

# **MECANICA Y TRATAMIENTO DE SUELOS**



## **CLASE 2 PROPIEDADES DE SUELOS Y CLASIFICACION**

**Elab. Dr. Ing. Marcelo Zeballos**



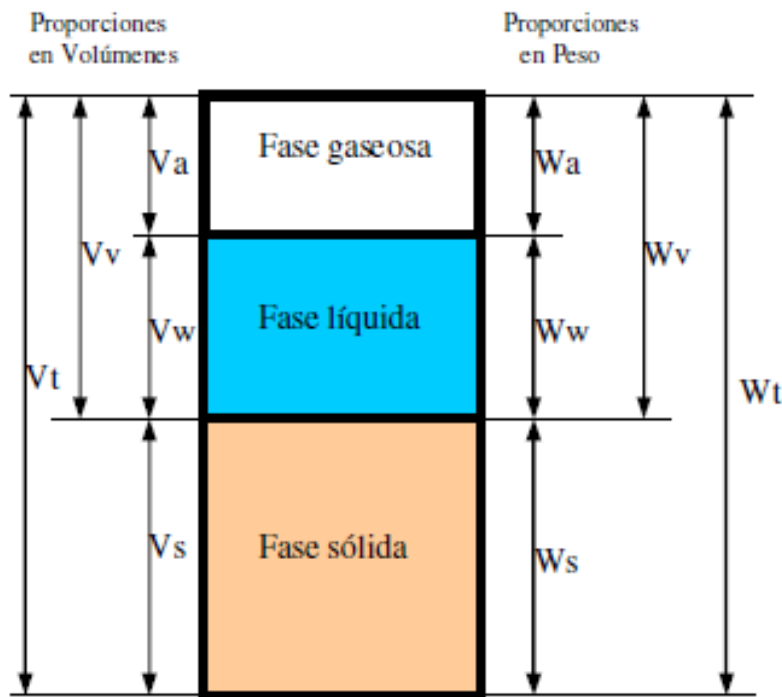
# **PROPIEDADES INDICES**

## **RELACIONES VOLUMÉTRICAS Y GRAVIMÉTRICAS**

# ESQUEMA DE COMPOSICIÓN DE SUELO POR FASES



El planteo del conjunto de índices volumétricos y gravimétricos tiene como base el modelo de composición por fases del suelo



$V_t$ : volumen total de la muestra del suelo. ( volumen da la masa)

$V_s$ : volumen de la fase sólida de la muestra ( volumen de sólidos)

$V_w$ : volumen de la fase líquida ( volumen de agua)

$V_a$ : volumen de la fase gaseosa ( volumen de aire o de los gases)

$V_v$ : volumen de vacíos de la muestra de suelo ( volumen de vacíos).

$$V_v = V_w + V_a$$

$$V_t = V_v + V_s$$

$$V_t = V_w + V_a + V_s$$

$W_t$ : Peso Total de la muestra de suelo. (Peso de la Masa).

$W_s$ : Peso de la fase sólida de la muestra.

$W_w$ : Peso de la fase líquida (peso del agua).

$W_a$ : Peso de la fase gaseosa, convencionalmente considerado como nulo en Geotecnia

# RELACIONES GRAVIMÉTRICAS VOLUMÉTRICAS



Densidad o Peso por Unidad de Volumen.

\* Con una humedad diferente a la correspondiente a su saturación

$$\gamma_h = \frac{W_t}{V_t} = \frac{W_s + W_w + W_a}{V_s + V_v} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_v}$$

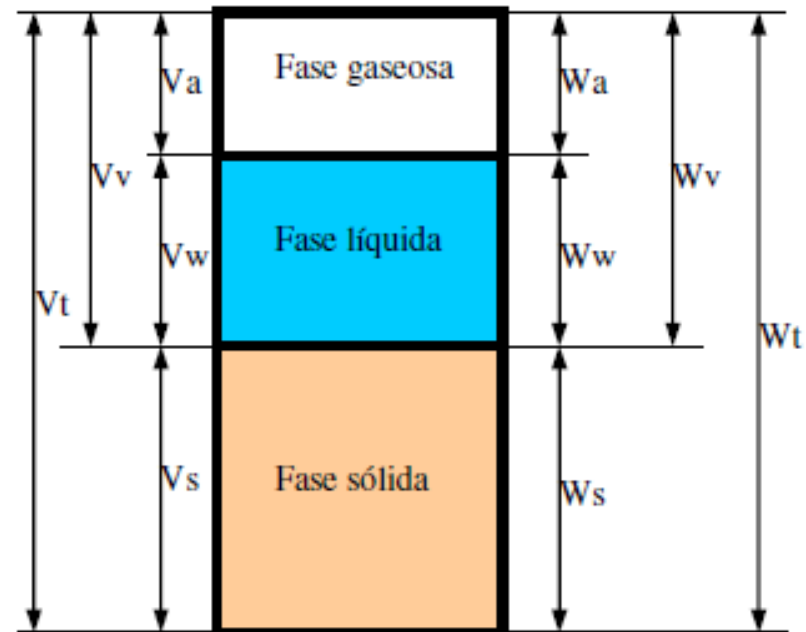
Convencionalmente  $W_a = \text{cero}$

\* Para  $\omega = \omega_{\text{sat}}$  Humedad de saturación ( $V_a = 0$ )

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{W_t}{V_t} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_v}$$

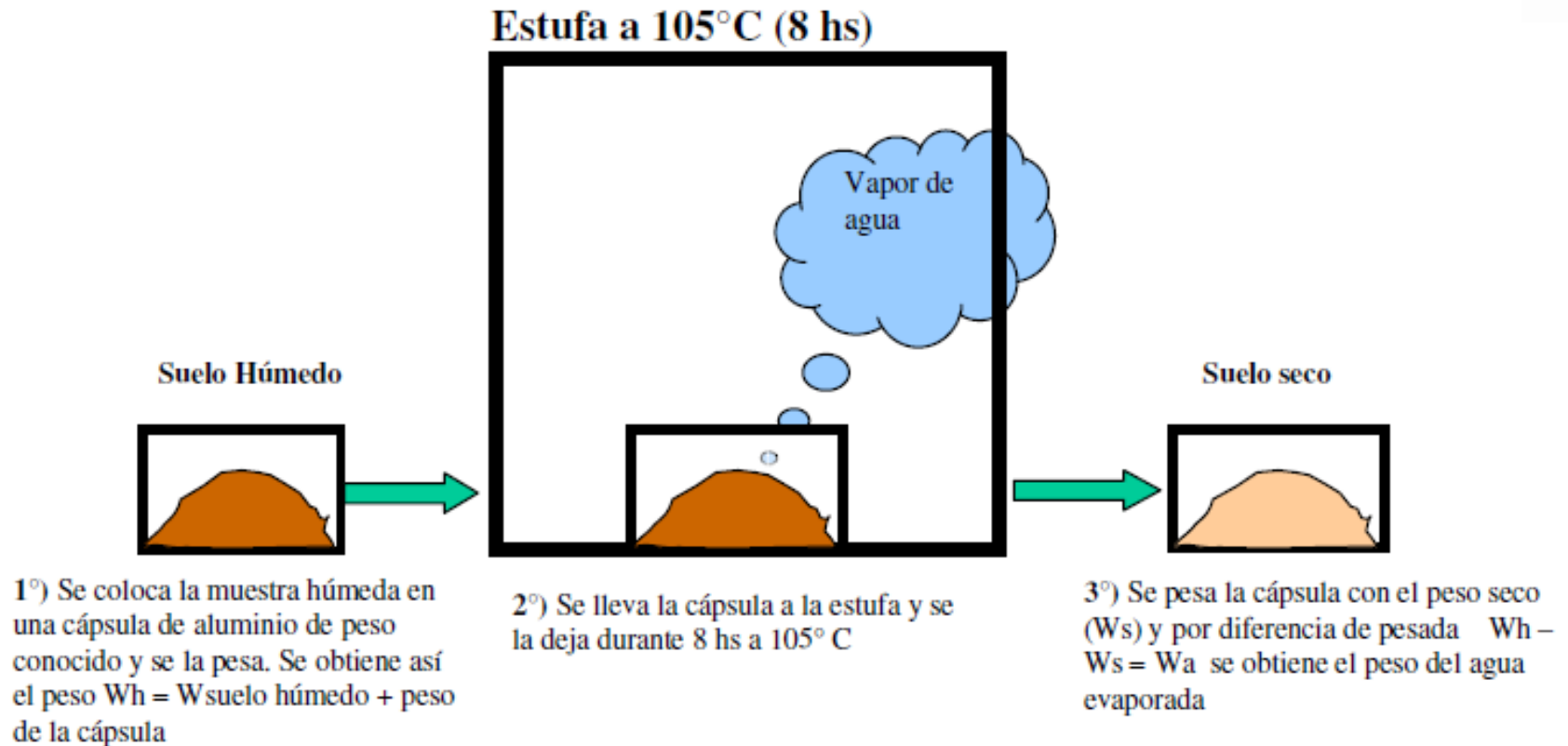
\* Cuando  $W\omega = 0$  (Totalmente seco)  $V_v = V_a$

