



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SECCIÓN DE POST GRADO

INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS BÁSICOS

Dr. Ing. Jorge E. Alva Hurtado

INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS BÁSICOS

INTRODUCCIÓN

ESFUERZO EFECTIVO

Definición

Naturaleza del Esfuerzo Efectivo

El Principio de Esfuerzos Efectivos en Suelos Secos o Saturados

El Principio de Esfuerzos Efectivos en Suelos Parcialmente Saturados

Cálculo del Esfuerzo Efectivo

Introducción

- La Mecánica de Suelos es una Ciencia y la Ingeniería de Cimentaciones es un Arte.
- Atributos para practicar con éxito la Ingeniería de Cimentaciones
 - a) Conocimiento de antecedentes
 - b) Familiaridad con la Mecánica de Suelos
 - c) Conocimiento práctico de la Geología
- Según Peck, el atributo más importante es el conocimiento de antecedentes. La experiencia debe buscarse y seleccionarse.

Introducción

- La Mecánica de Suelos hace posible que la experiencia se pueda organizar y aplicar a nuevos problemas; sin embargo, no es sustituto de la experiencia.
- La Geología permite evaluar las discrepancias de las hipótesis simplificadoras y la realidad. Se necesita la Geología para planificar un programa de exploración de campo.
- En el curso nos limitaremos a la familiaridad con la Mecánica de Suelos.

Esfuerzo Efectivo

Definición

Es la diferencia entre el esfuerzo total en una dirección y la presión de poros en los vacíos del suelo.

Naturaleza del Esfuerzo Efectivo

El suelo es una estructura de esqueleto de partículas sólidas en contacto, formando vacíos intercomunicados. Los vacíos están total o parcialmente llenos de agua.

El comportamiento del suelo depende de la interacción entre la estructura del suelo y el fluido. El comportamiento está referido a la compresibilidad y resistencia cortante.

$$\bar{\sigma} = \sigma - u$$

La naturaleza física puede entenderse intuitivamente de la Fig. 1.

