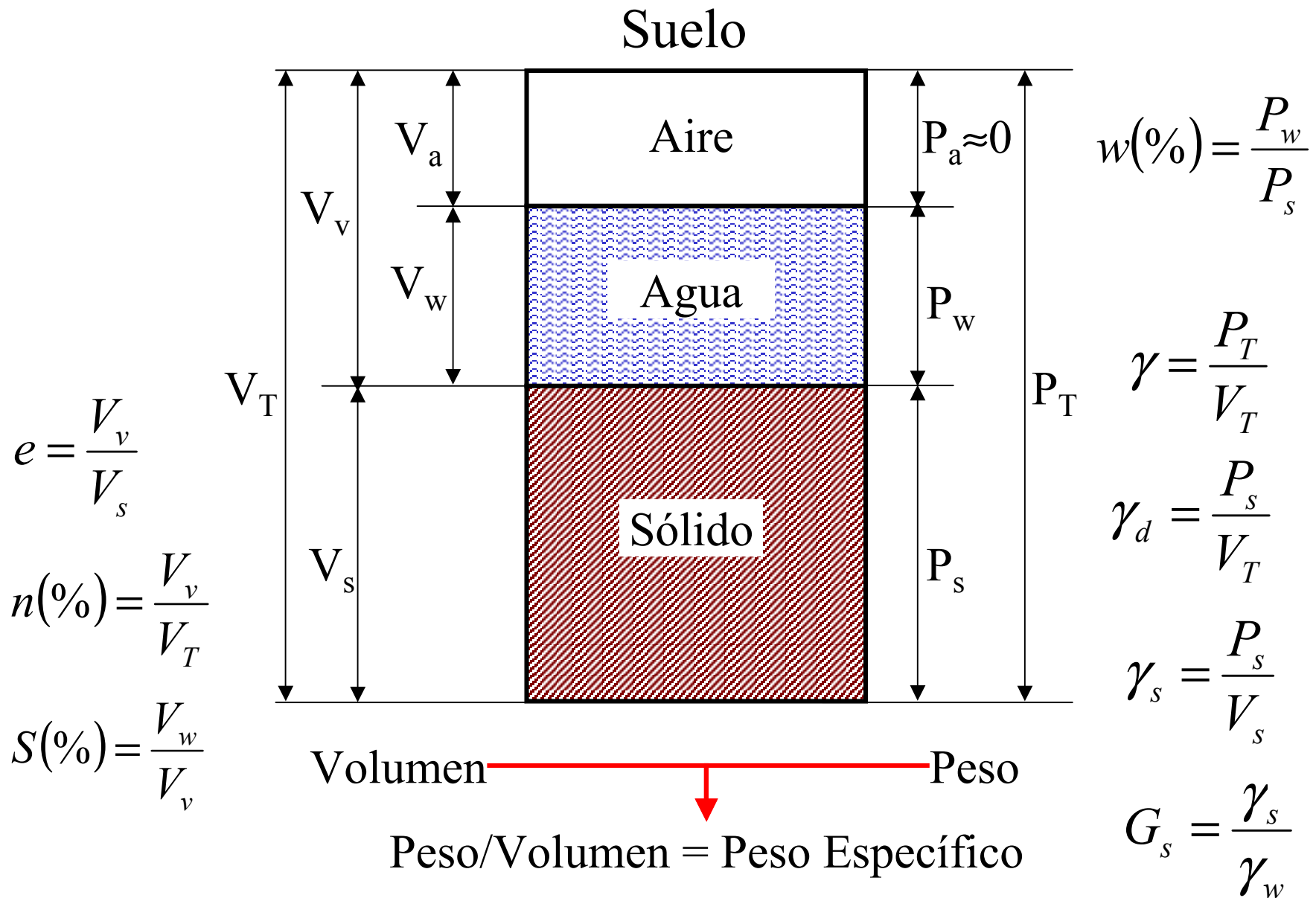


---

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

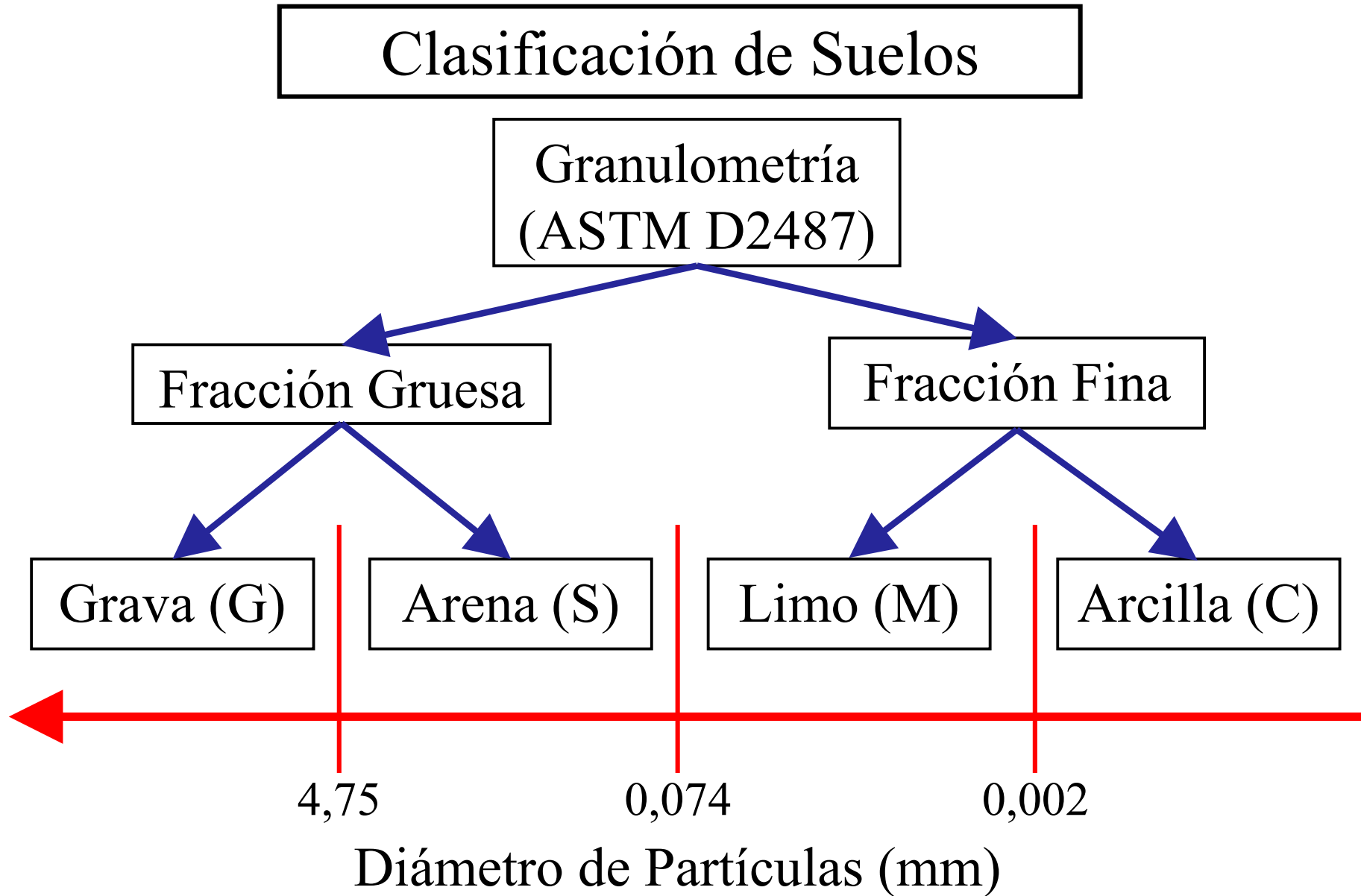
### Relaciones Peso-Volumen

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

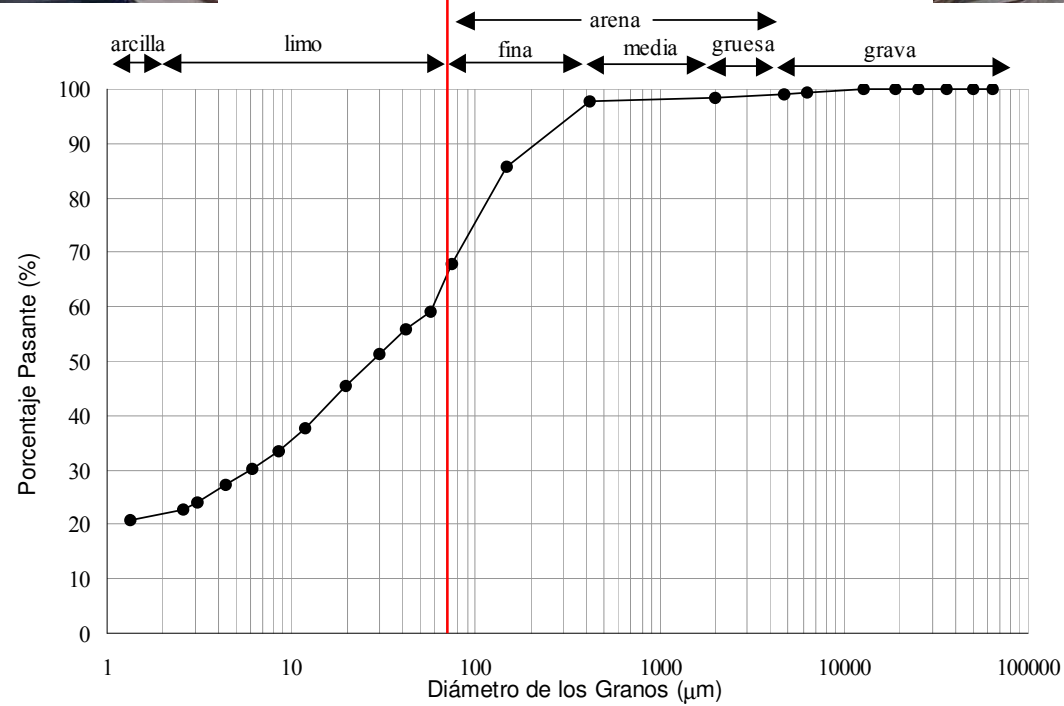


# Análisis Granulométrico (ASTM D422)

Sedimentación

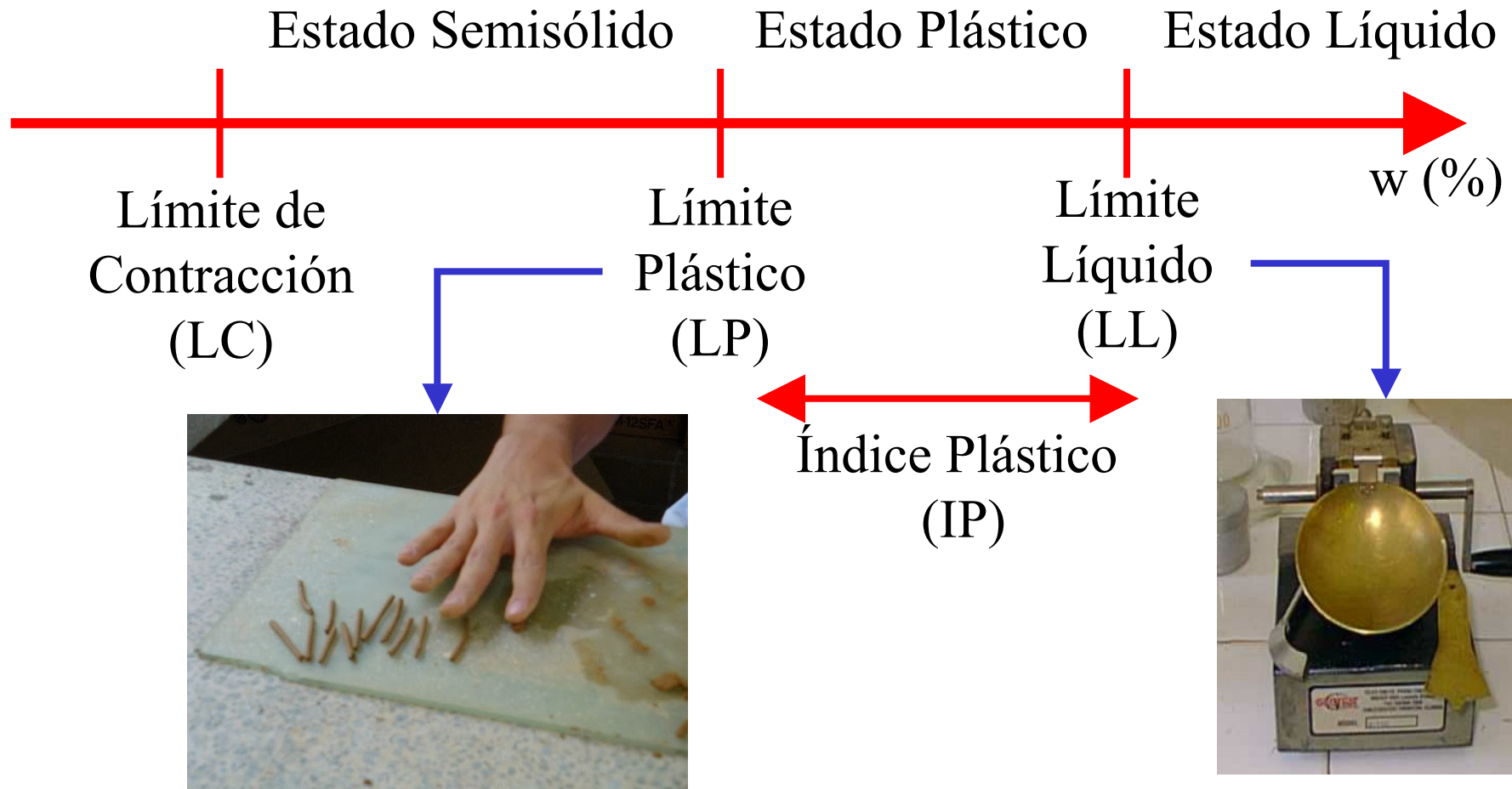


Tamizado

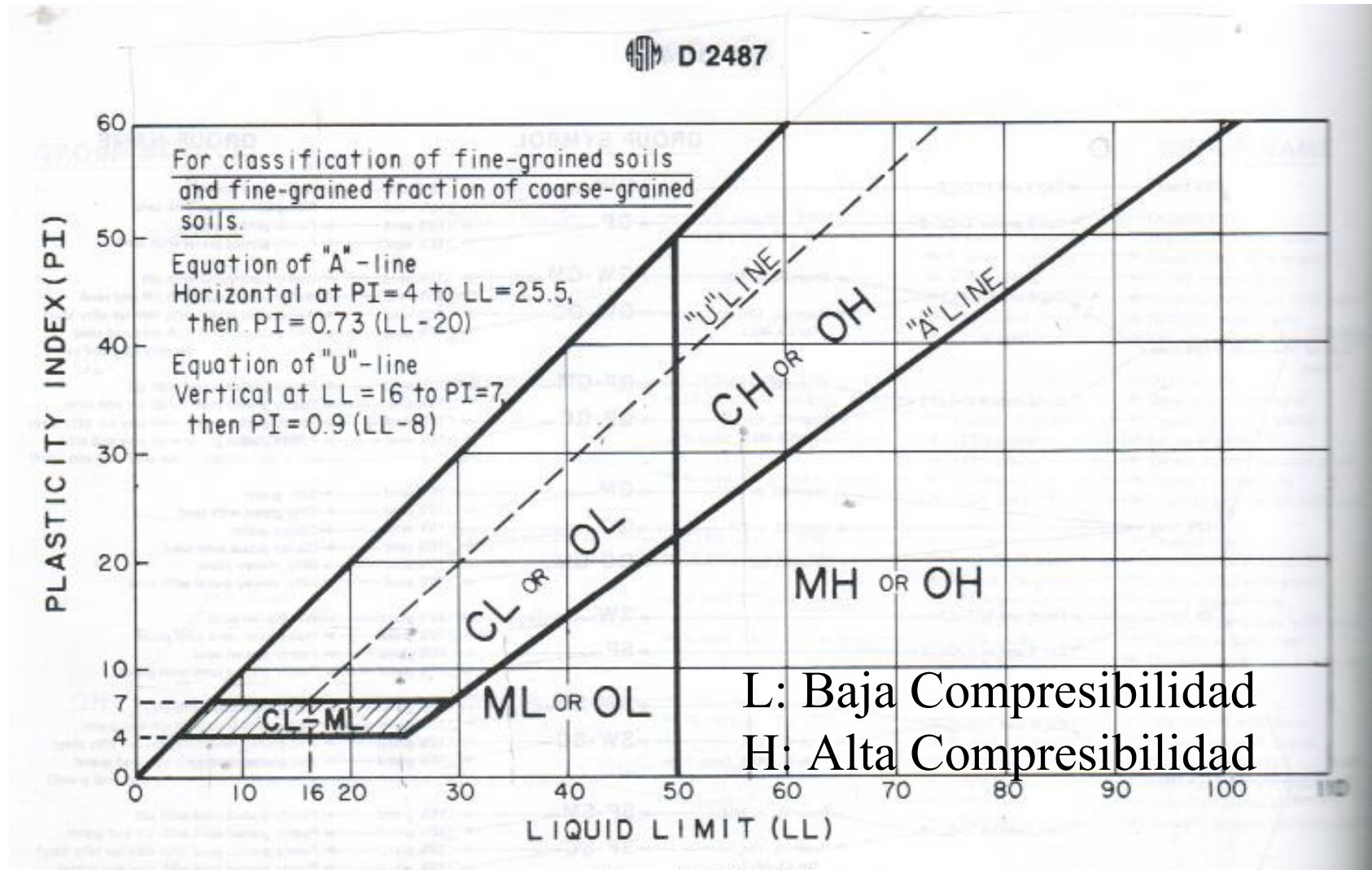


# Propiedades Plásticas de los Finos (ASTM D4318)

## Límites de Consistencia



# Carta de Plasticidad



## Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) (ASTM D2487)

		SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla N° 200	SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla N° 200						División Mayor							
		Las partículas de 0,075 mm de diámetro (malla N°200) son aproximadamente las más pequeñas visibles a simple vista.														
Suelos altamente orgánicos	Pt	<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> Límite líquido mayor de 50%	<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> Límite líquido menor de 50%			<b>ARENAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla N°4	<b>GRAVAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla N°4			Símbolo						
					Para clasificación usual puede usarse 14 en como equivalente a abertura malla N°4											
		<b>OH</b>	<b>CH</b>	<b>MH</b>	<b>OL</b>	<b>CL</b>	<b>ML</b>	<b>SC</b>	<b>SM</b>	<b>SP</b>	<b>SW</b>	<b>GC</b>	<b>GM</b>	<b>GP</b>	<b>GW</b>	Nombres Típicos
