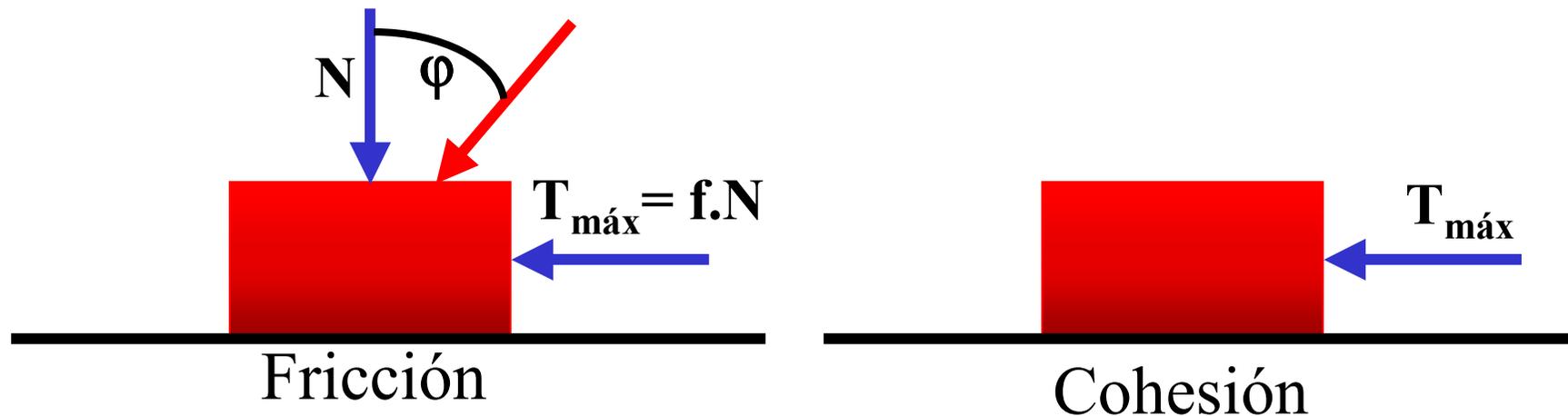
Métodos Indicativos de Potencial Expansivo

- Límites de Atterberg
- Actividad Coloidal (A) (Skempton, 1953)
$$A = \frac{IP}{\% \text{ Pasa } 2\mu\text{m}}$$
- Carta de Clasificación de Suelos Expansivos (Van der Merwe, 1964)
- Ensayo de Azul de Metileno (CIC): Identifica minerales arcillosos del suelo
- Potencial Expansivo (PE) (Seed et al., 1963)
$$PE = KC^x$$
 - C = Contenido de arcillas
 - x = n° dependiente de tipo de arcilla
 - K = Factor dependiente de minerales de la arcilla
 - A: Actividad Coloidal

Resistencia al Corte de los Suelos



Medio Granular sin Cementación
entre Partículas



$$\tau = c + \sigma' \cdot \tan \phi$$

Ensayos de Resistencia

Corte Directo
(ASTM D3080)



Triaxial
(ASTM D2850 (UU);
ASTM D4767 (CU);
ASTM D7181 (CD))

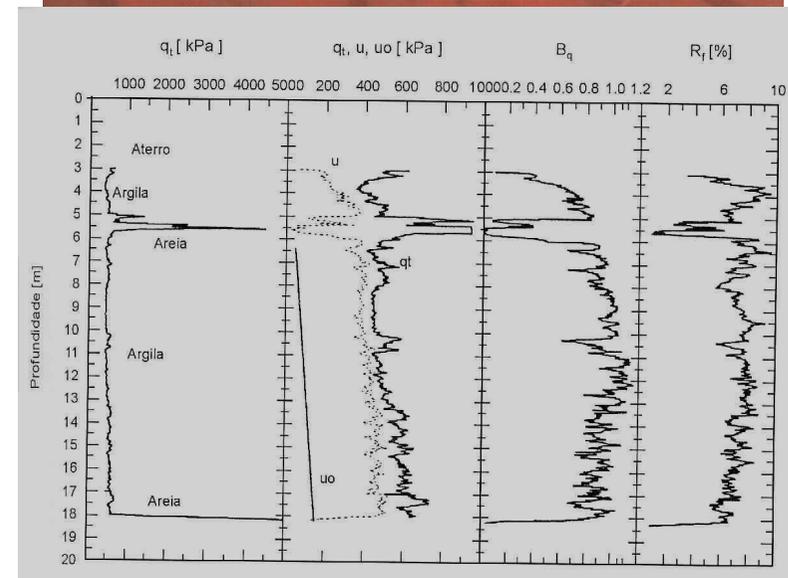


Compresión Inconfinada
(ASTM D2166)