$$\gamma_d = \frac{W_t}{V_t} = \frac{W_s}{V_s + V_v}$$



$$\gamma_d < \gamma_h < \gamma_{\text{sat}}$$

# RELACIONES GRAVIMÉTRICAS VOLUMÉTRICAS



Porcentaje de humedad → 
$$w(\%) = \frac{W_a}{W_s} 100$$

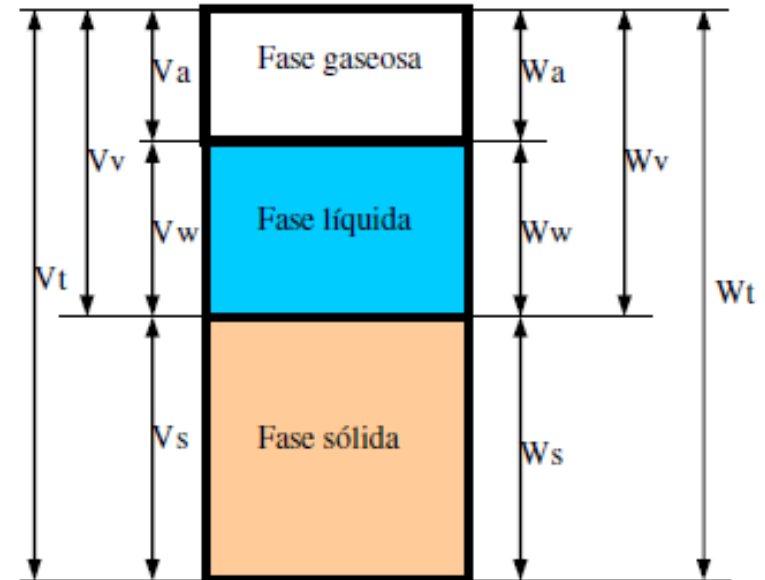
El resultado del cálculo de la humedad no es un número constante, varía según el contenido de agua del suelo



## Humedad Grado de Saturación, Peso seco y Pesos húmedo

Humedad de un suelo  $w(\%) = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100$

Grado de saturación  $S(\%) = \frac{V_w}{V_v} \cdot 100$



Obtención del peso seco del suelo a partir de su peso húmedo y de su humedad

$$\left. \begin{aligned} Wh &= W_s + W_w \\ w(\%) &= \frac{W_w}{W_s} \cdot 100 \end{aligned} \right\} Wh = W_s + \frac{W_s \cdot w\%}{100}$$

$$Wh = W_s \left( 1 + \frac{w\%}{100} \right)$$

$$W_s = \frac{Wh}{1 + \frac{w\%}{100}}$$

# RELACIONES GRAVIMÉTRICAS VOLUMÉTRICAS



$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_0} = \frac{W_s}{V_s \cdot \gamma_0}$$

Dónde:

$G_s$  : Gravedad específica

$\gamma_s$  : Peso específico de los sólidos

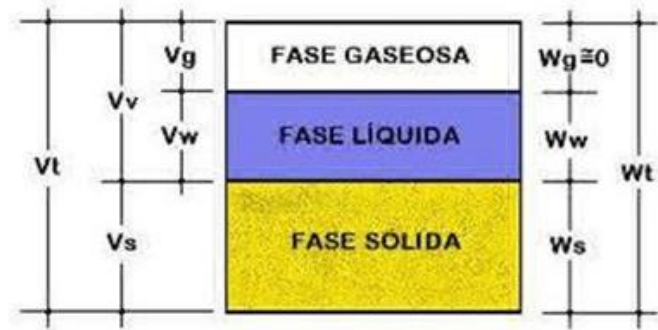
$\gamma_0$  : Peso específico del agua

Algunos valores característicos:

Arenas:  $G_s = 2,65$

Arcillas:  $G_s = 2,7$  a  $2,9$

Suelos con materia orgánica:  $G_s < 2,65$



- Cociente entre el peso unitario de la fracción sólida del suelo y el peso unitario del agua.
- Variable adimensional.
- Su valor está íntimamente relacionado con los minerales que componen el suelo.

# RELACIONES GRAVIMÉTRICAS VOLUMÉTRICAS



## EJEMPLOS DE GRAVEDAD ESPECIFICA

Tipo de Suelo		Gravedad específica (G)
Inorgánico	Grava	2,65
	Arena gruesa a media	2,65
	Arena fina (limosa)	2,65
	Loess, polvo de piedra y limo arenoso	2,67
Inorgánico	Arena algo arenosa	2,65
	Limo arenoso	2,66
	Limo	2,67 – 2,70
	Arena arcillosa	2,67
	Limo arcillo arenoso	2,67
	Arcilla arenosa	2,70
	Arcilla limosa	2,75
	Arcilla	2,72 – 2,80
Orgánico	Limos con trazos de materia orgánica	2,30
	Lodos aluviales orgánicos	2,13 – 2,60
	Turba	1,50 – 2,15



# RELACIONES VOLUMÉTRICAS



## RELACIONES FUNDAMENTALES

Relación de vacíos

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Porosidad

$$n = \frac{V_v}{V_t}$$

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_v}{V_t - V_v}$$

$$e = \frac{\frac{V_v}{V_t}}{1 - \frac{V_v}{V_t}}$$

$$e = \frac{n}{1 - n}$$

$$n = \frac{V_v}{V_t} = \frac{V_v}{V_s + V_v}$$

$$n = \frac{\frac{V_v}{V_s}}{1 + \frac{V_v}{V_s}}$$

$$n = \frac{e}{1 + e}$$

# RELACIONES GRAVIMÉTRICAS VOLUMÉTRICAS



**Table 3.1** Various Forms of Relationships for  $\gamma$ ,  $\gamma_d$ , and  $\gamma_{sat}$

Moist unit weight ( $\gamma$ )		Dry unit weight ( $\gamma_d$ )		Saturated unit weight ( $\gamma_{sat}$ )	
Given	Relationship	Given	Relationship	Given	Relationship
$w, G_s, e$	$\frac{(1 + w)G_s\gamma_w}{1 + e}$	$\gamma, w$	$\frac{\gamma}{1 + w}$	$G_s, e$	$\frac{(G_s + e)\gamma_w}{1 + e}$
$S, G_s, e$	$\frac{(G_s + Se)\gamma_w}{1 + e}$	$G_s, e$	$\frac{G_s\gamma_w}{1 + e}$	$G_s, n$	$[(1 - n)G_s + n]\gamma_w$
$w, G_s, S$	$\frac{(1 + w)G_s\gamma_w}{1 + \frac{wG_s}{S}}$	$G_s, n$	$G_s\gamma_w(1 - n)$	$G_s, w_{sat}$	$\left(\frac{1 + w_{sat}}{1 + w_{sat}G_s}\right)G_s\gamma_w$
$w, G_s, n$	$G_s\gamma_w(1 - n)(1 + w)$	$G_s, w, S$	$\frac{G_s\gamma_w}{1 + \left(\frac{wG_s}{S}\right)}$	$e, w_{sat}$	$\left(\frac{e}{w_{sat}}\right)\left(\frac{1 + w_{sat}}{1 + e}\right)\gamma_w$
$S, G_s, n$	$G_s\gamma_w(1 - n) + nS\gamma_w$	$e, w, S$	$\frac{eS\gamma_w}{(1 + e)w}$	$n, w_{sat}$	$n\left(\frac{1 + w_{sat}}{w_{sat}}\right)\gamma_w$
		$\gamma_{sat}, e$	$\gamma_{sat} - \frac{e\gamma_w}{1 + e}$	$\gamma_d, e$	$\gamma_d + \left(\frac{e}{1 + e}\right)\gamma_w$
		$\gamma_{sat}, n$	$\gamma_{sat} - n\gamma_w$	$\gamma_d, n$	$\gamma_d + n\gamma_w$
		$\gamma_{sat}, G_s$	$\frac{(\gamma_{sat} - \gamma_w)G_s}{(G_s - 1)}$	$\gamma_d, S$	$\left(1 - \frac{1}{G_s}\right)\gamma_d + \gamma_w$
				$\gamma_d, w_{sat}$	$\gamma_d(1 + w_{sat})$



# **CLASIFICACION**

## **LIMITES DE CONSISTENCIA GRANULOMETRIA**



## Clasificación de los suelos

### Primera división de los suelos, según el tamaño de los granos

Atendiendo a los distintos comportamientos de los suelos según su tamaño, se hace una primera clasificación de los mismos en:

**Suelos Gruesos:** Partículas mayores a los  $74\ \mu$  ( $0,074\ \text{mm}$ )

**Suelos Finos:** Partículas menores a los  $74\ \mu$

**Suelos Gruesos:** Las fuerzas que gobiernan su comportamiento son fundamentalmente las de gravedad. (gravas y arenas)

**Suelos Finos:** Las fuerzas que gobiernan su comportamiento son fundamentalmente en las arcillas, las de atracción y repulsión de origen físico - químicas. (arcillas y limos)

# CONCEPTOS GENERALES

## Suelos Gruesos. Partículas Visibles



### GRAVAS



© Can Stock Photo - csp37711663

### ARENAS





# CONCEPTOS GENERALES

## SUELOS FINOS

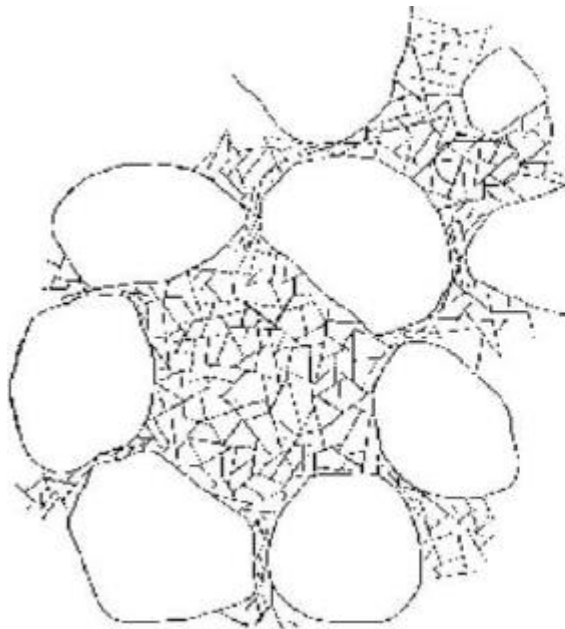


### Suelos Finos

Dentro de los suelos finos, conformados por partículas de tamaño menores a  $74\mu$  (tamiz N° 200) tenemos:

**Limos:** Partículas que van desde los  $74\mu$  hasta los  $2\mu$

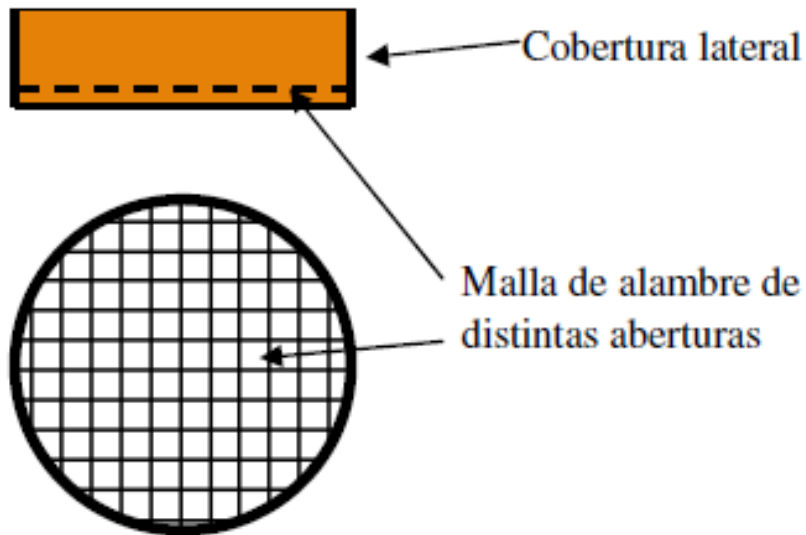
**Arcillas:** Partículas menores a los  $2\mu$



# CLASIFICACION ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO TAMICES



## Ensayo granulométrico, Tamices



### Tamices más utilizados en la práctica

Denominación del tamiz	Abertura mm
4"	100,0
3 ½"	88,90
3"	76,20
2 ½"	63,50
2"	50,80
1 ¾"	44,45
1 ½"	38,10
1 ¼"	31,75
1"	25,40
¾"	19,05
½"	12,70
¼"	6,35
1/8"	3,17

Denominación del tamiz	Abertura mm
Nº 4	4,75
Nº 8	2,36
Nº 10	2,00
Nº 16	1,18
Nº 20	0,850
Nº 30	0,600
Nº 40	0,425
Nº 60	0,250
Nº 100	0,150
Nº 200	0,075
Nº 270	0,053
Nº 450	0,032



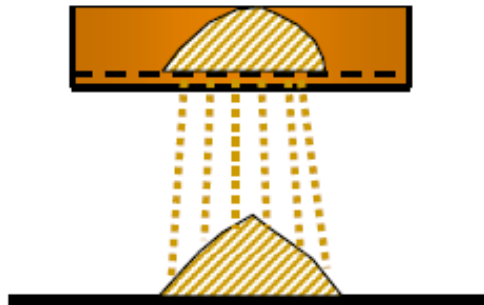
# CLASIFICACION ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

## Ensayo granulométrico



Suelo seco a pasar por el tamiz

Peso seco total conocido " $W_{S_{Total}}$ "



Peso de suelo seco retenido por el tamiz  $W_{S_{Ret}}$

Peso de suelo seco que pasa el tamiz  $W_{S_{Pasa}}$

Porcentaje retenido

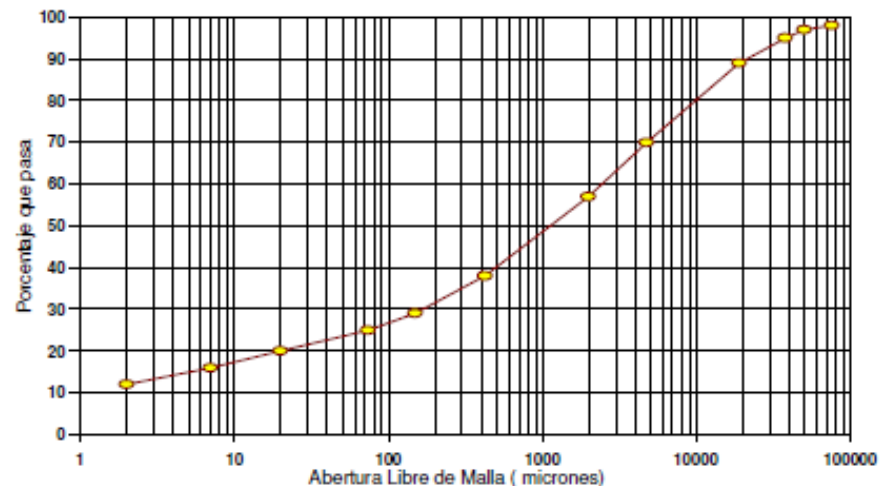
$$\% Ret. = \frac{W_{S_{Ret}}}{W_{S_{Total}}} \cdot 100$$