Turbas y otros suelos altamente orgánicos		Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arenosas o limosas	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla	Arenas limosas, mezclas de arena y limo	Arenas mal graduadas, arena con gravas, poco o nada de finos	Arenas bien graduadas, arena con gravas, poco o nada de finos	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	
		Dependiendo de porcentaje de finos (fracción que pasa por la malla N°200), los suelos gruesos se clasifican como: menos de 5% son GW, GP, SW, SP; más de 12% son GM, GC, SM, SC; de 5% a 12% son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles. A continuación se muestran los GML, GP y SW-SP.														
		NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW Límites abajo de la "Línea A" o IP y con IP entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.														
		NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA SW Límites arriba de la "Línea A" y con IP mayor que 4 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.														
		Coeficiente de uniformidad $C_u$ mayor de 6 Coeficiente de curvatura $C_c$ entre 1 y 3														
		Coeficiente de uniformidad $C_u$ mayor de 4 Coeficiente de curvatura $C_c$ entre 1 y 3														



## Sistema de Clasificación AASHTO (ASTM D3282)

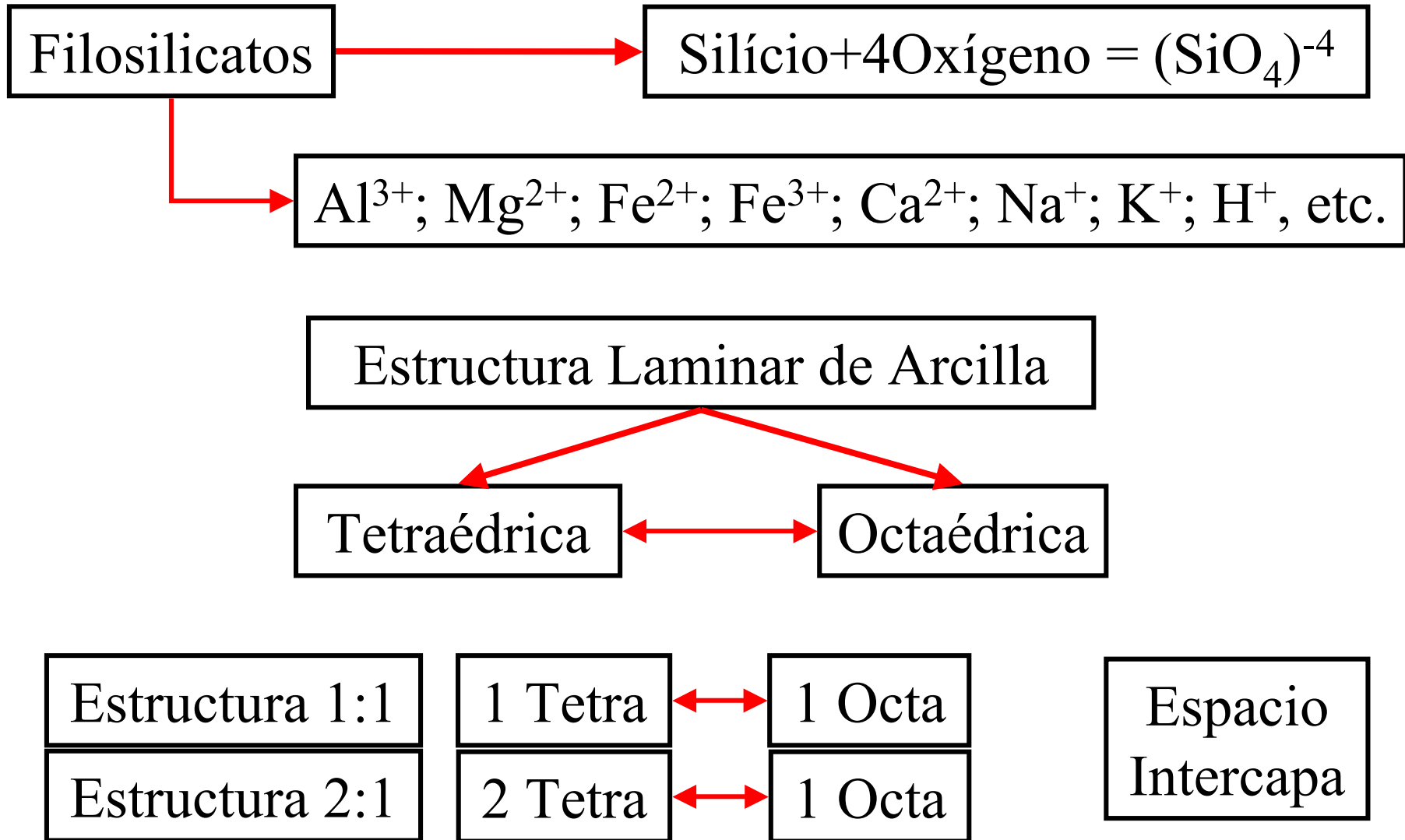
### Clasificación de suelos y mezclas de agregados para la Construcción Vial

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
<b>Análisis de tamizado (% pasa)</b>											
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
<b>Características de fracción pasa # N°40</b>											
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