Ensayo de Penetración Estándar
(SPT)



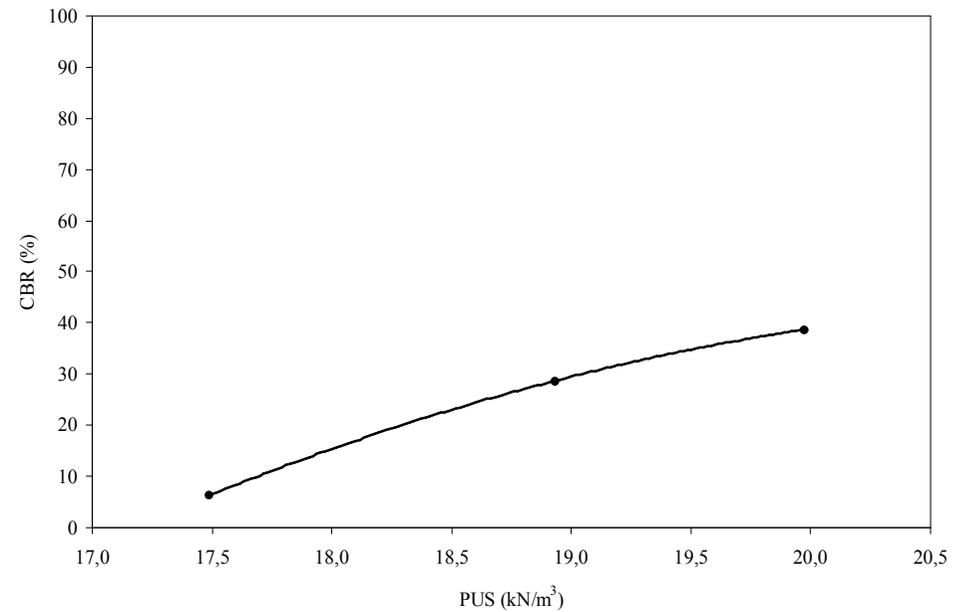
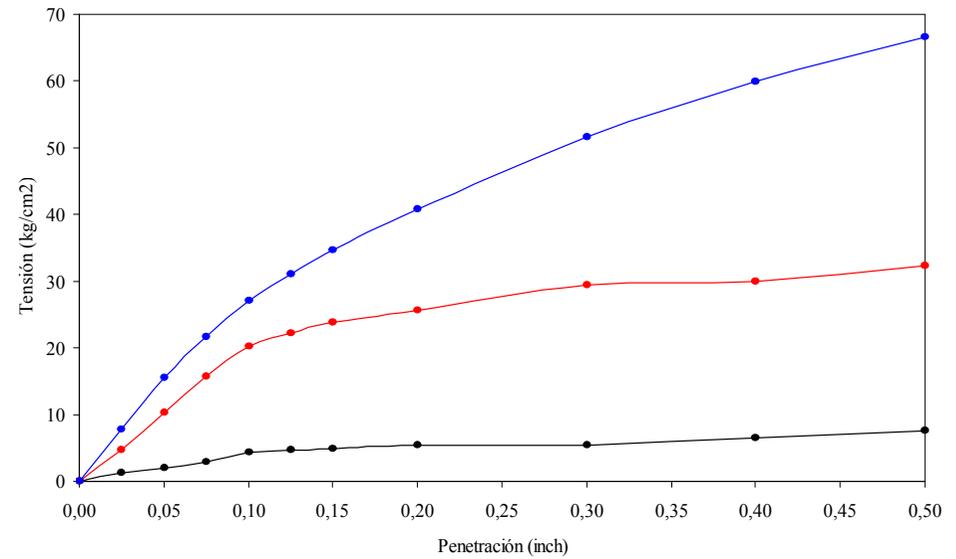
Ensayo de Penetración de Cono
(CPT)