Porcentaje que pasa

$$\% Pasa = \frac{W_{S_{Pasa}}}{W_{S_{Total}}} \cdot 100$$

$$\% Pasa = 100 - \% Retenido$$

CURVA GRANULOMETRICA





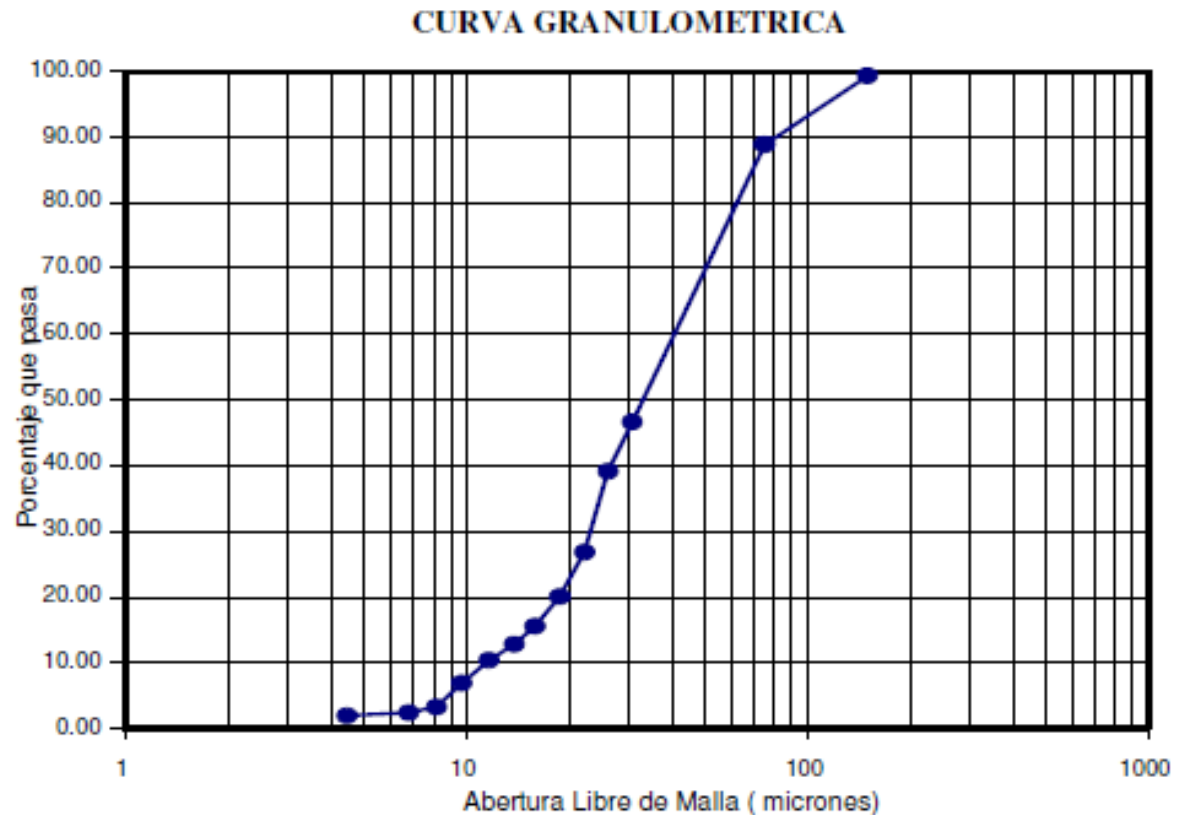


# CLASIFICACION ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

(Material con dimensiones inferior a 74 micras)  
(Modelo de STOKES)

## Resultado de un ensayo hidrométrico

Diámetro $\mu$	Porcentaje pasa %
150.0	99.3
75.0	80.0
30.7	46.7
26.1	39.2
22.2	26.8
18.9	20.1
15.9	15.6
13.9	12.9
11.7	10.4
9.7	6.9
8.2	3.2
6.8	2.5
4.5	2.0





# Granulometría de las partículas más pequeñas

## Análisis hidrométrico o método del hidrómetro (ASTM D-422-63)

Sirve para conocer la composición granulométrica aproximada de las partículas que pasan por el tamiz # 200 de (0,075 mm de abertura de malla hasta aproximadamente el tamaño de  $1\mu = 0,001$  mm).

El método es absolutamente aproximado y utiliza la Ley de Stokes que define la velocidad de caída de una esfera de diámetro “D” dentro de un líquido de viscosidad “ $\mu$ ” conocida.

$$v = \frac{2 \cdot \gamma_s - \gamma_w}{18 \mu} D^2 \qquad \frac{z}{t} = \frac{2 \cdot \gamma_s - \gamma_w}{18 \mu} D^2$$

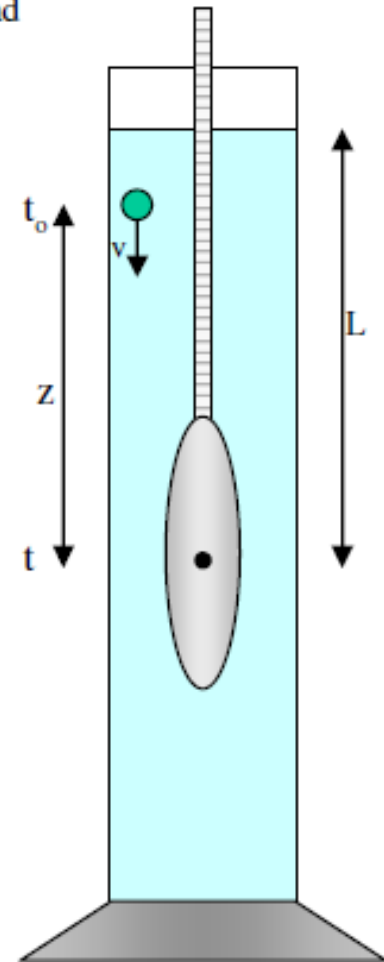
Donde:  $\gamma_s = 2,65 \text{ gr/cm}^3$ ;  $\gamma_w = 1 \text{ gr/cm}^3$ ;  $\mu = 9,12 \times 10^{-6} \text{ gr.seg/cm}^2$  por lo tanto a un tiempo “t” y a una profundidad L no se encontrarán partículas mayores a D

$$D = Cte \cdot \sqrt{\frac{L}{t}} \text{ (mm )}$$

Por lo tanto, conociendo para distintos tiempos la concentración de la solución suelo-agua, podremos obtener el diámetro de las partículas y el peso total de las mismas y con ello obtener un punto en el gráfico granulométrico.

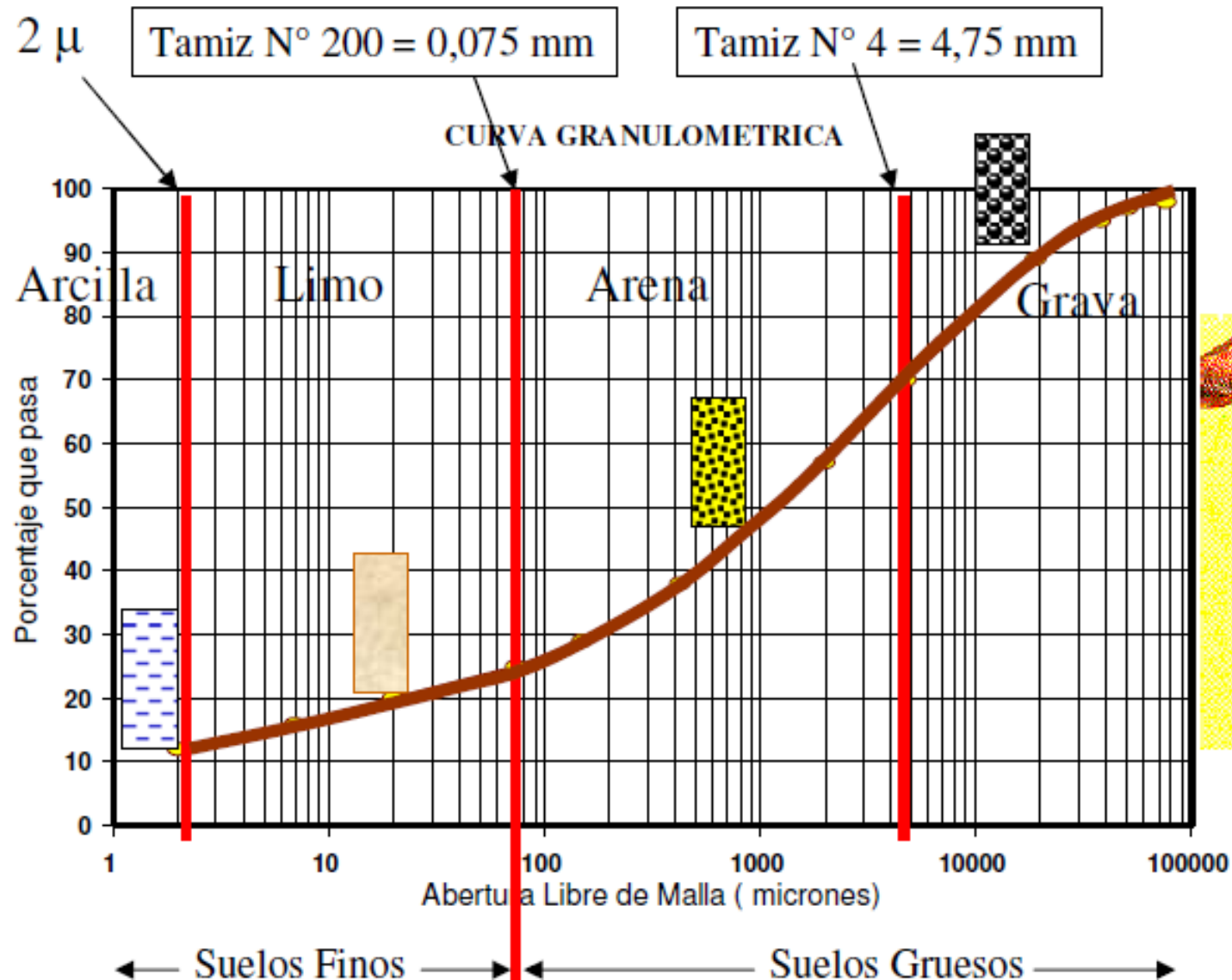
La ley de Stokes es aplicable solamente a partículas esféricas por lo tanto los diámetros medidos son “diámetros equivalentes” a partículas de suelos que sedimentan a la misma velocidad que una esfera del mismo peso específico.