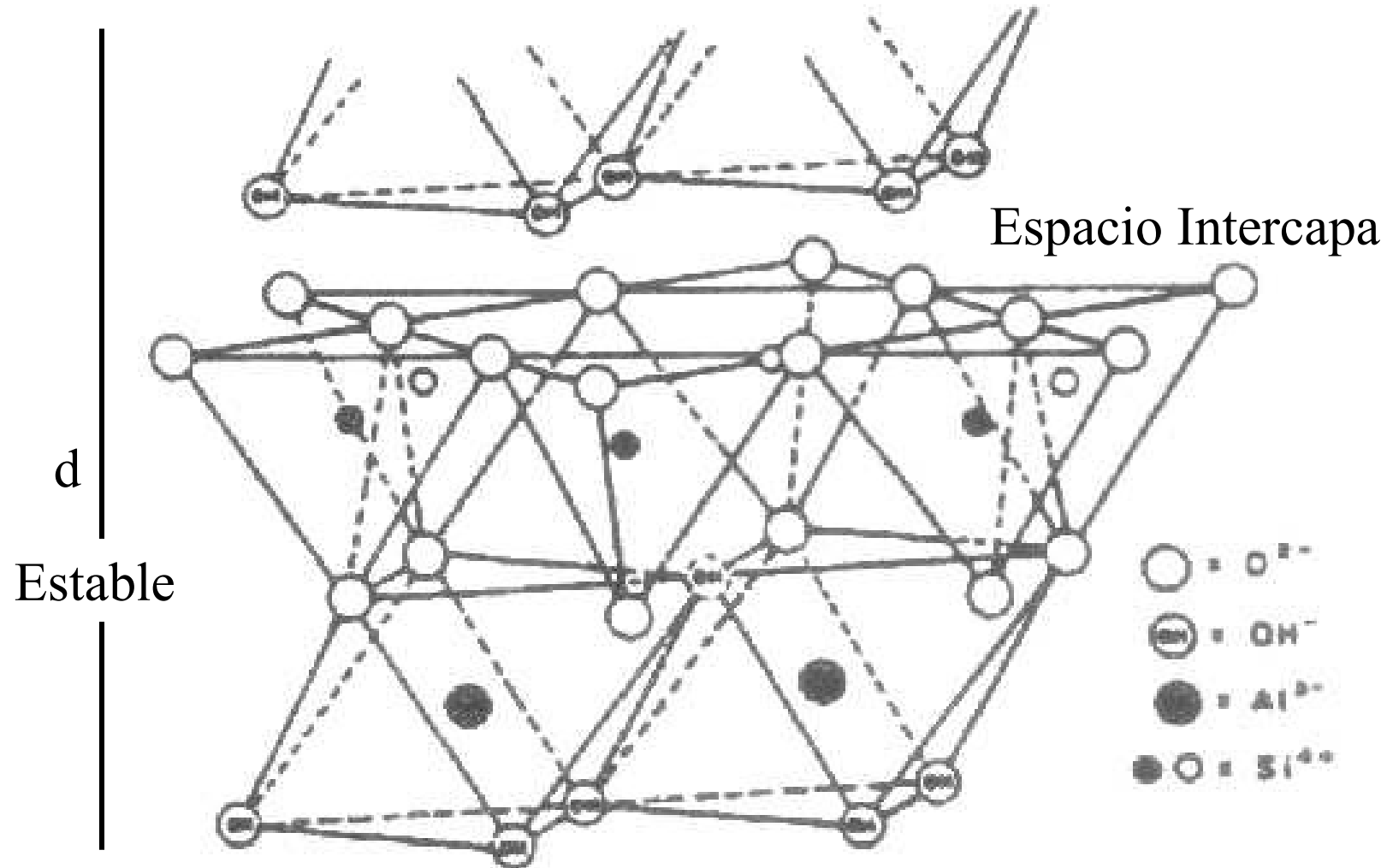


## Clasificación de Minerales Arcillosos (AIPEA, 1976)

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	

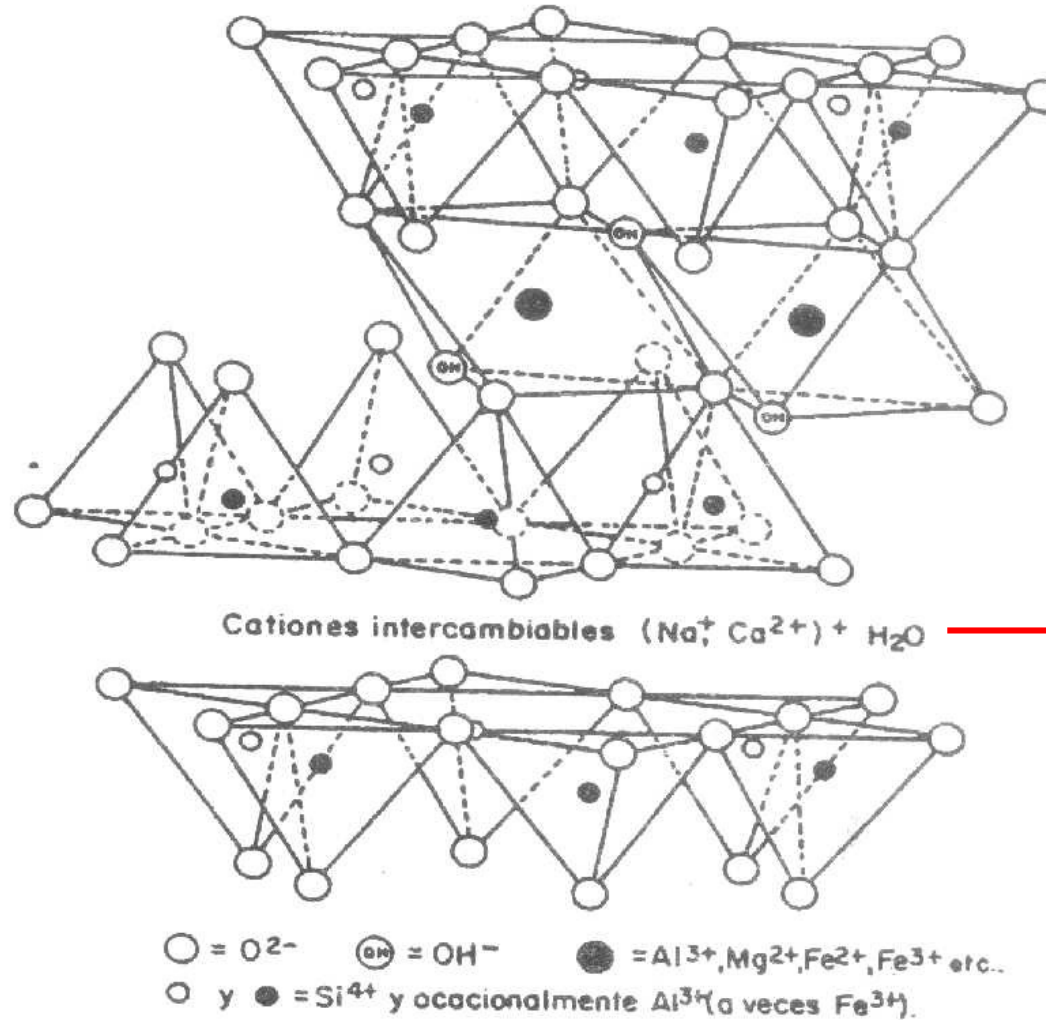
Di: Dioctaédricas; Tri: Trioctaédricas

Grupo Caolinita (1:1)



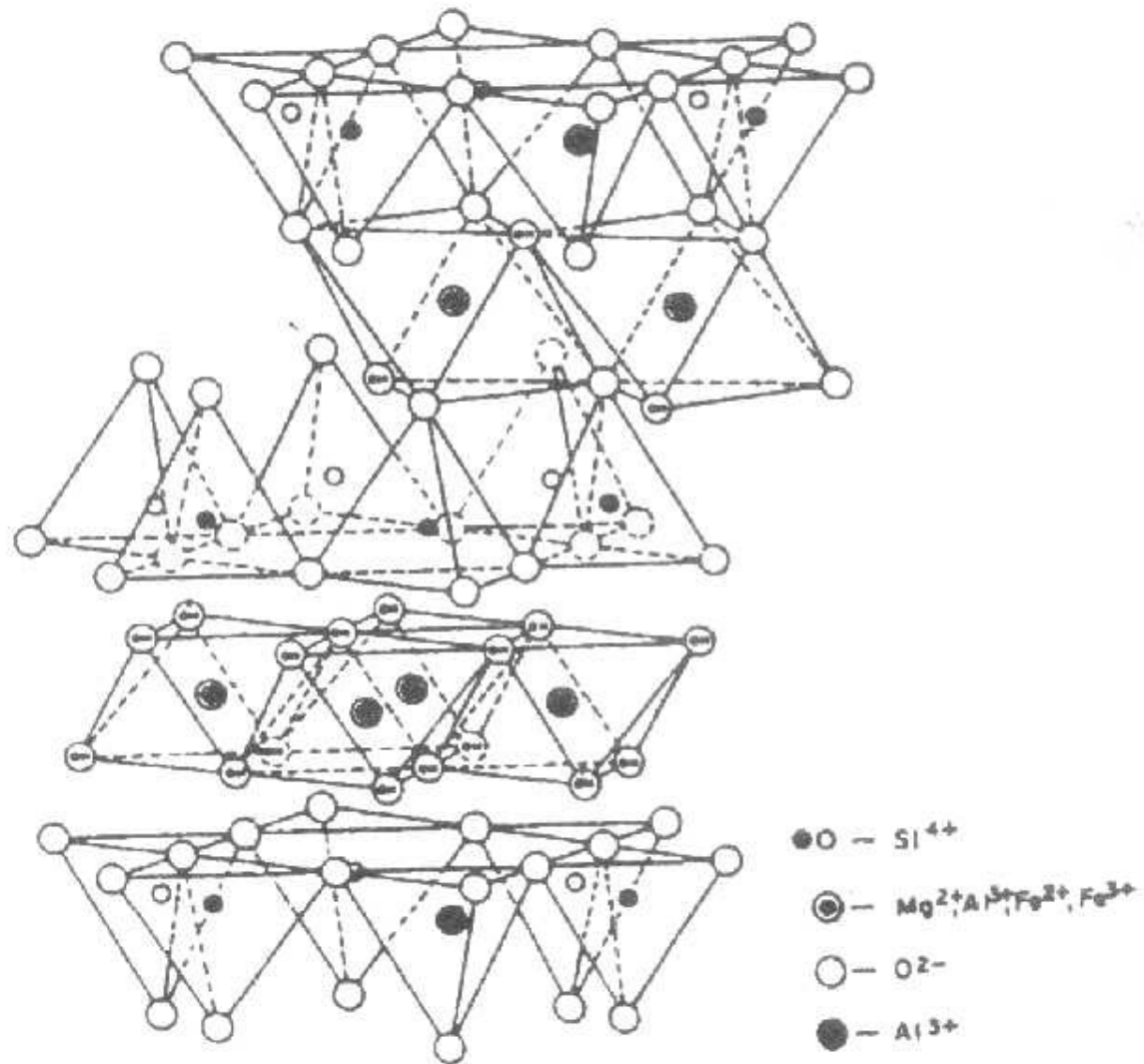
d: Espacio Basal (mínima distancia entre dos planos basales)

Grupo Esmectita (2:1) (Montmorillonita)



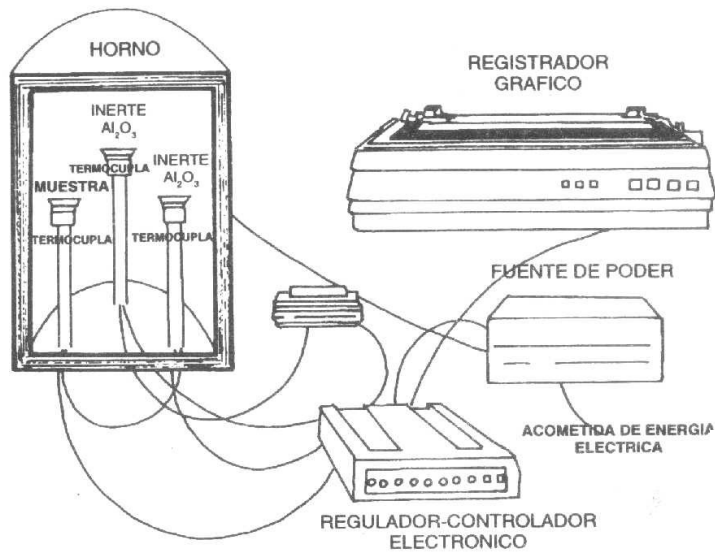
Expansividad estructural por absorción de agua o moléculas polares