CBR (ASTM D1883)



$$CBR(\%) = \frac{\sigma_{0,1''\text{muestra}}}{0,703}$$



Penetrómetro de Cono Dinámico (DCP)

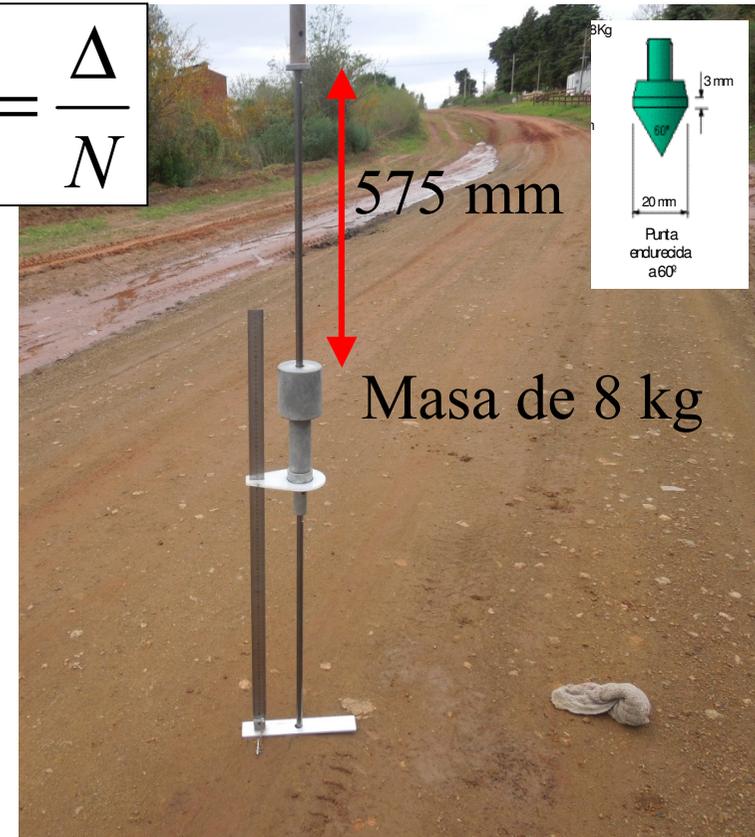
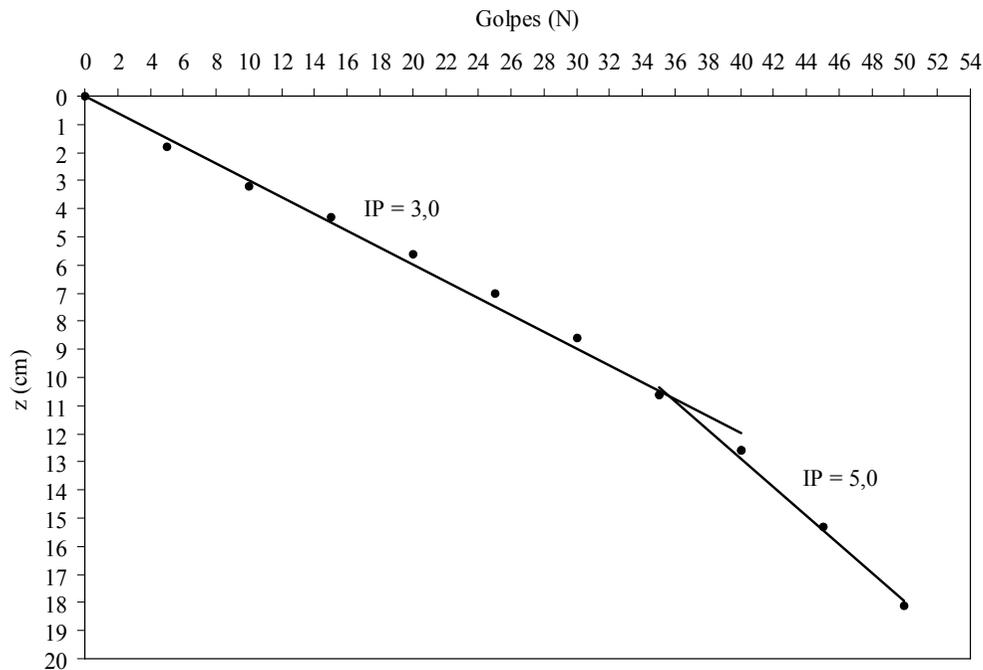
Resistencia a la penetración de cono por impacto de masa