Este procedimiento es aplicable solamente a partículas de limo  $75 \mu$  a  $2 \mu$  ya que partículas mayores pueden producir turbulencias y las menores de  $2 \mu$  pueden no sedimentar porque los efectos gravitatorios quedan superados por los efectos electroquímicos. (movimiento browniano)





# CLASIFICACION ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO



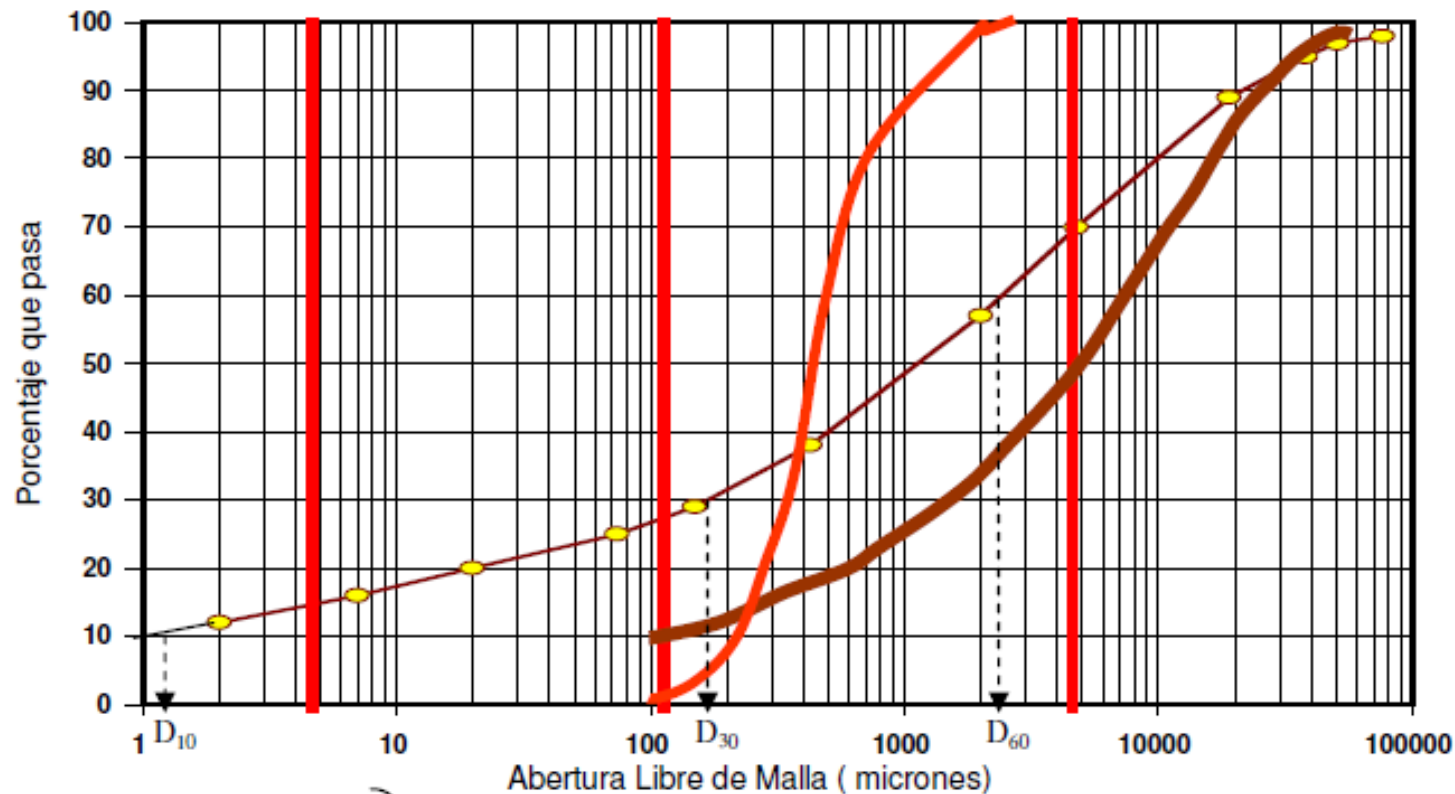


# CLASIFICACION ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

$C_u = D_{60}/D_{10}$  Coeficiente de uniformidad

$C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \cdot D_{60})$  Coeficiente de curvatura