Grupo Clorita

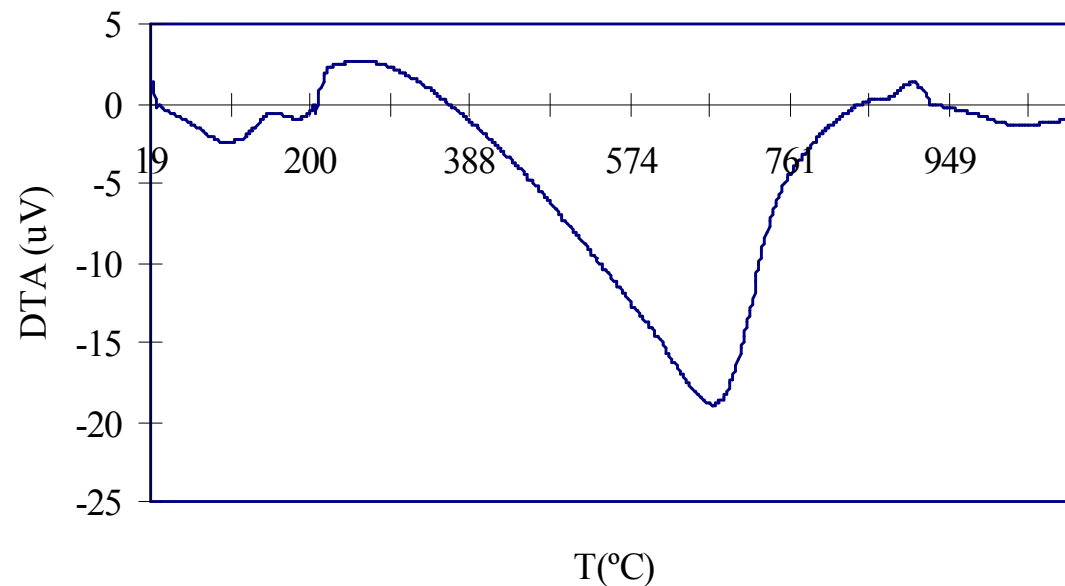


# Técnicas de Identificación de Minerales Arcillosos

## Análisis Térmico Diferencial (ATD)



ATD Esmectita

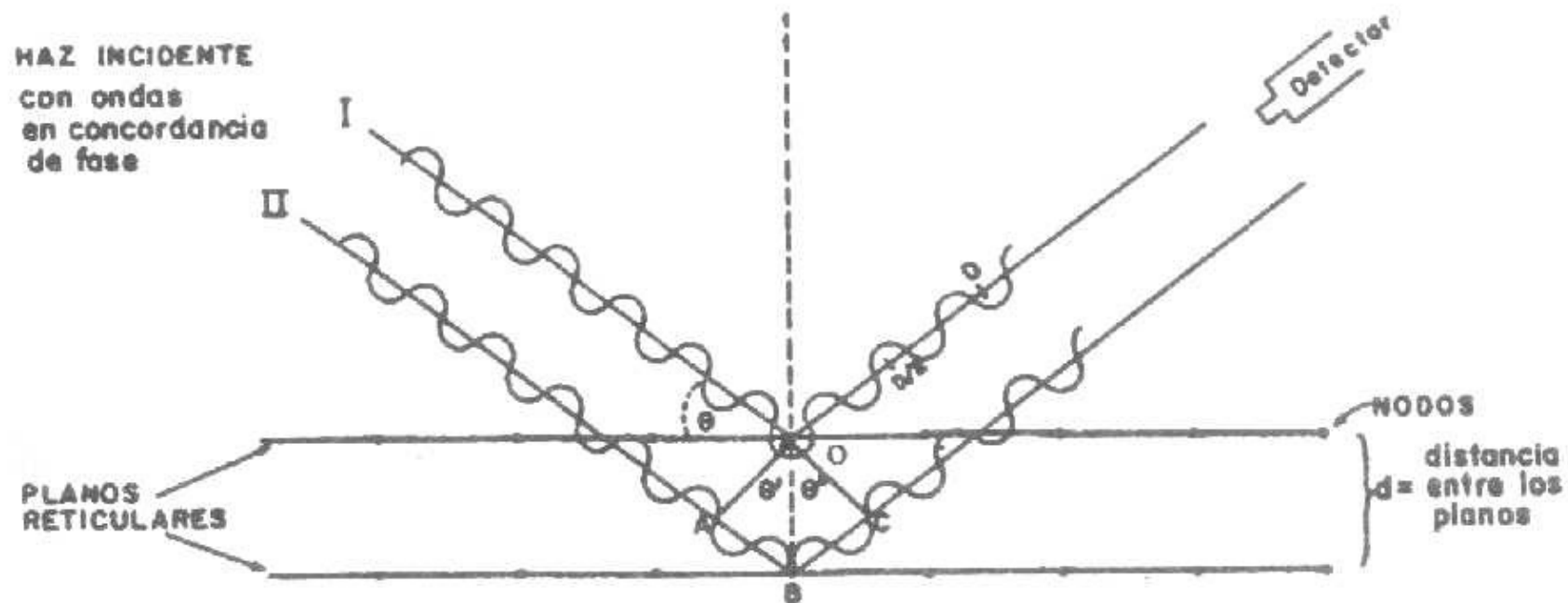


## Técnicas de Identificación de Minerales Arcillosos

### Difracción de Rayos X (DRX)

Ley de Bragg

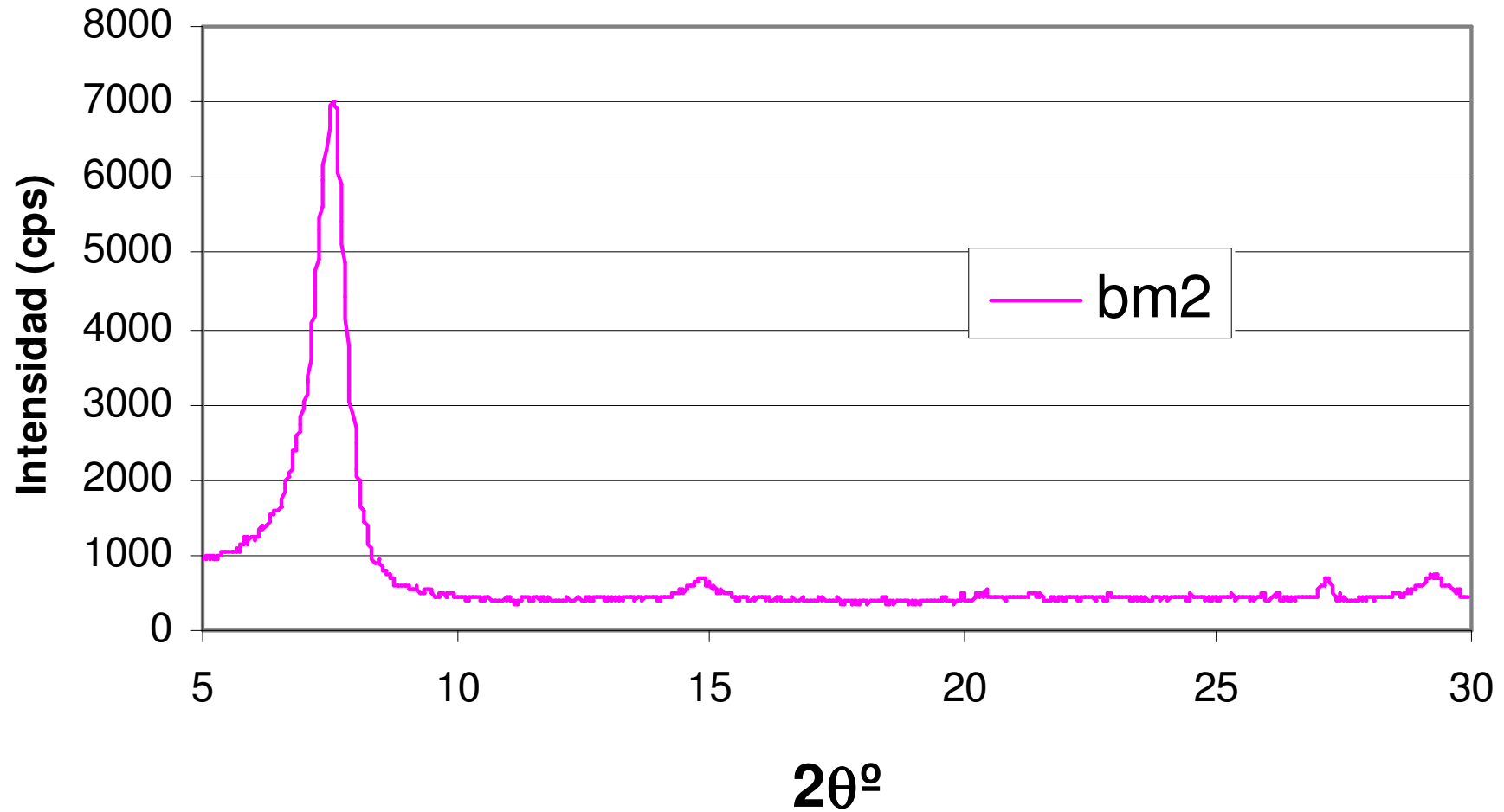
$$n\lambda = 2d \sin\theta$$





## Técnicas de Identificación de Minerales Arcillosos

### DRX Esmectita

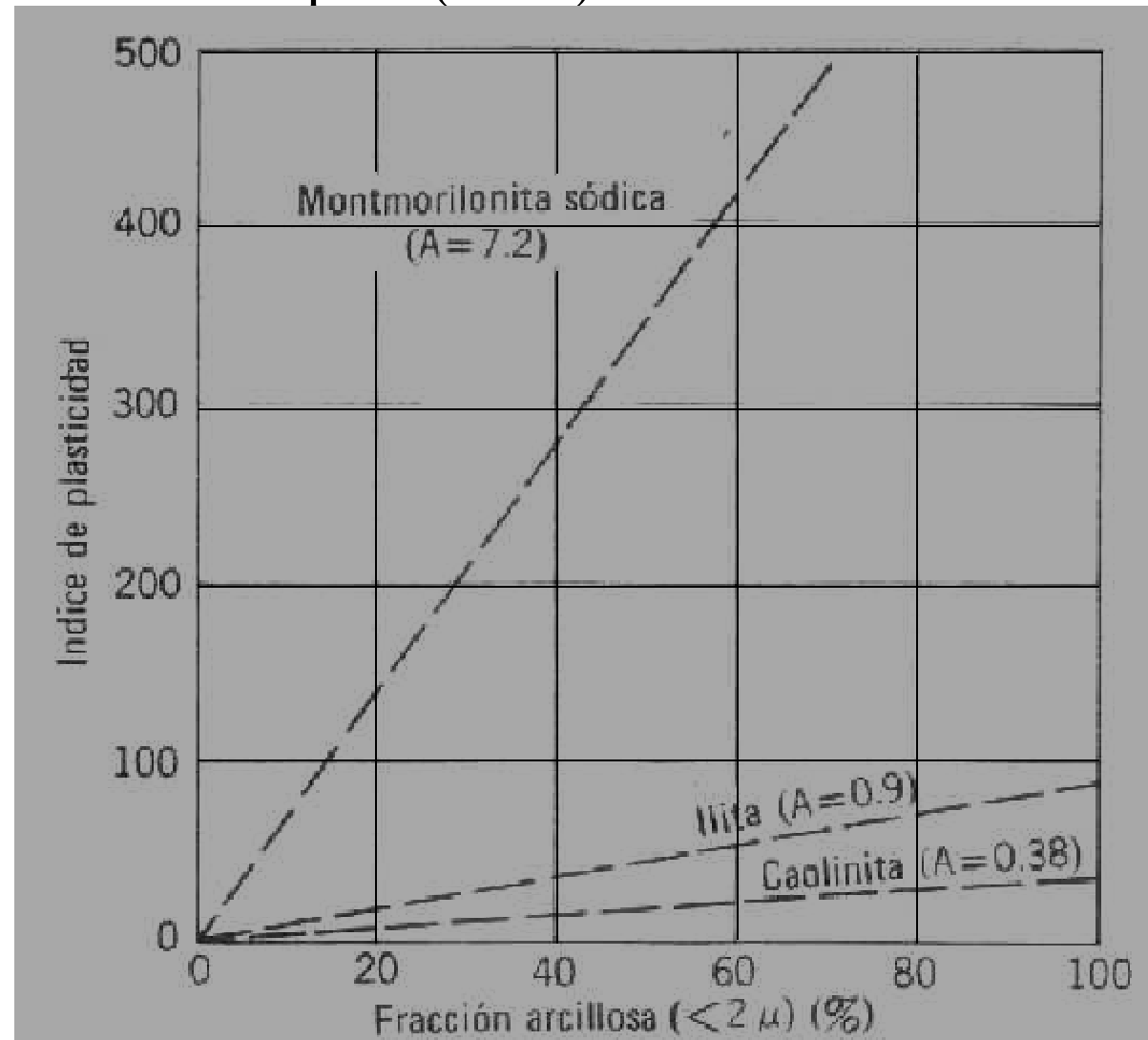


# Técnicas de Identificación de Minerales Arcillosos

Skempton (1953)

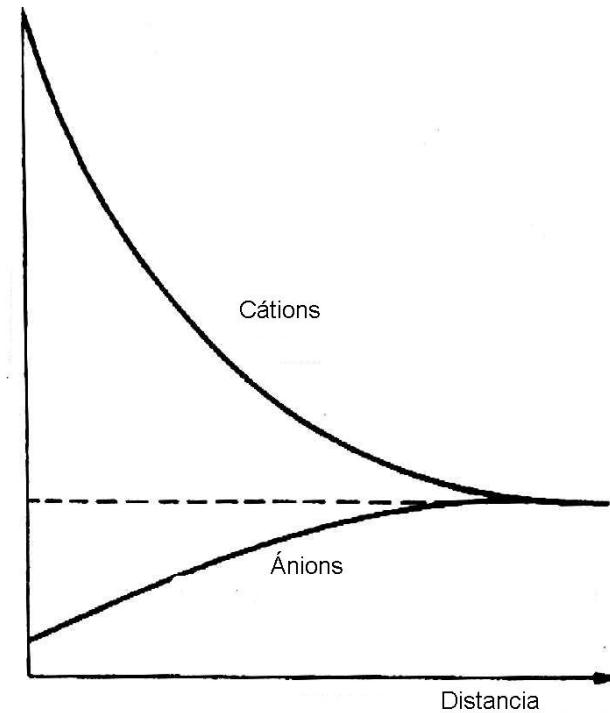
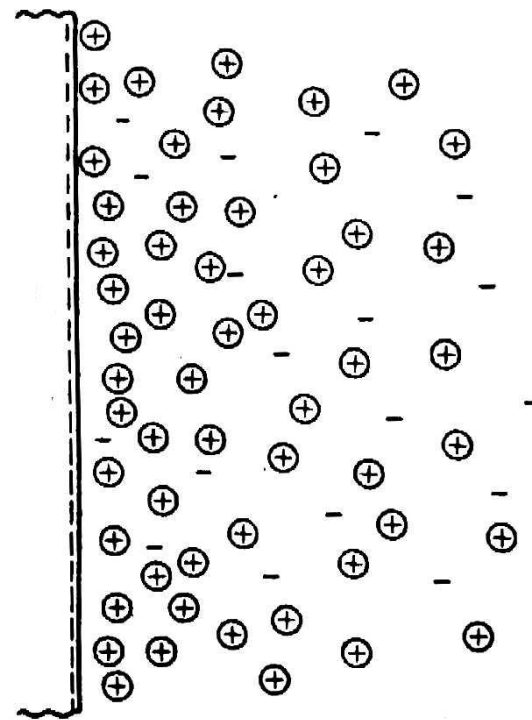
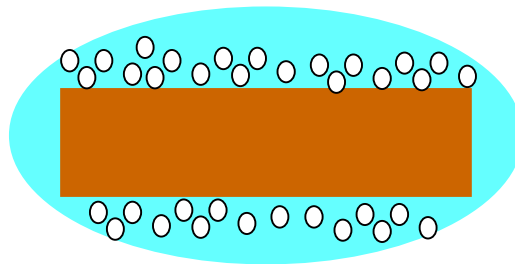
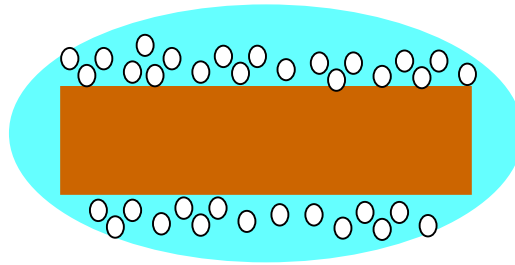
Actividad Coloidal

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



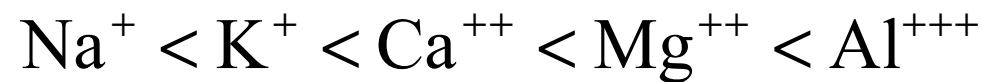
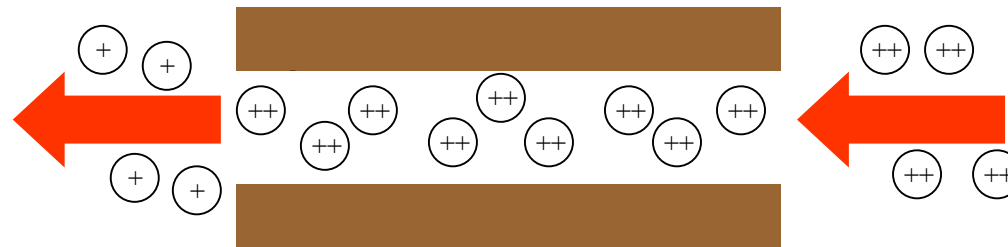
# Propiedades Físico-Químicas de Arcillas