Índice de Penetración

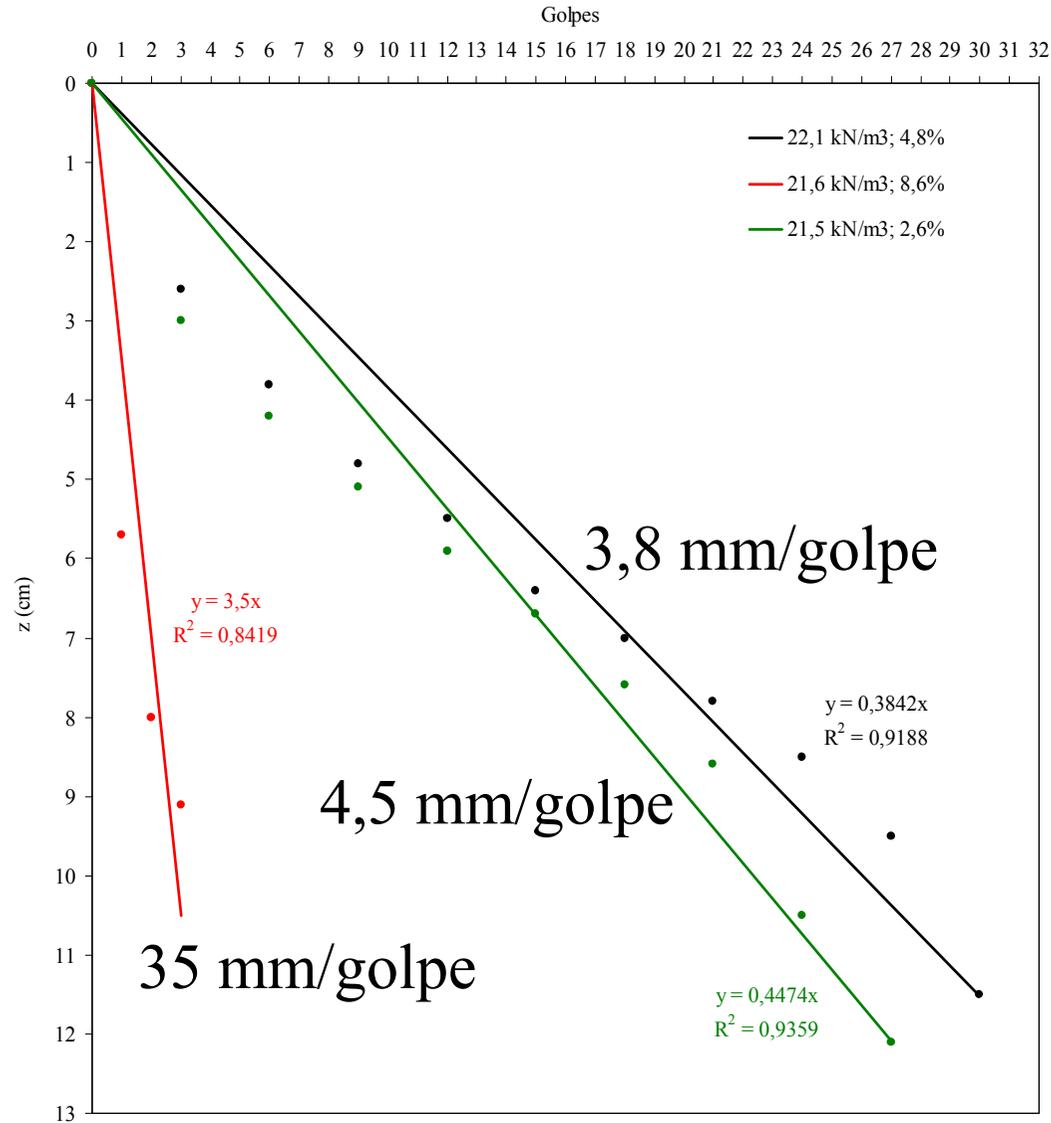
$$IP = \frac{\Delta}{N}$$