CURVA GRANULOMETRICA



Suelos granulares  
bien graduados

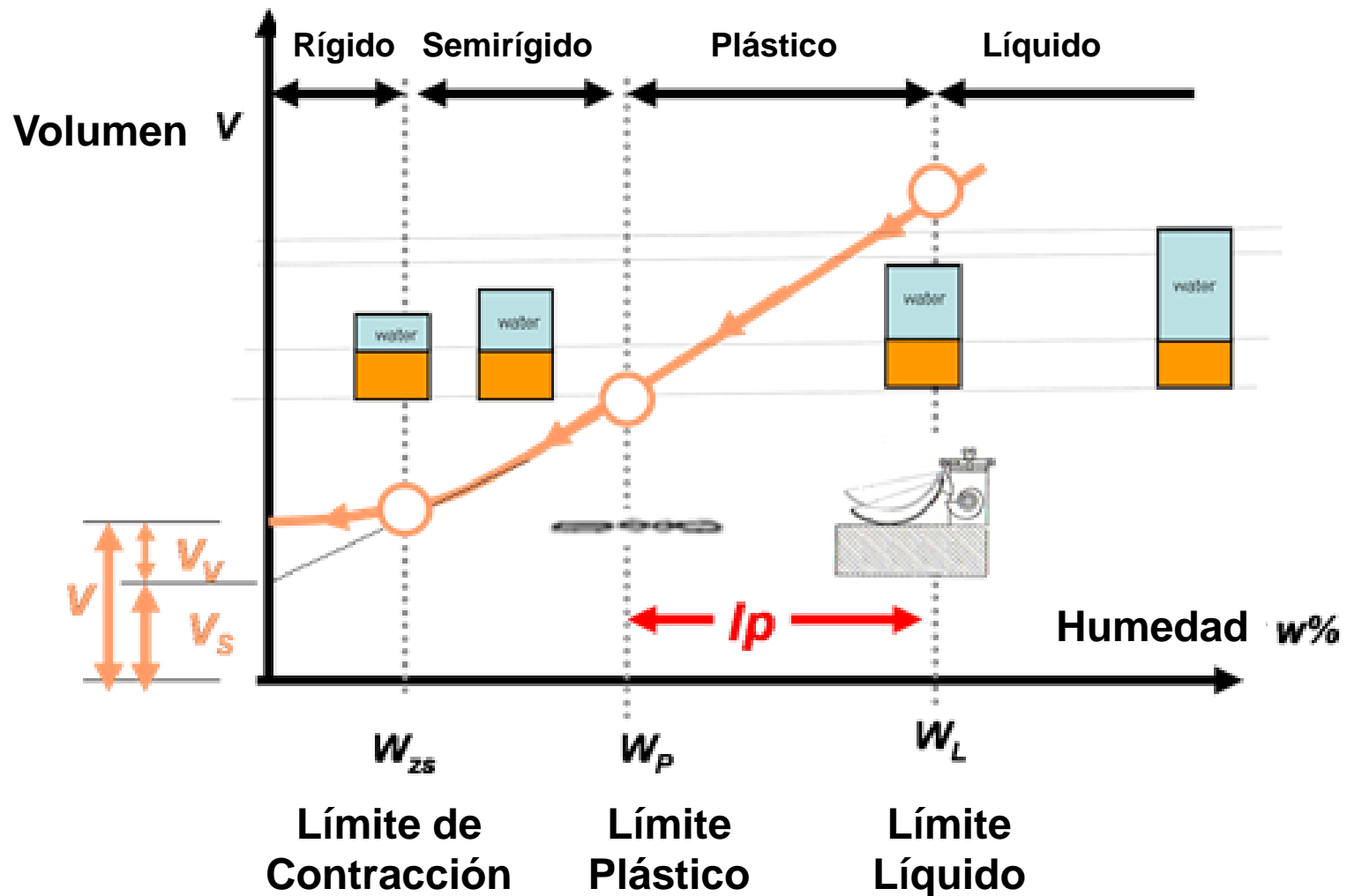
$1 < C_c < 3$

$C_u > 4$  Gravas

$C_u > 6$  Arenas

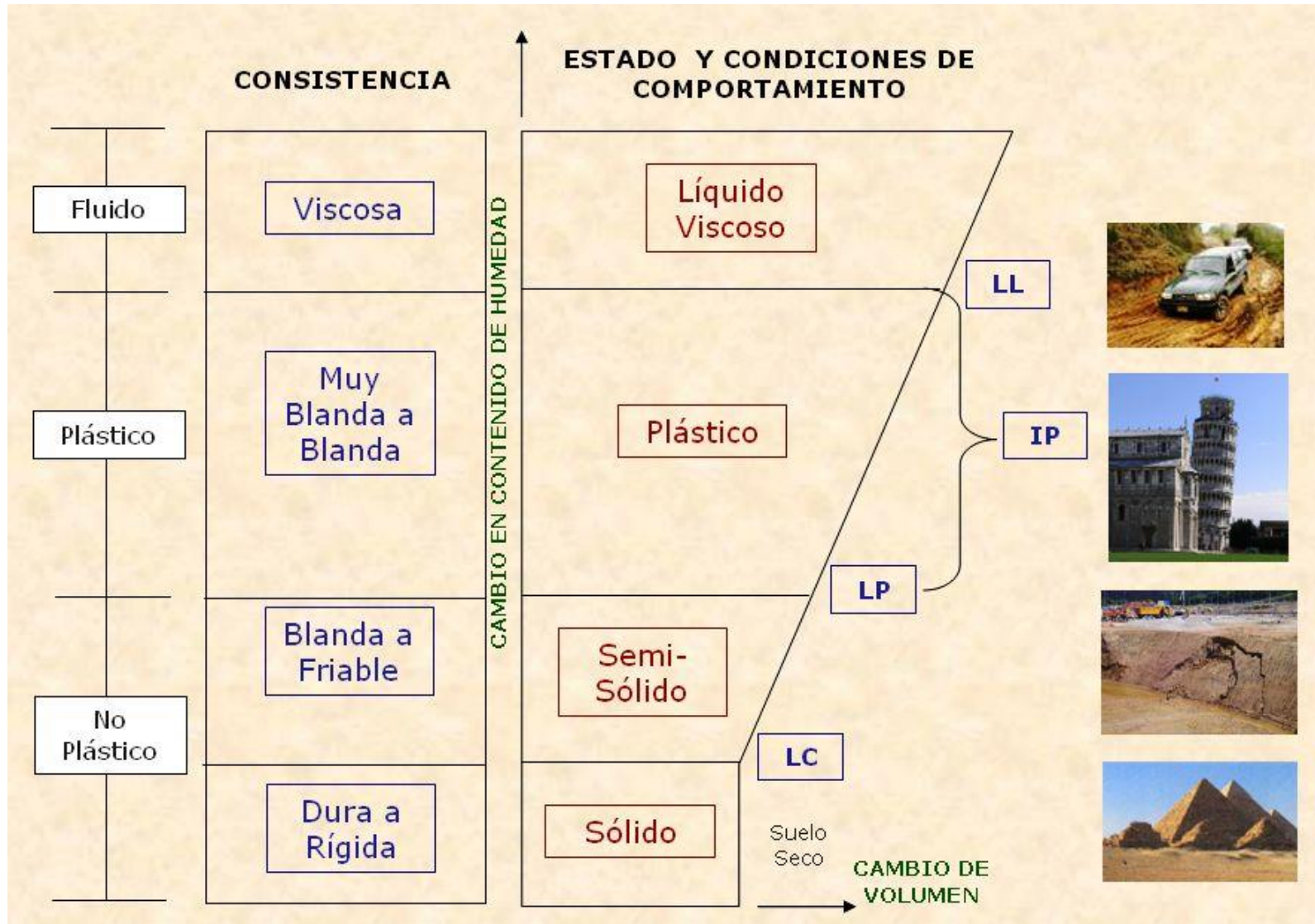


# CLASIFICACION TRATAMIENTO DE SUELOS FINOS ESTADOS SEGÚN HUMEDAD





# CLASIFICACION TRATAMIENTO DE SUELOS FINOS ESTADOS SEGÚN HUMEDAD





# CLASIFICACION TRATAMIENTO DE SUELOS FINOS

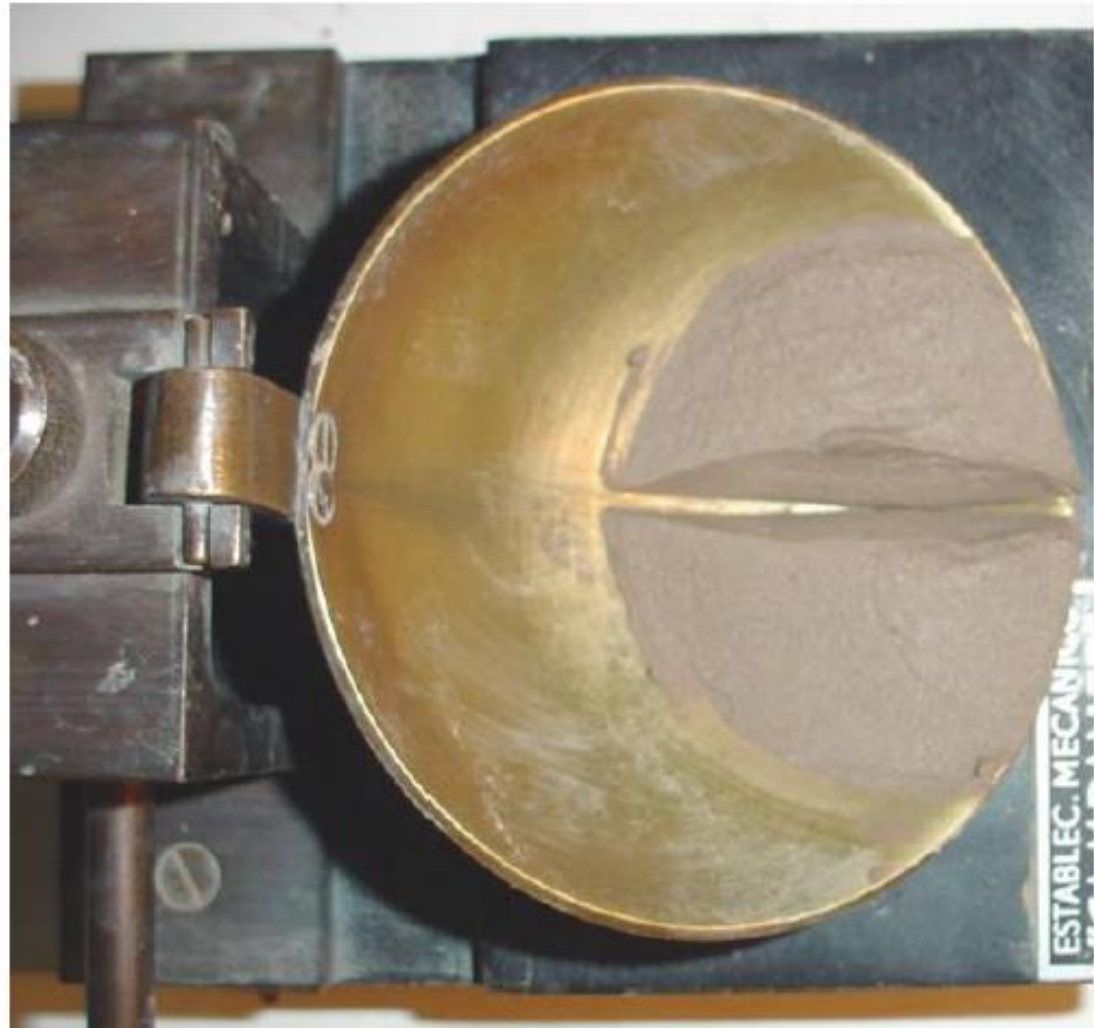
## ENSAYOS: Límite Líquido

Si luego de efectuar 25 golpes del cascador, el suelo se junta en una longitud de  $\frac{1}{2}$ ". La humedad del suelo correspondiente al límite líquido

**Nota:** La muestra nunca debe deslizarse sobre la cápsula del cascador, siempre debe fluir desde los costados del corte efectuado con el acanalador.

Si la muestra se desliza sobre la cápsula debe clasificarse como:

**No Plástica**





# CLASIFICACION TRATAMIENTO DE SUELOS FINOS

## ENSAYOS: Límite Plástico

Se amasa el suelo con una humedad baja conformando cilindros de 3 mm de diámetro, sobre una superficie lisa no absorbente, hasta que los mismos se fisuren transversalmente