## 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 <sup>2</sup> /g)	10-20	65-100	65-100	≈ 840	≈ 840

### Ensayo de Azul de Metileno

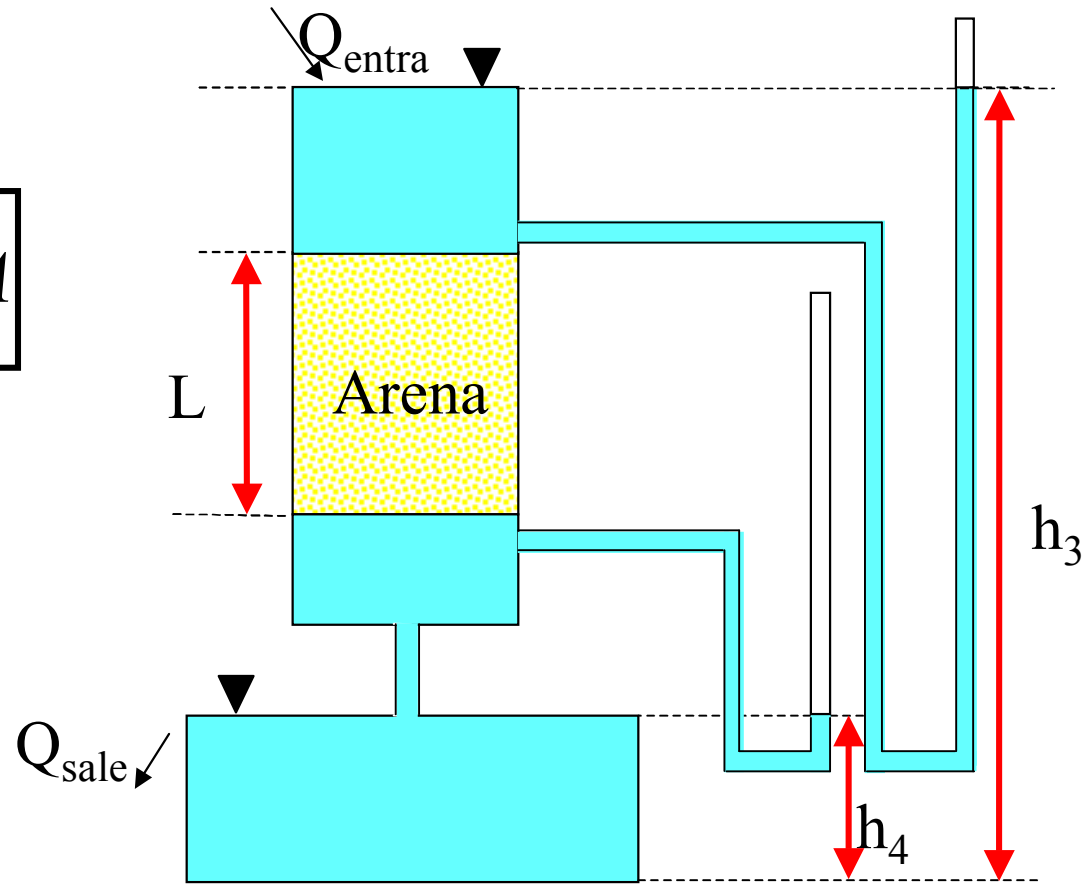
# Conductividad Hidráulica

Ley de Darcy  
(1856)

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

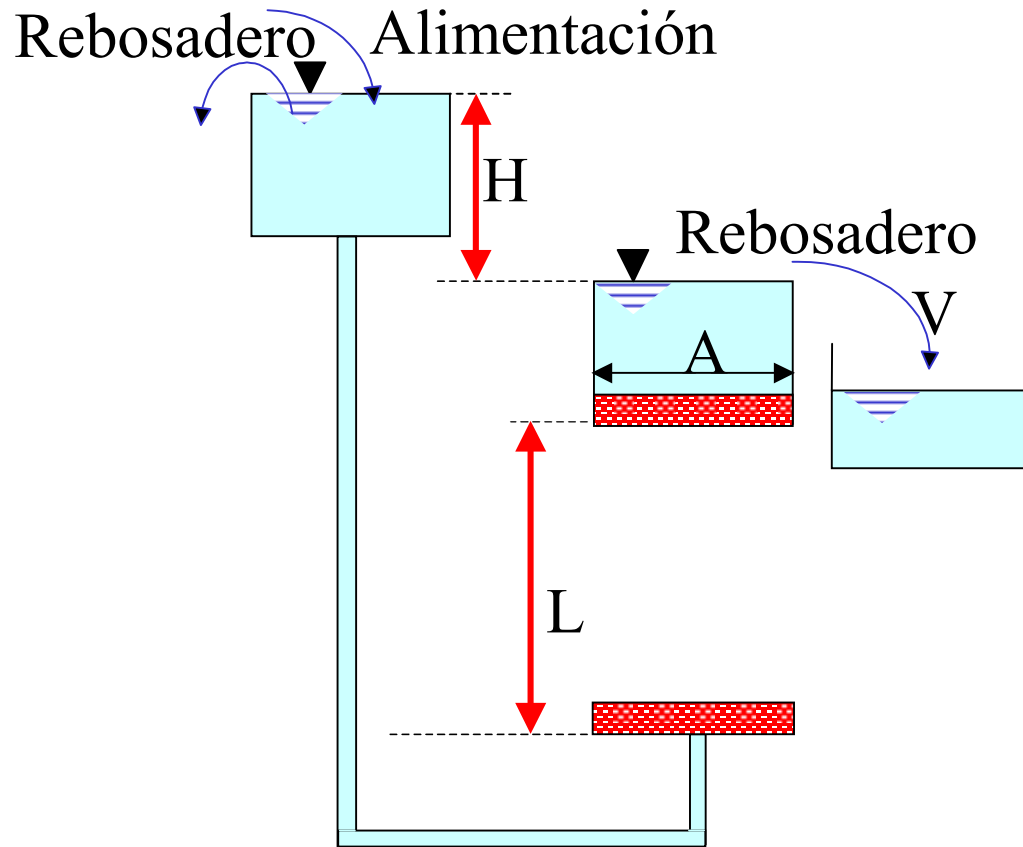
$$i = \frac{\Delta h}{L} \quad \text{Gradiente Hidráulico}$$

k: Coeficiente de conductividad hidráulica

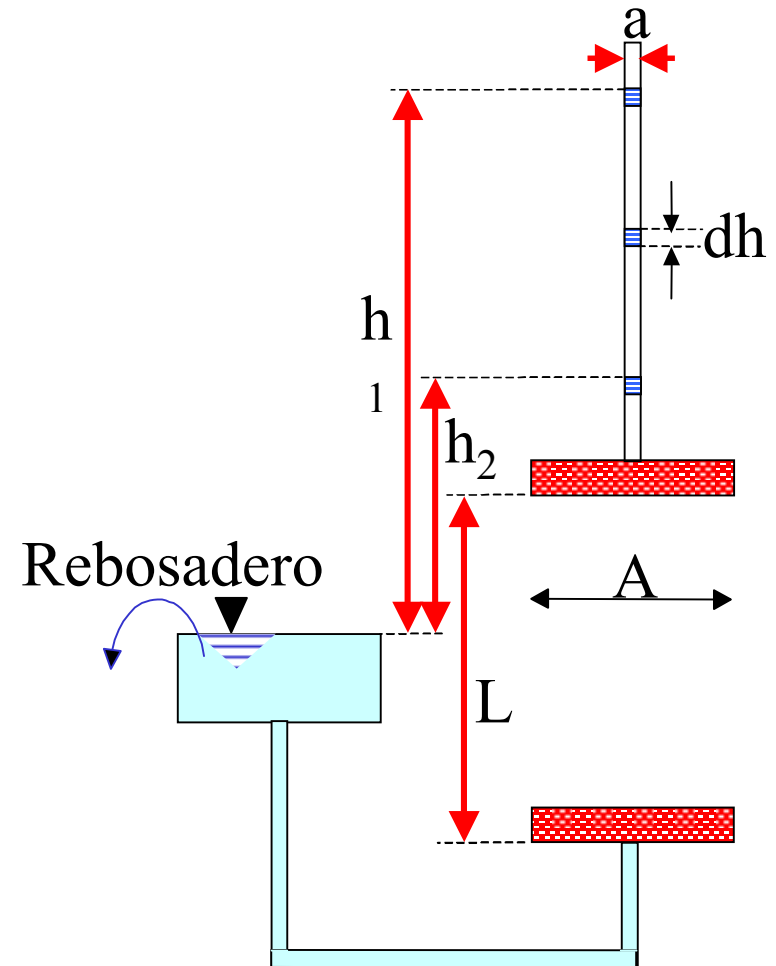


# Ensayos de Carga Hidráulica

Carga Constante  
(ASTM D2434)