Δ : Penetración del Cono

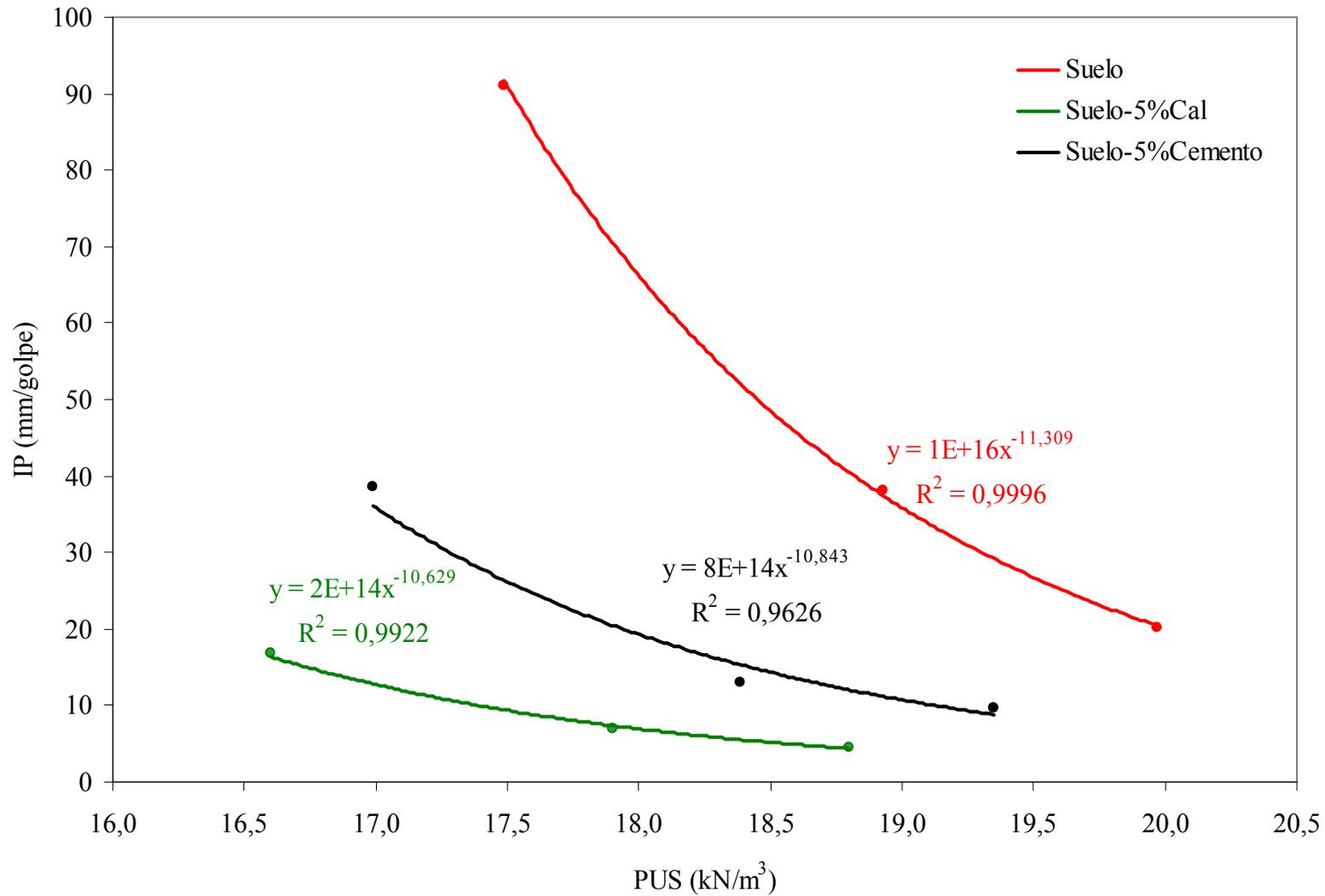
N: Número de Golpes