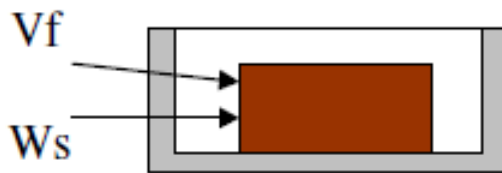






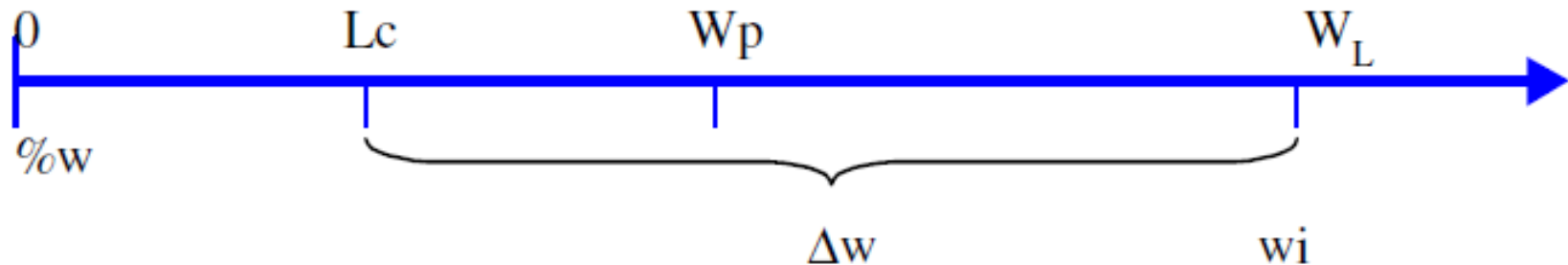
# CLASIFICACION TRATAMIENTO DE SUELOS FINOS

Límite de Contracción =  $L_c = w_i - \Delta w$



**ENSAYOS:**  
**Límite de**  
**Contracción**

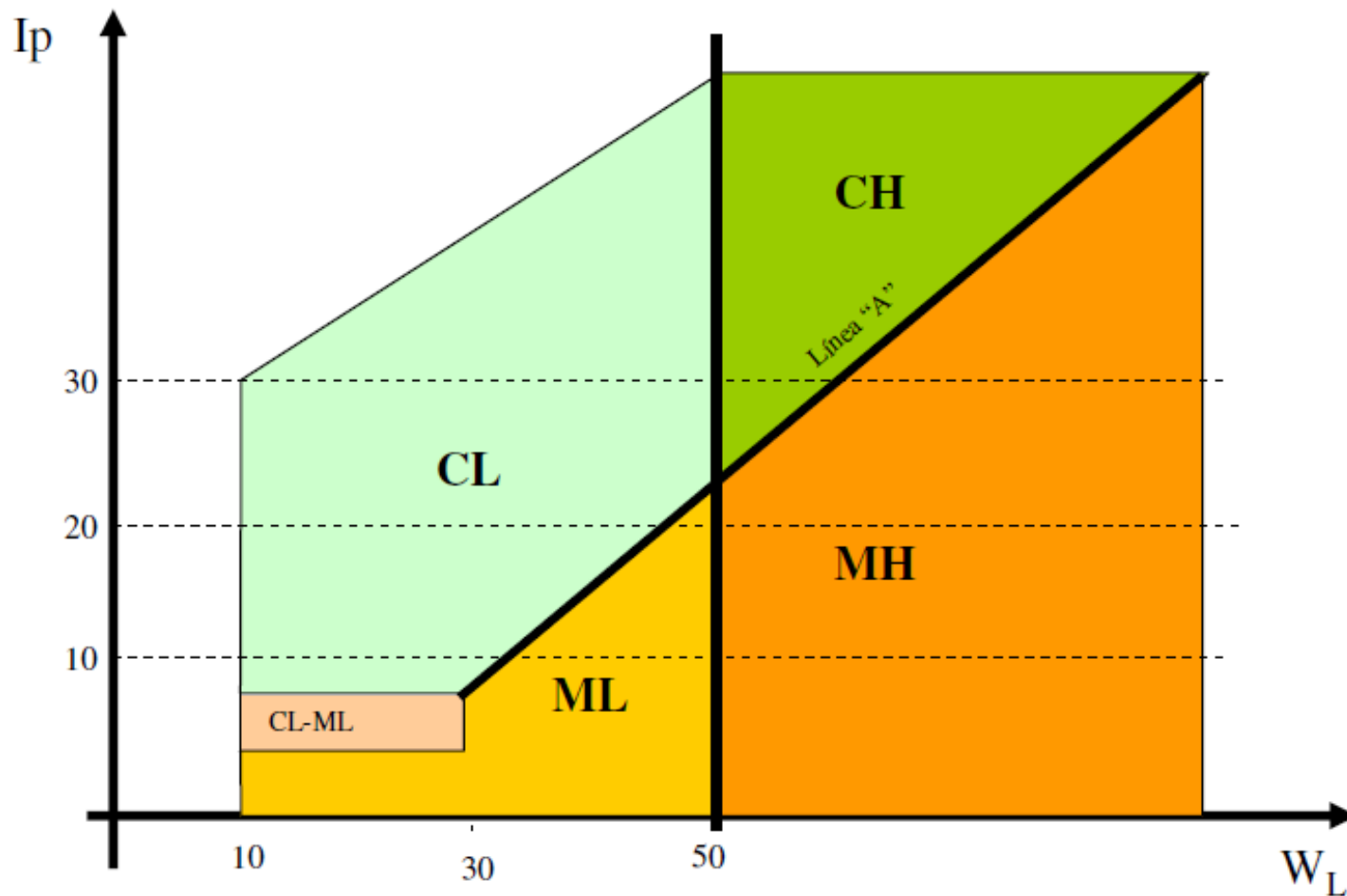
$$L_c = \underbrace{\frac{W_h - W_s}{W_s - Tara} \cdot 100}_{w_i} - \underbrace{\frac{V_i - V_f}{W_s - Tara} \cdot \gamma_w \cdot 100}_{\Delta w}$$





# CLASIFICACION TRATAMIENTO DE SUELOS FINOS

## Carta de clasificación de Suelos Finos (SUC)





# CLASIFICACION

## DIVISION GRUESO - FINOS

**Suelos gruesos**  
(Pasa # 200 < 50%)

Gravas más del 50 % de la fracción gruesa es retenida en el # N° 4 (Pasa # 4 < 50%)



(Fracción gruesa: Es la retenida en el # N° 200)

Arenas más del 50 % de la fracción gruesa pasa el # N° 4 (Pasa # 4 > 50%)



**Suelos finos**  
(Pasa # 200 > 50%)

Arcillas y limos  
con  $W_L > 50 \%$



Arriba de la línea A: “CH”  
Debajo de la línea A: “MH”

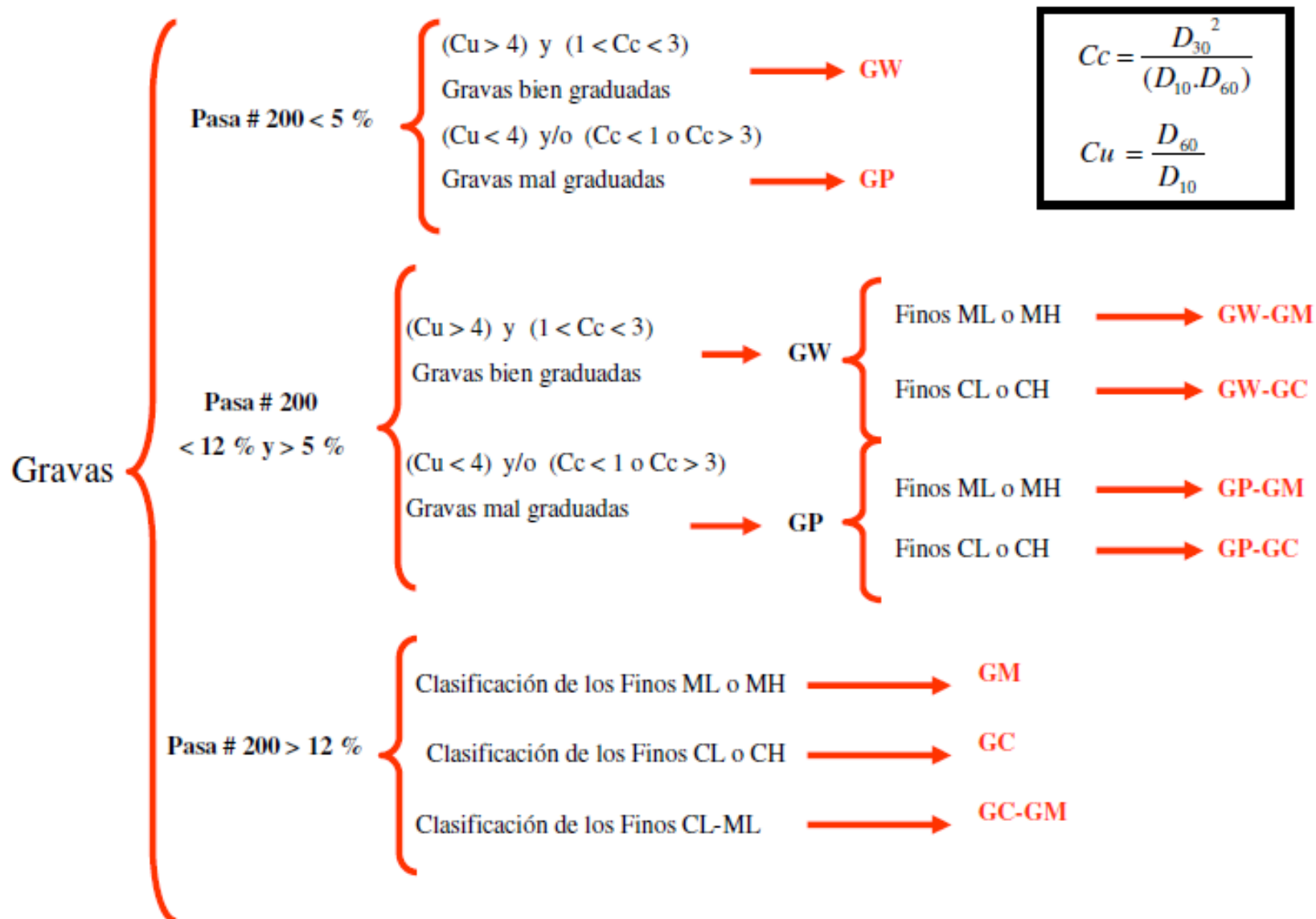
Arcillas y limos  
con  $W_L < 50 \%$



Arriba de la línea A: “CL”  
Debajo de la línea A: “ML” o  
“CL-ML”