Carga Variable



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



## Compresibilidad



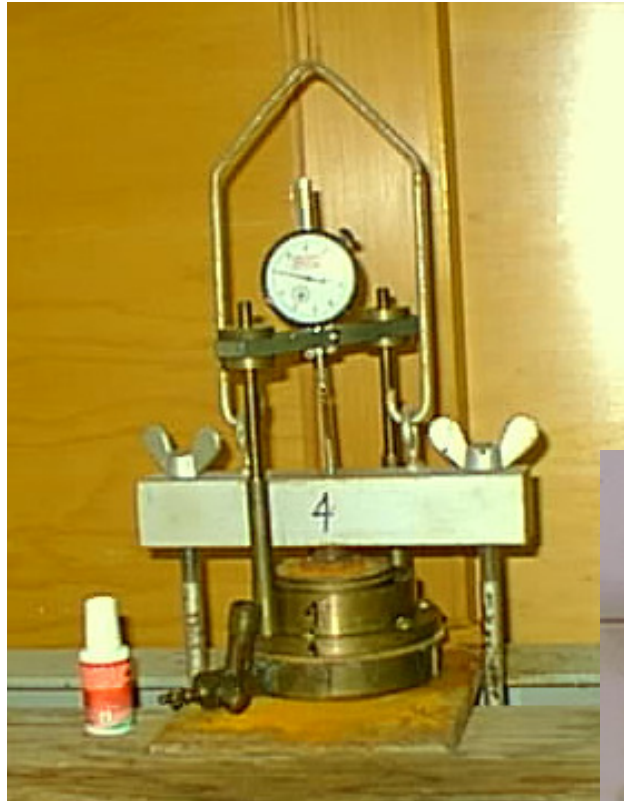
Asentamiento



Consolidación

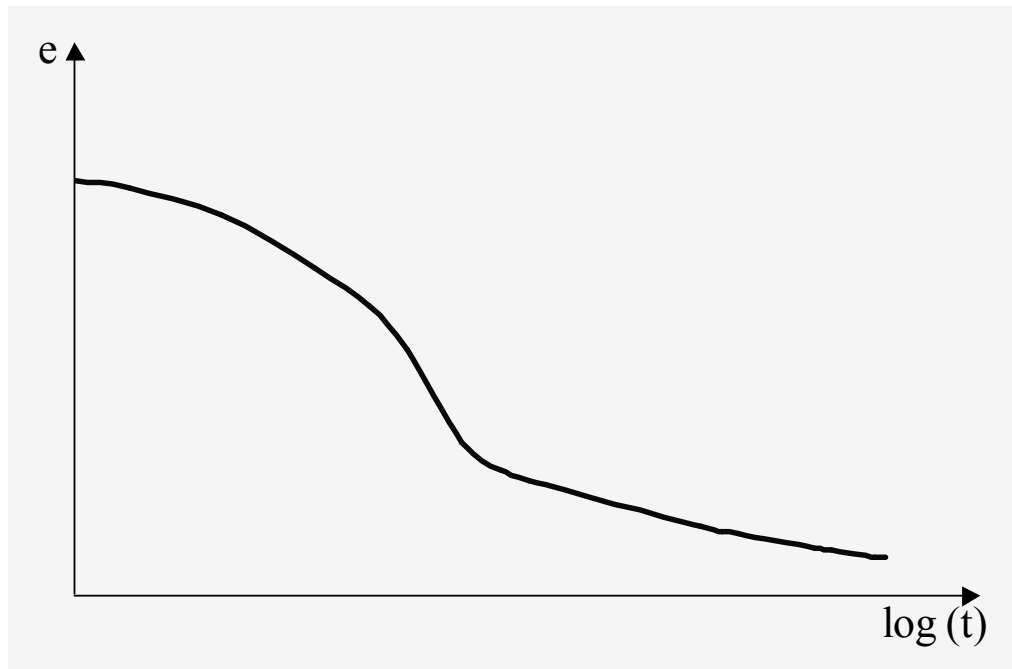


## Consolidación (Norma ASTM D2435)

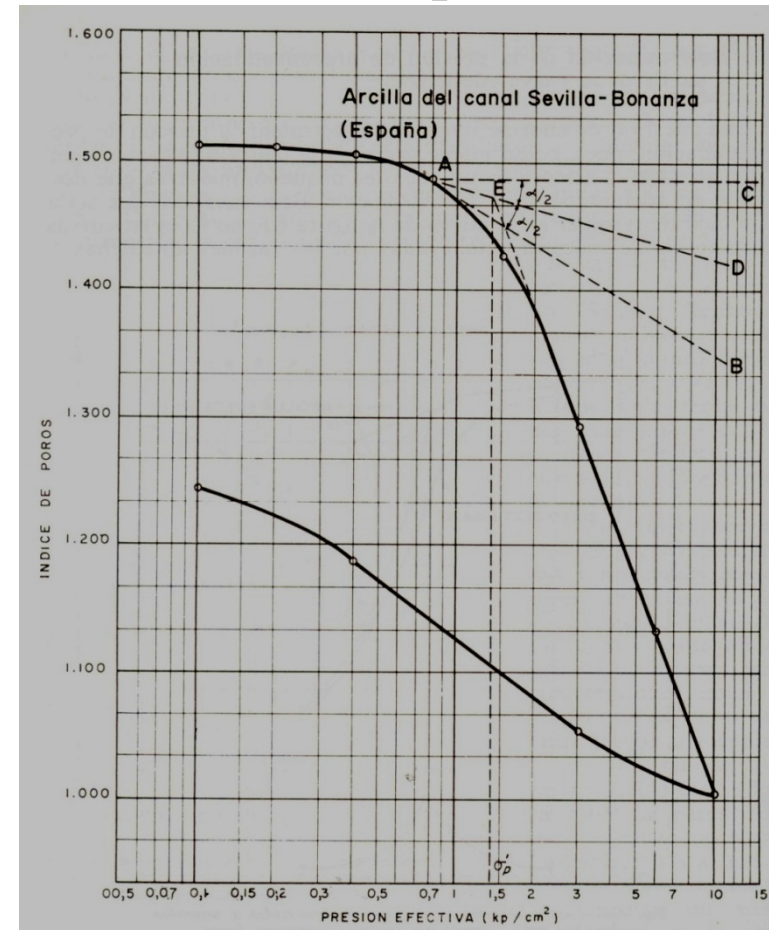


# Consolidación

## Curva de Consolidación



## Curva de Compresibilidad



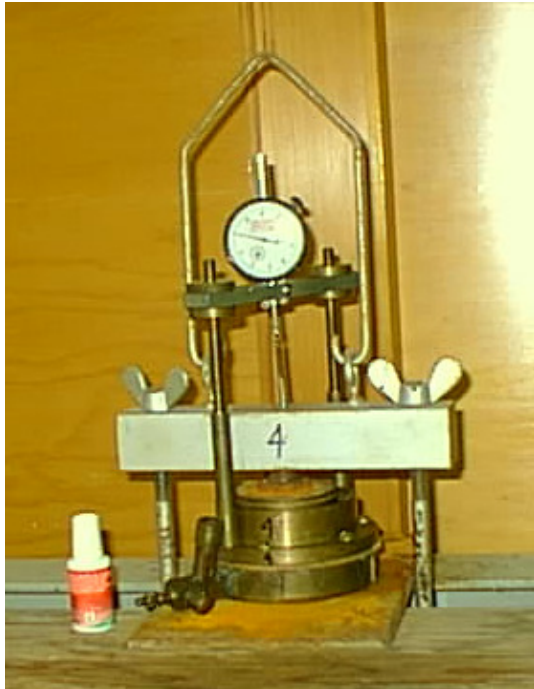
## Estabilidad Volumétrica

### Expansión



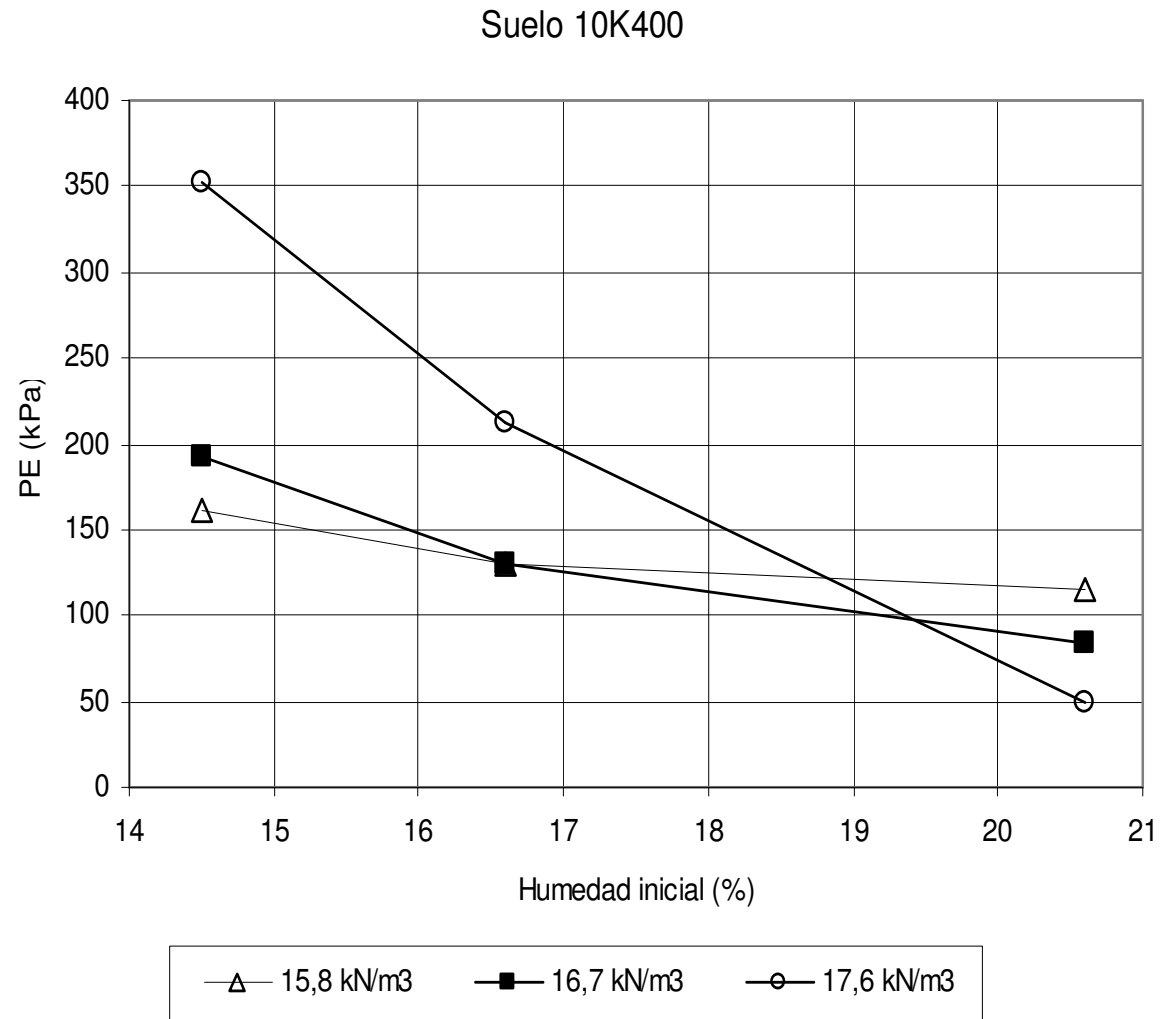
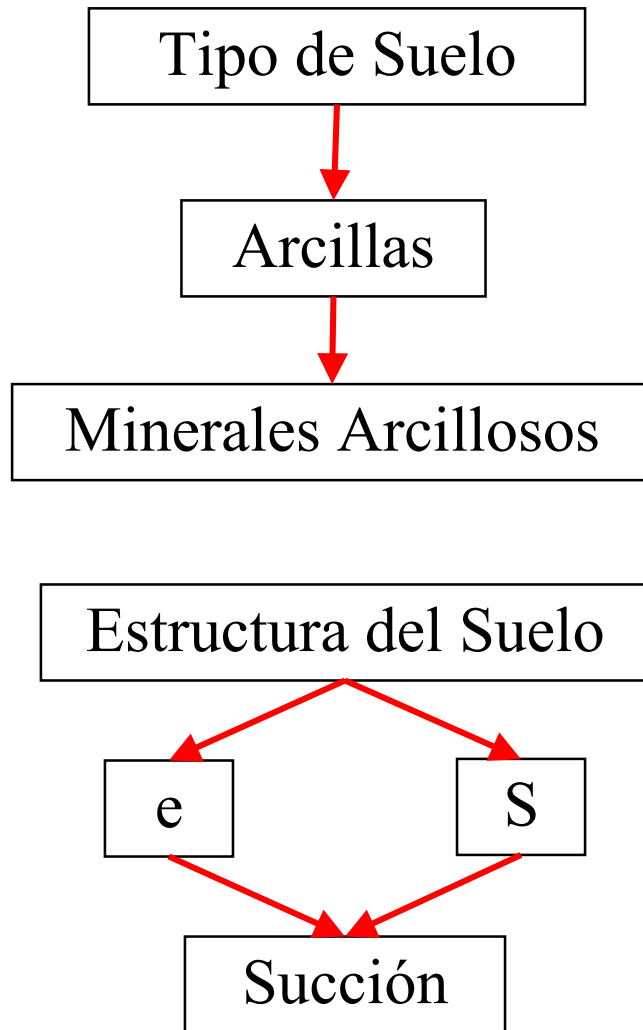
Deformación Volumétrica por aumento de Relación de Vacíos causado por aumento del Grado de Saturación

## Ensayo de Expansión Edométrica (Norma ASTM D4546)



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

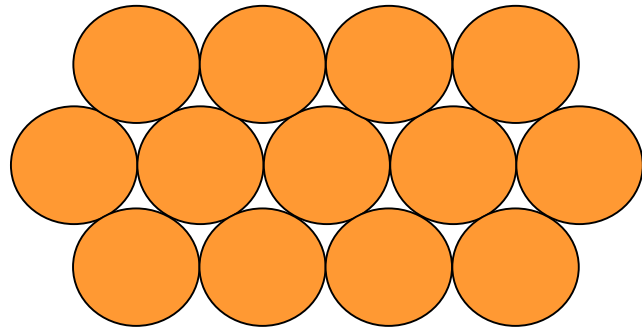
## Factores que Influyen en la Expansión



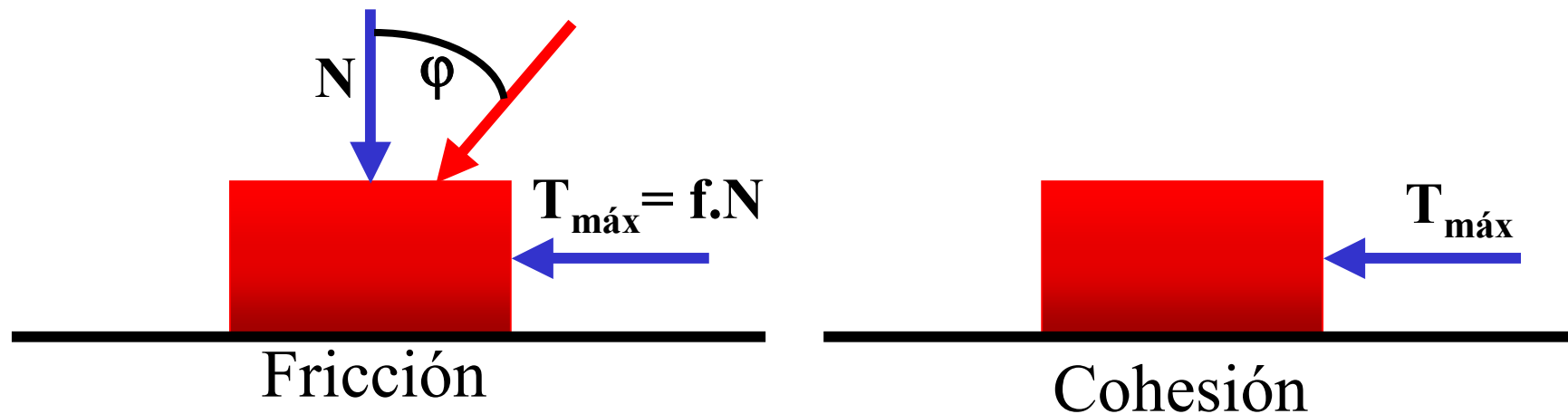
## Métodos Indicativos de Potencial Expansivo

- 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))



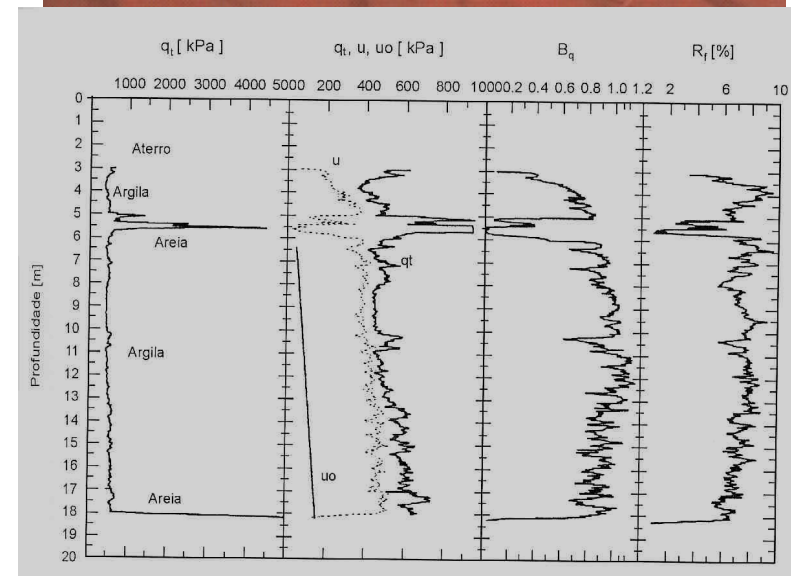
Compresión Inconfinada  
(ASTM D2166)



Ensayo de Penetración Estándar  
(SPT)