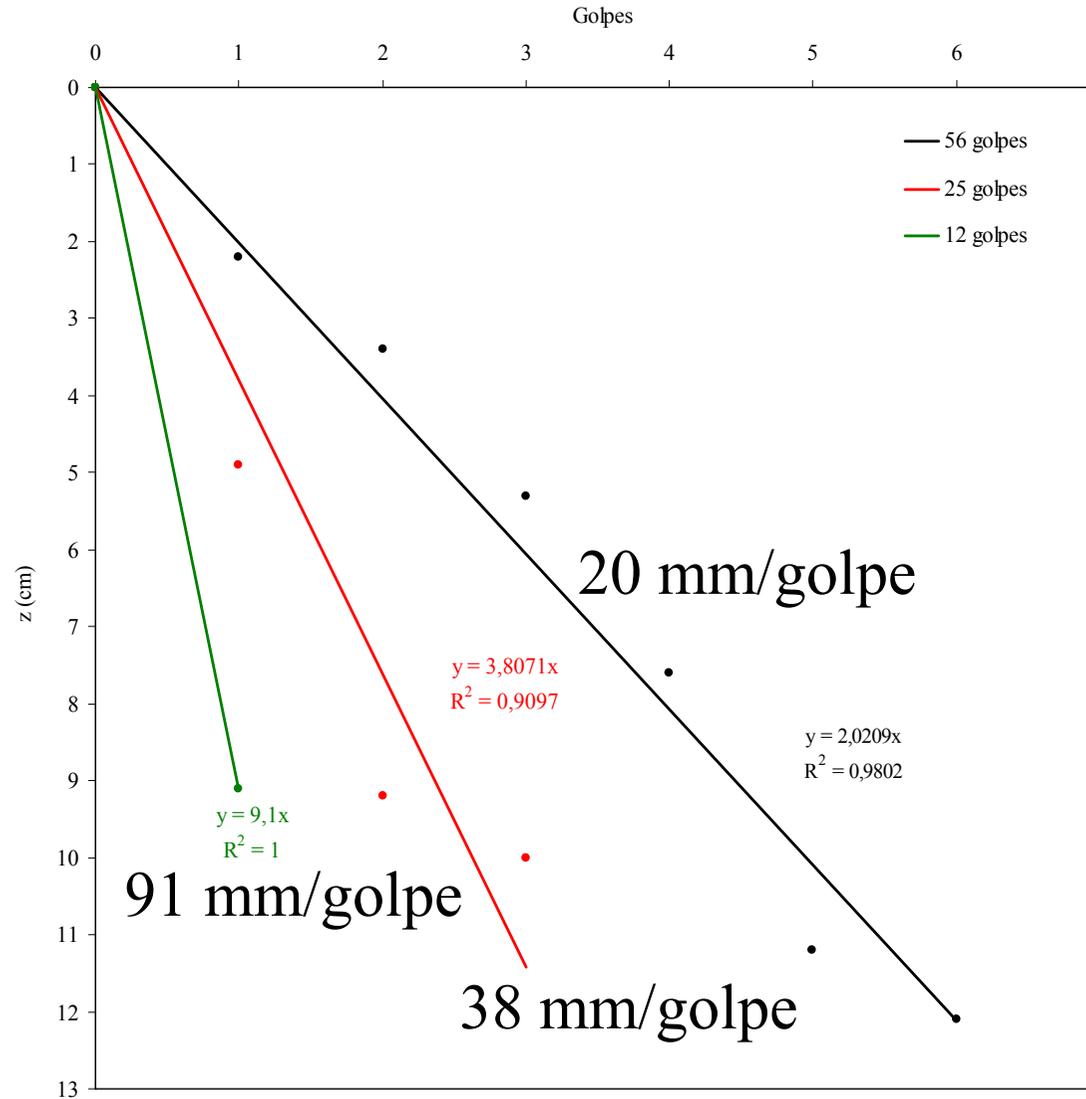
Relación de DCP con Peso Específico y Humedad