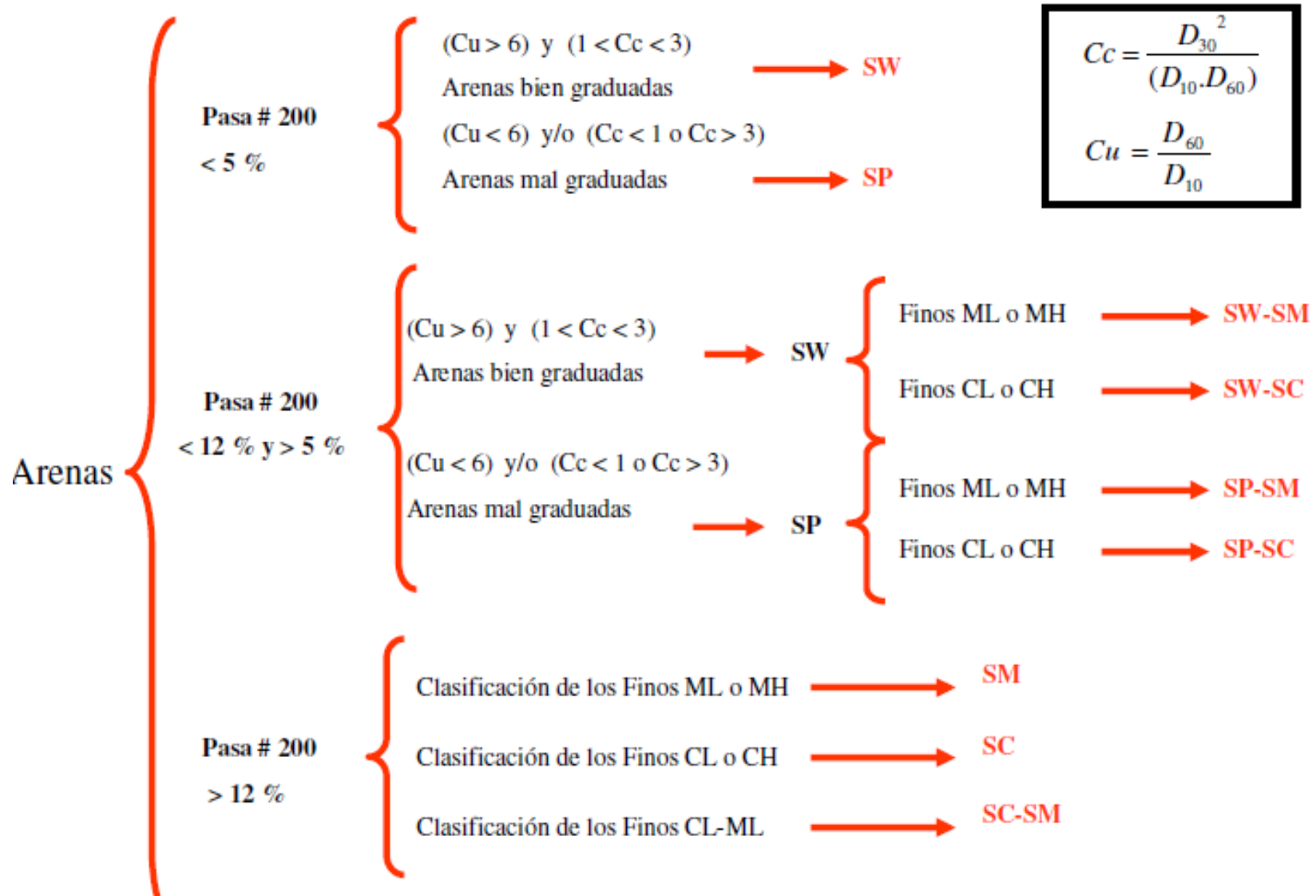


# CLASIFICACION SUBDIVISION GRAVAS





# CLASIFICACION SUBDIVISION ARENAS





# Clasificación de los suelos gruesos y finos

## Suelos gruesos

(Pasa # 200 < 50%)

**Gravas** más del 50 % de la fracción gruesa es retenida en el # N° 4 (Pasa # 4 < 50%)



(Fracción gruesa: Es la retenida en el # N° 200)

**Arenas** más del 50 % de la fracción gruesa pasa el # N° 4 (Pasa # 4 > 50%)



## Suelos finos

(Pasa # 200 > 50%)

Arcillas y limos  
con  $W_L > 50 \%$



Arriba de la línea A: “CH”

Debajo de la línea A: “MH”

Arcillas y limos  
con  $W_L < 50 \%$



Arriba de la línea A: “CL”

Debajo de la línea A: “ML” o  
“CL-ML”



# **EJERCICIOS DE EJEMPLO**

**PROPIEDADES  
GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS**



## **Ejercicio 1**

**El terraplén de un camino se construye con un relleno de arcilla compactada a un peso unitario húmedo de  $1,78 \text{ t/m}^3$ , y un contenido de humedad del  $15,0\%$ . La gravedad específica del suelo es igual a  $2,71$ .**

**Se pide calcular:**

- a. Peso unitario seco**
- b. Relación de vacíos**
- c. Porosidad**
- d. Grado de saturación**
- e. Humedad de saturación**





a. A partir del peso unitario húmedo y la humedad tenemos:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{\left(1 + \frac{w}{100}\right)} = \frac{1,78 \frac{tn}{m^3}}{\left(1 + \frac{15\%}{100}\right)} = 1,55 \frac{tn}{m^3}$$

b. De la definición de relación de vacíos: 
$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_T - V_s}{V_s} = \frac{V_T}{V_s} - 1$$

De la definición de gravedad específica y peso unitario seco:

$$G_s = \frac{W_s}{V_s \gamma_w} \quad \gamma_d = \frac{W_s}{V_T} \quad \Rightarrow \quad e = \frac{W_s}{\gamma_d} \frac{G_s \gamma_w}{W_s} - 1 = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1$$

$$e = \frac{2,71 \times 1,00 \frac{tn}{m^3}}{1,55 \frac{tn}{m^3}} - 1 = 0,75$$

c. De la definición de porosidad:

$$n = \frac{V_v}{V_T} \quad \Rightarrow \quad n = \frac{e}{e + 1} \quad n = \frac{0,75}{0,75 + 1} = 0,43$$



d. De la definición de grado de saturación:

$$S = \frac{V_w}{V_v} \quad G_s = \frac{W_s}{V_s \gamma_w} \quad e = \frac{V_v}{V_s} \quad \gamma_w = \frac{W_w}{V_w}$$

$$S = \frac{W_w}{\gamma_w} \frac{1}{e V_s} = \frac{W_w}{\gamma_w} \frac{1}{e} \frac{G_s \gamma_w}{W_s} = \frac{w G_s}{e}$$

$$S = \frac{15\% \times 2,71}{0,75} = 54,2 \%$$

e. De la definición de humedad de saturación:

$$w_{sat} = \frac{W_{wsat}}{W_d} \times 100 = \frac{V_v \gamma_w}{W_d} \times 100 = \frac{(V_T - V_s)}{W_d} \gamma_w \times 100 = \left( \frac{V_T \gamma_w}{W_d} - \frac{V_s \gamma_w}{W_d} \right) \times 100$$

$$w_{sat} = \left( \frac{\gamma_w}{\gamma_d} - \frac{1}{G_s} \right) \times 100$$

$$w_{sat} = \left( \frac{\gamma_w}{\gamma_d} - \frac{1}{G_s} \right) \times 100 = \left( \frac{1,00 \frac{tn}{m^3}}{1,55 \frac{tn}{m^3}} - \frac{1}{2,71} \right) \times 100 = 28 \%$$



Información Complementaria de Interés:

## Videos

Límites Líquido y Plástico

<https://www.youtube.com/watch?v=5LpgVMrovBE>

Clasificación de Suelos

<https://www.youtube.com/watch?v=1tgYT7nG3N0>