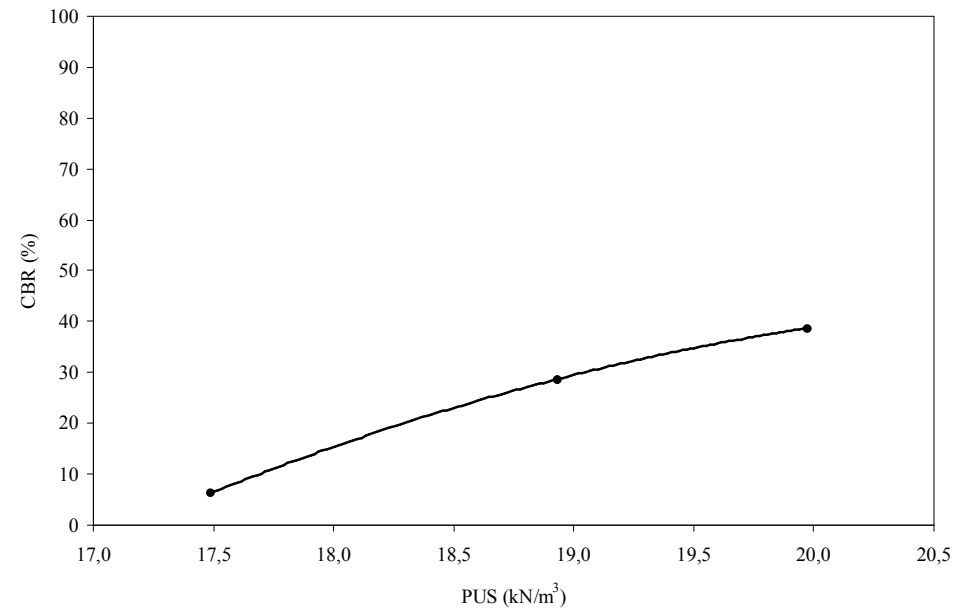
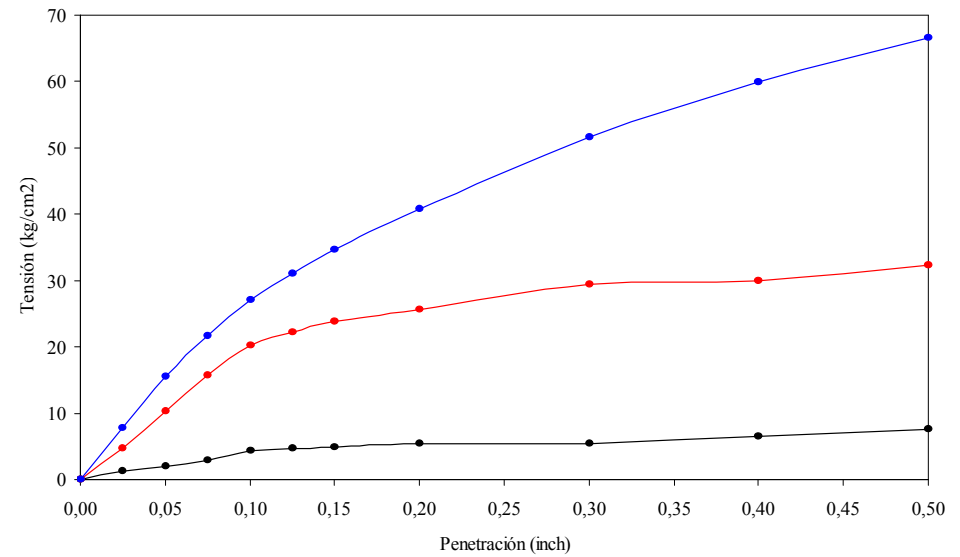
Ensayo de Penetración de Cono  
(CPT)



# CBR (ASTM D1883)



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



# Penetrómetro de Cono Dinámico (DCP)

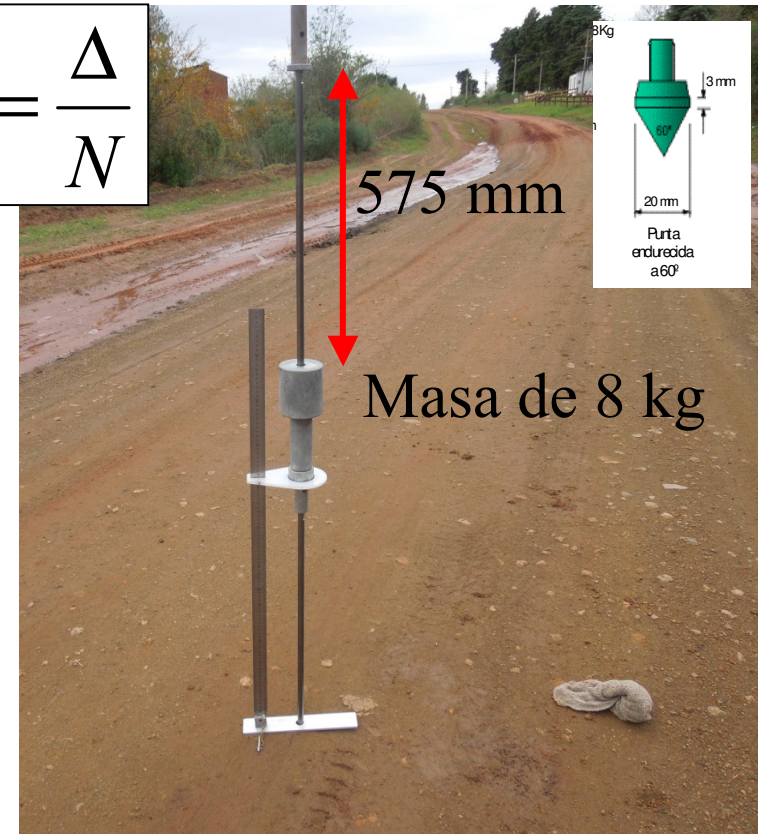
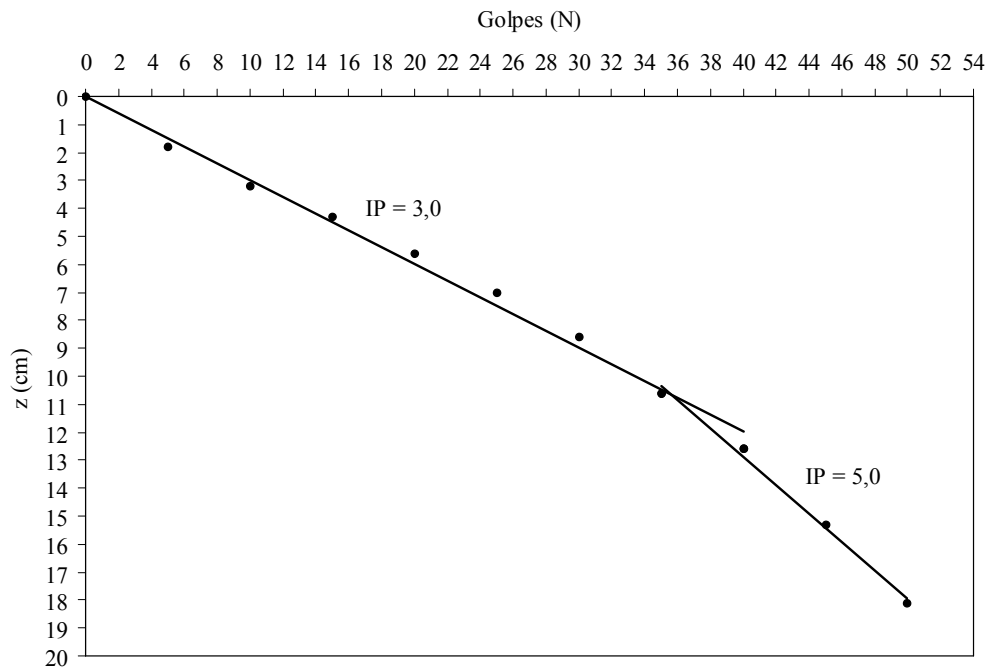
Resistencia a la penetración de cono por impacto de masa