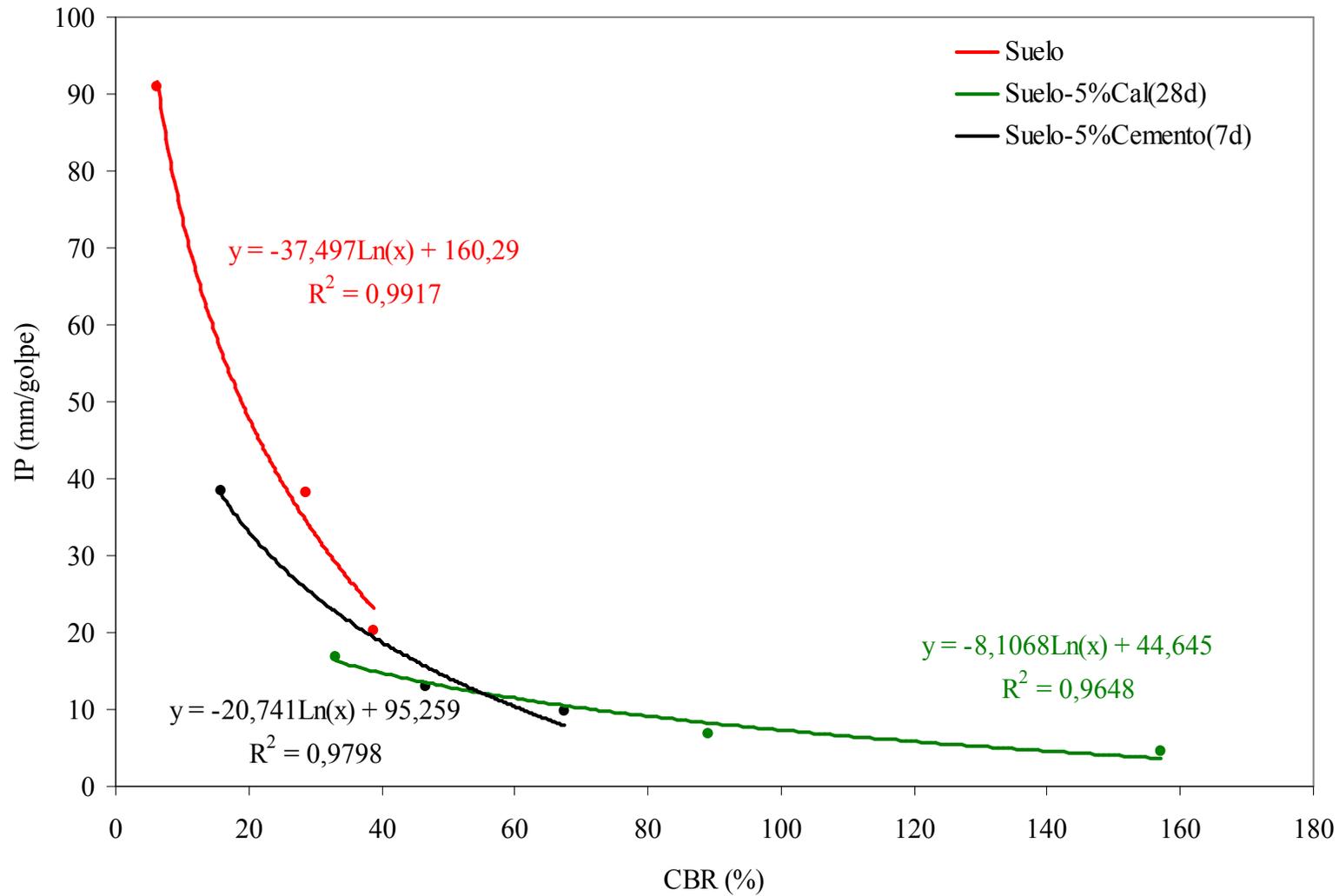
Relación de DCP con Peso Específico



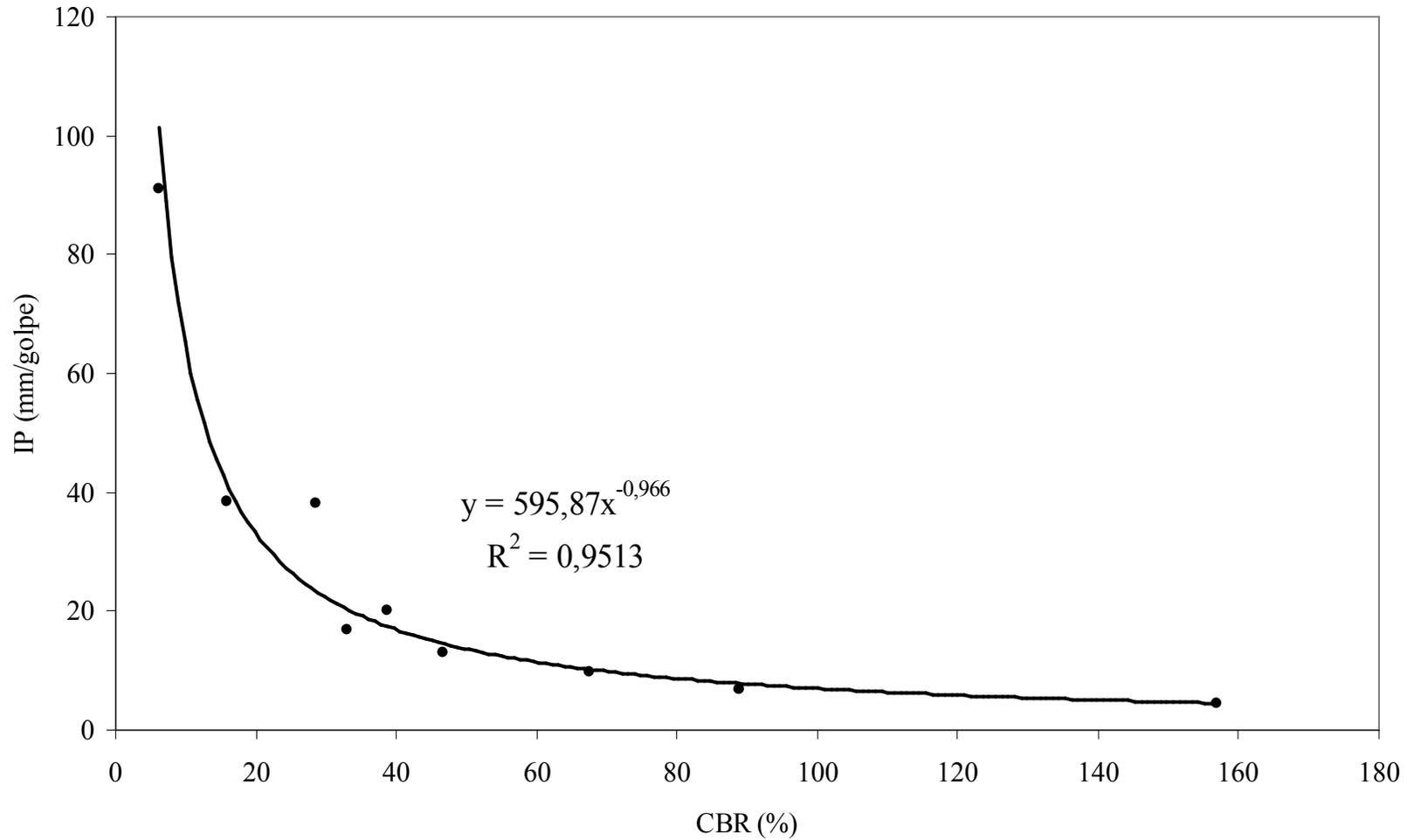
Relación de DCP con Energía de Compactación



Relación de DCP con CBR



Relación de DCP con CBR



Durabilidad

Resistencia de suelos a procesos de intemperismo, erosión y tráfico

- Problema Superficial
 - Caminos, Capas de Pavimentos Revestidos, Canales
- Problemas Internos
 - Presas de Tierra
- Suelos naturales
 - Baja resistencia al agua de arcillas
 - Baja resistencia al tráfico en suelos con poco fino
- Suelos estabilizados
 - Baja durabilidad por elección inadecuada o tenor insuficiente de estabilizante

Durabilidad

- Dificultades de evaluación por falta de ensayos adecuados
 - Ensayos son más cualitativos que cuantitativos



Ensayo Humedecimiento-Secado

Ensayo Congelamiento-Deshielo

- Durabilidad de suelo estabilizado > suelo natural
- “No sólo la resistencia, sino también, y a veces principalmente la durabilidad, definen el tenor de estabilizante a ser agregado a un suelo” (Núñez, 1991)

Mejoramiento de Propiedades de Suelos