Índice de Penetración

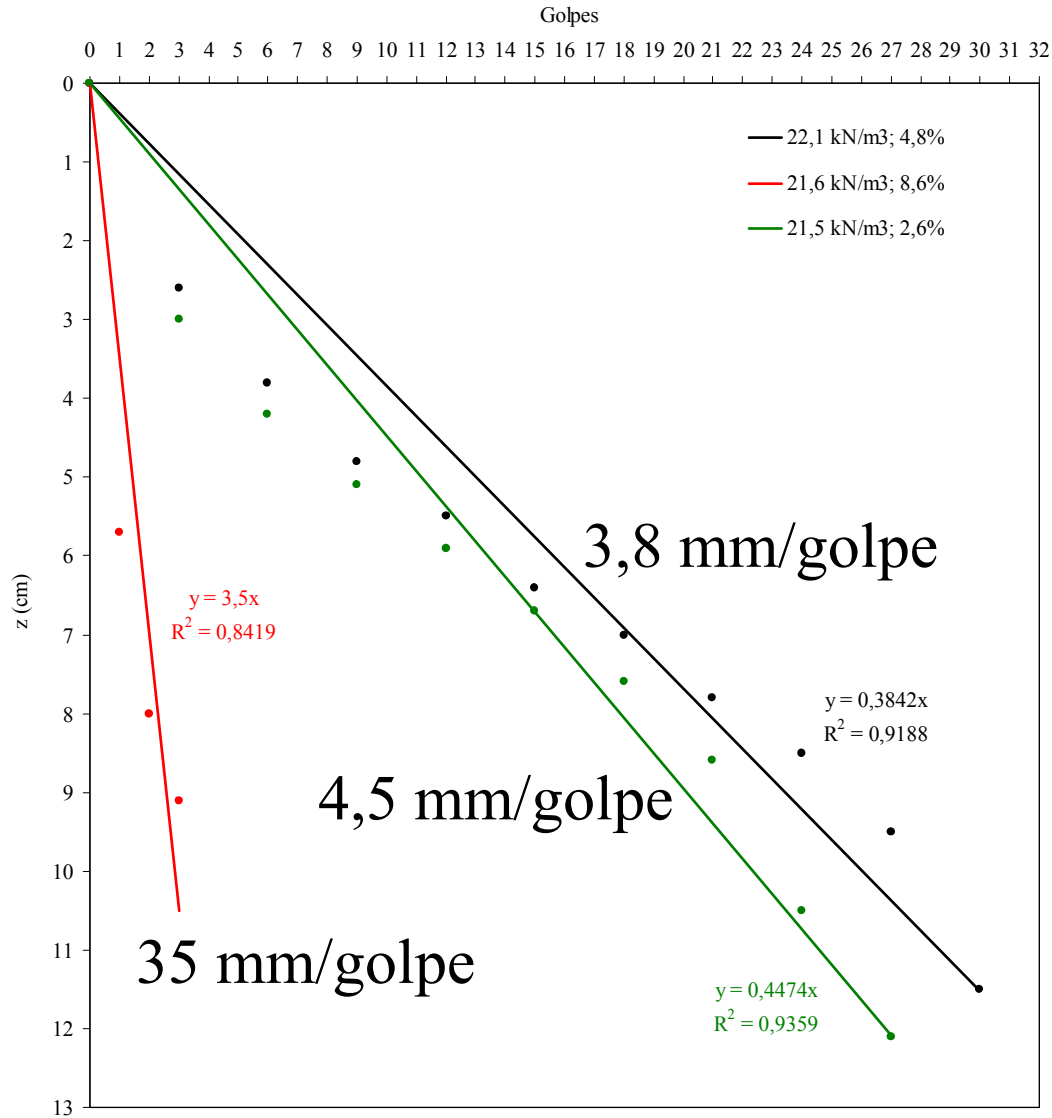
$$IP = \frac{\Delta}{N}$$

$\Delta$ : Penetración del Cono

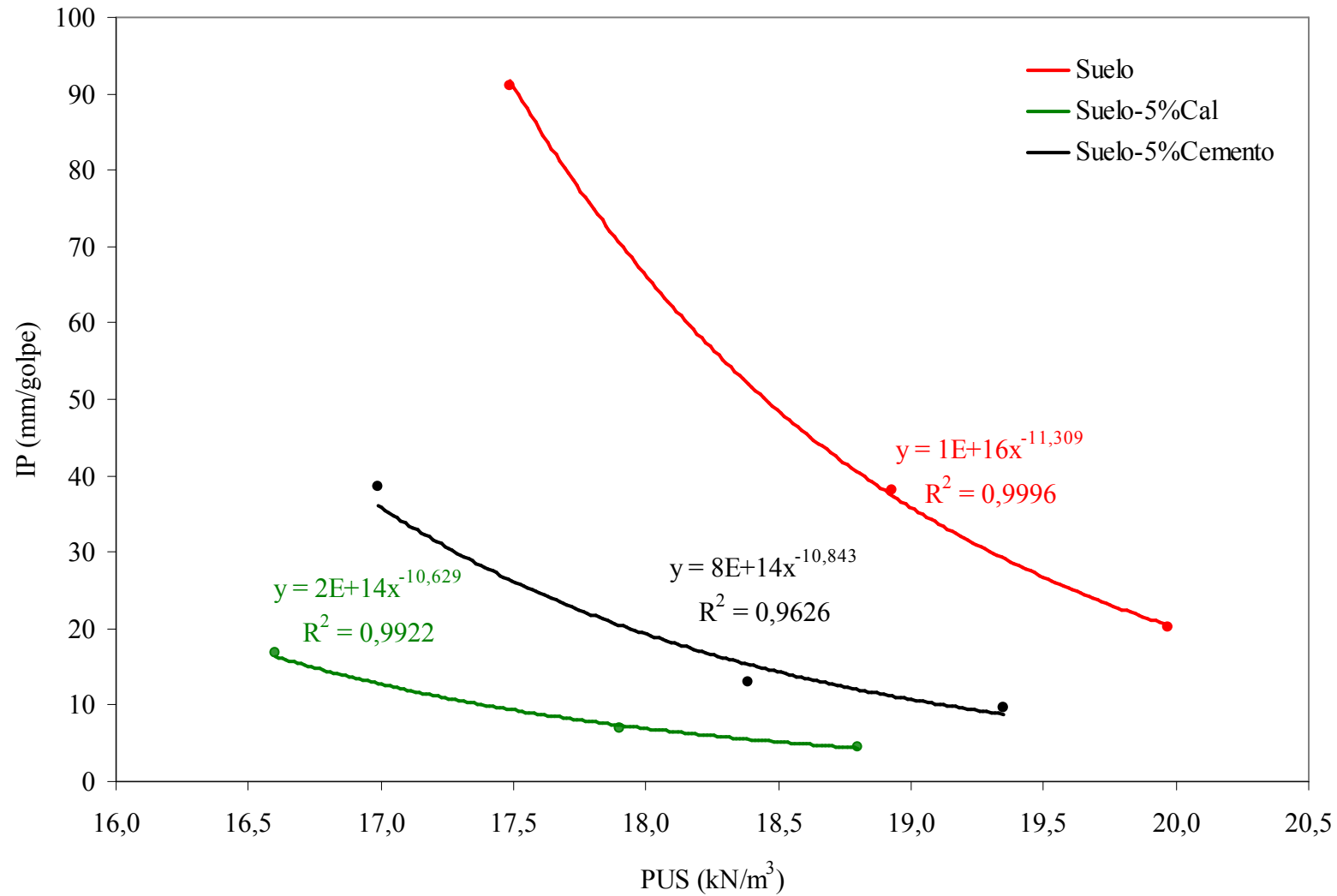
N: Número de Golpes



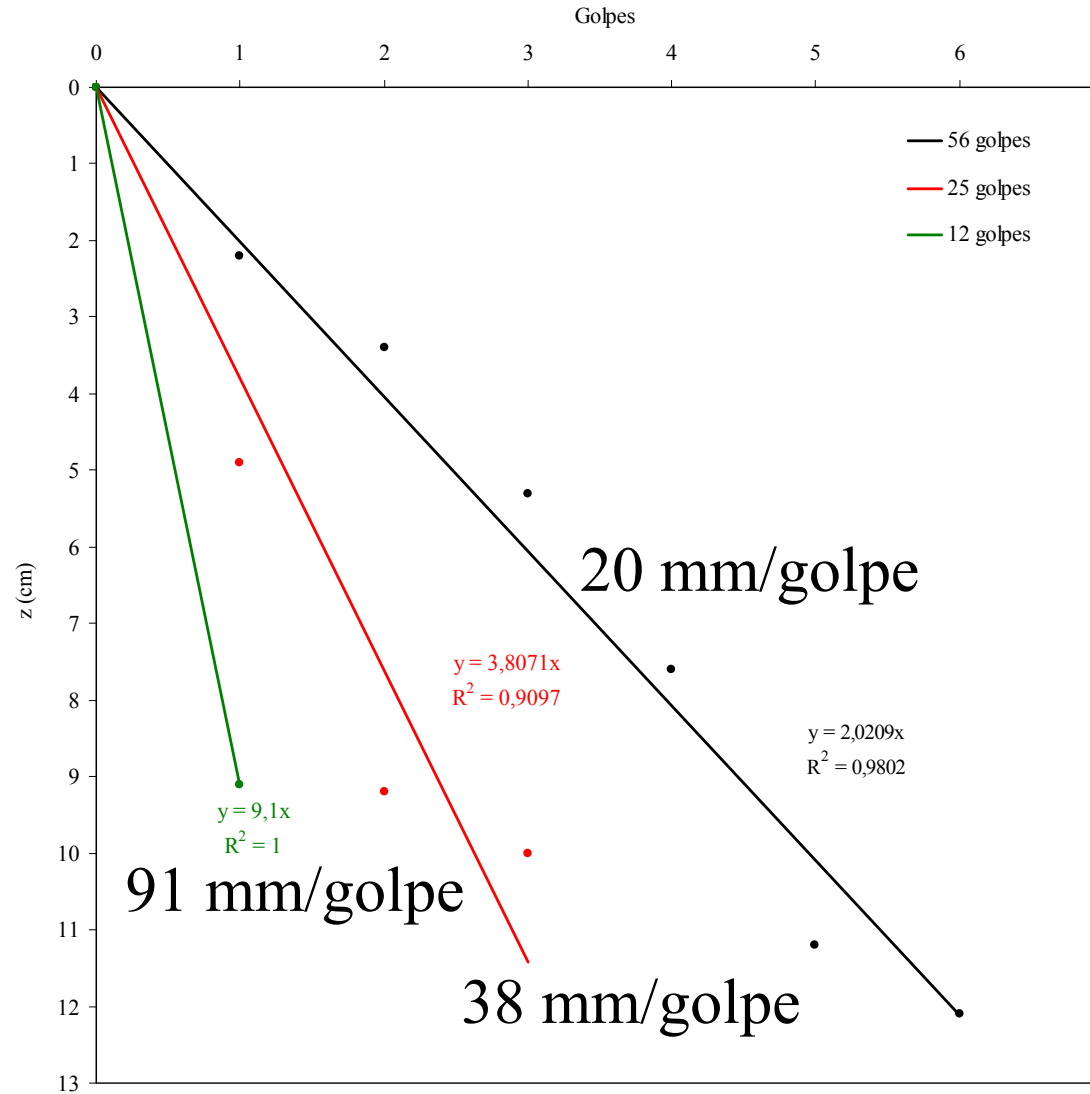
## Relación de DCP con Peso Específico y Humedad



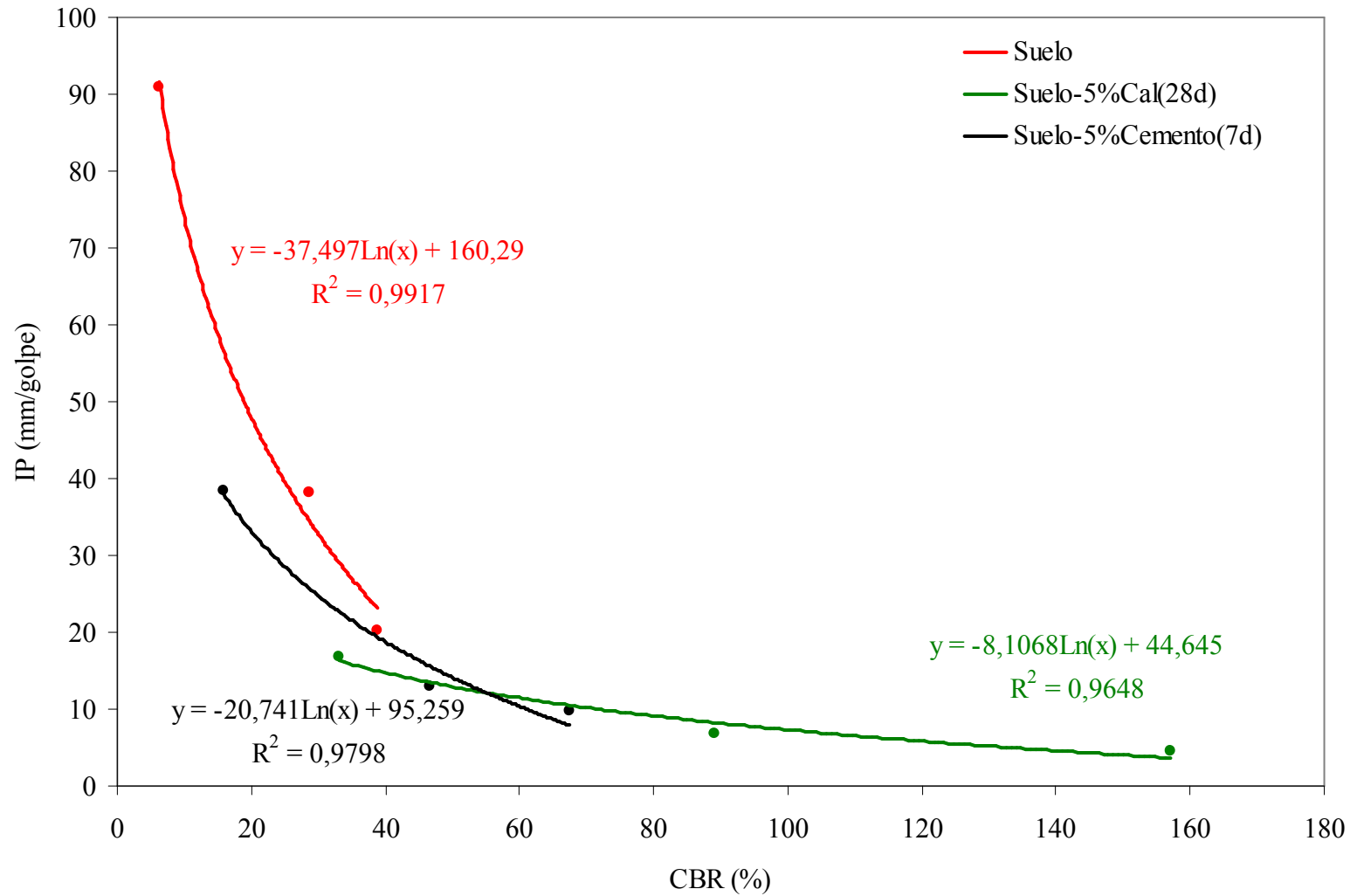
Relación de DCP con Peso Específico



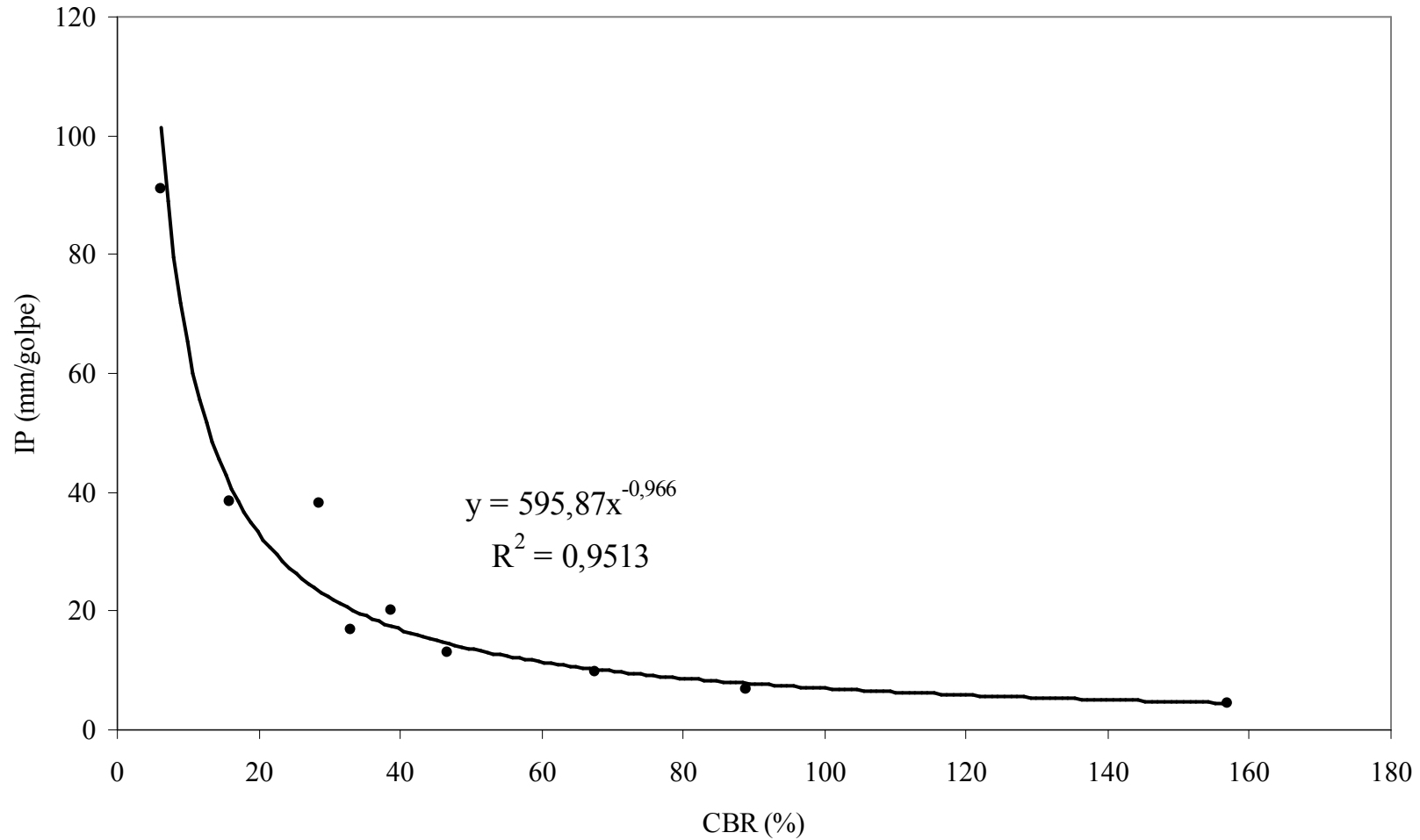
## Relación de DCP con Energía de Compactación



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