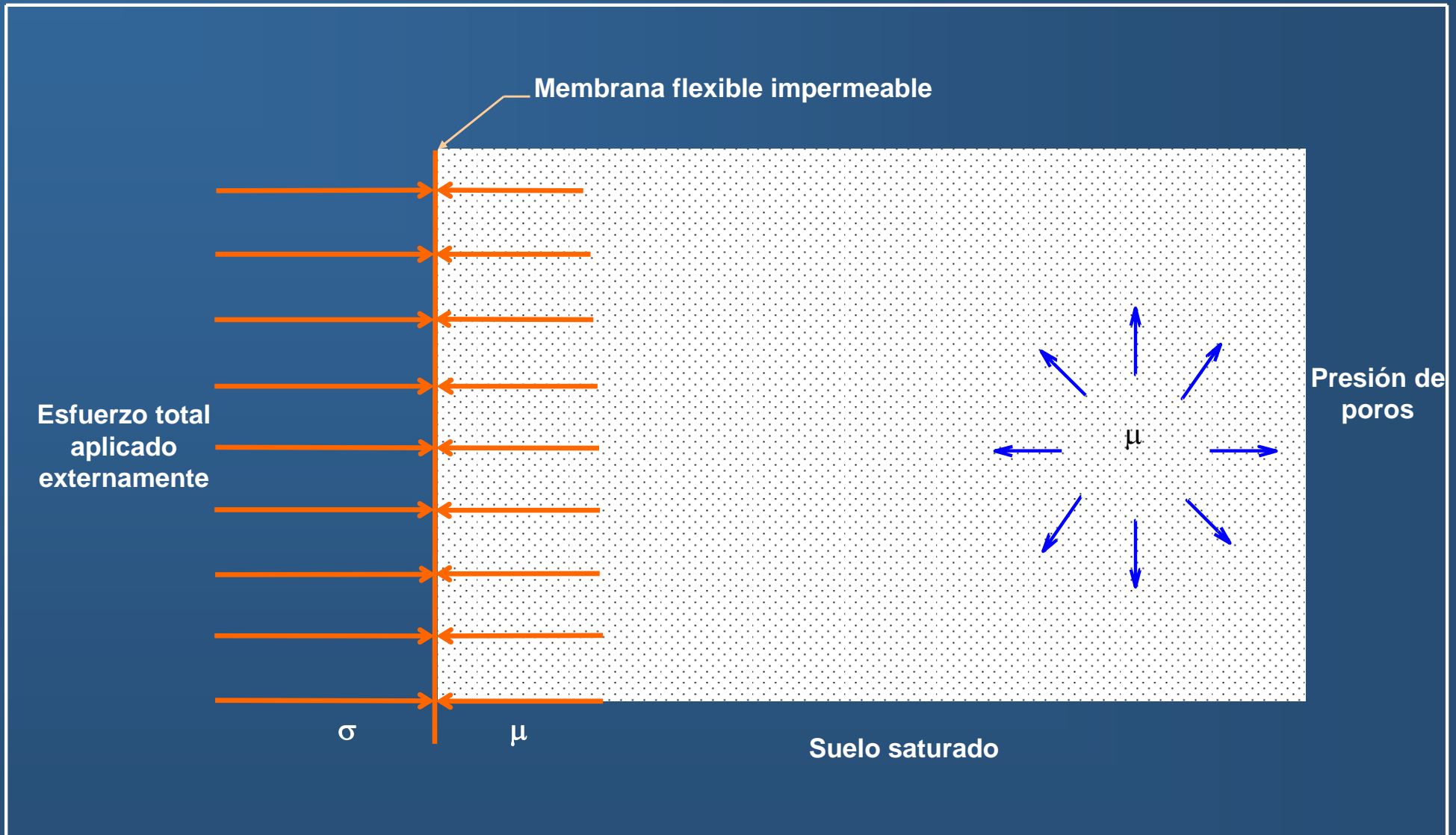


Fig. 1 : Modelo intuitivo del suelo demostrando la naturaleza del esfuerzo efectivo

El Principio de Esfuerzos Efectivos en Suelos Secos o Saturados

- a) El esfuerzo efectivo es igual al esfuerzo total menos la presión de poros.
- a) El esfuerzo efectivo controla ciertos aspectos del comportamiento del suelo, especialmente la compresibilidad y la resistencia.

Existen dos condiciones necesarias y suficientes

- 1) Las partículas del suelo son incompresibles
- 2) El esfuerzo de fluencia en la partícula sólida es independiente del esfuerzo de confinamiento.

$$\bar{\sigma} = \sigma - ku$$

$$k = \left[1 - \frac{a \operatorname{tg} \psi}{\operatorname{tg} \phi} \right]$$

Para resistencia cortante

$$k = \left[1 - \frac{C_s}{C} \right]$$

Para cambios volumétricos

a = área de contacto entre partículas por área unitaria

ψ = ángulo de fricción intrínscico de sólidos

ϕ = ángulo de fricción del material poroso

C_s = compresibilidad de la sustancia sólida

C = compresibilidad del material poroso

Para suelos secos y saturados $k = 1$

El Principio de Esfuerzos Efectivos en Suelos Parcialmente Saturados

En la Fig 2 se presentan los posibles estados del suelo, aire y agua:

$$\bar{\sigma} = \sigma - \left[\mu_a - \psi (\mu_a - \mu_w) \right]$$

$$\bar{\sigma} = \sigma - k_1 \mu_w - k_2 \mu_a$$

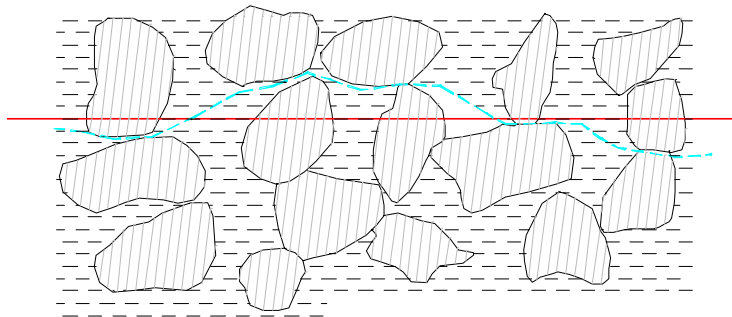
μ_w = presión de poros en el agua

μ_a = presión de poros en el aire

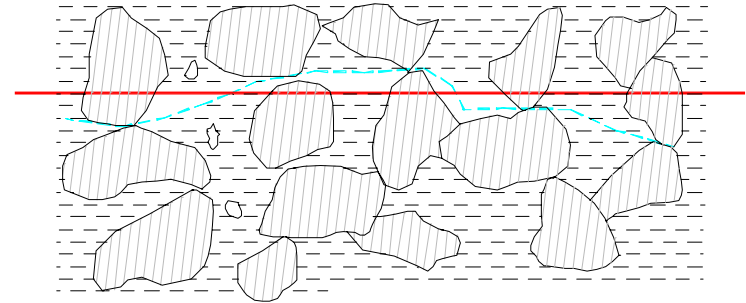
$$\bar{\sigma} = \sigma - \mu_a - \psi (\mu_a - \mu_w)$$

ψ = parámetro que depende del grado de saturación S_r y del ciclo humedecimiento-secado o cambio de esfuerzo del espécimen.

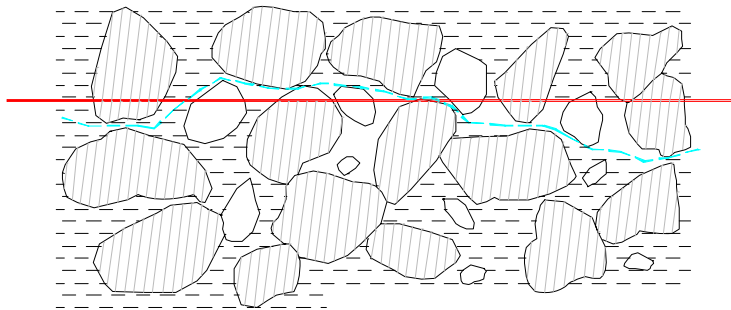
Los valores de ψ no son necesariamente los mismos para resistencia cortante y compresibilidad



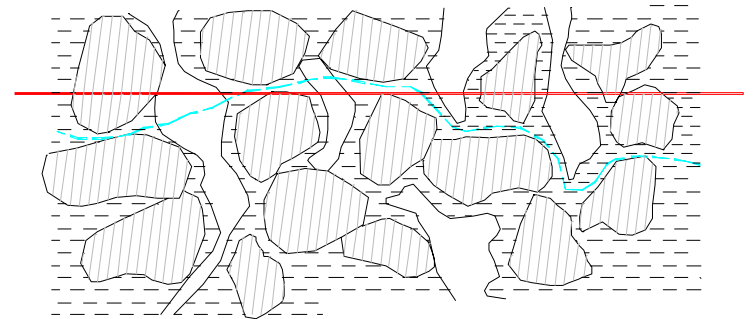
a) El fluido de poros es solo agua, presión positiva.



b) El fluido de poros es agua con burbujas de aire, presión positiva



c) El fluido de poros es agua con burbujas de agua, presión negativa



d) El fluido de poros es agua con burbujas de aire, y vacíos de aire conectados a la atmósfera, presión negativa

Fig. 2 : Estados del agua-aire en relación con el principio de esfuerzos efectivos
(Jennings,1961)

Cálculo del Esfuerzo Efectivo

Deben determinarse separadamente el esfuerzo total y la presión de poros.

Para una condición típica de terreno en reposo con nivel freático en superficie, el esfuerzo vertical es γD y la presión de poros $\gamma_w D$

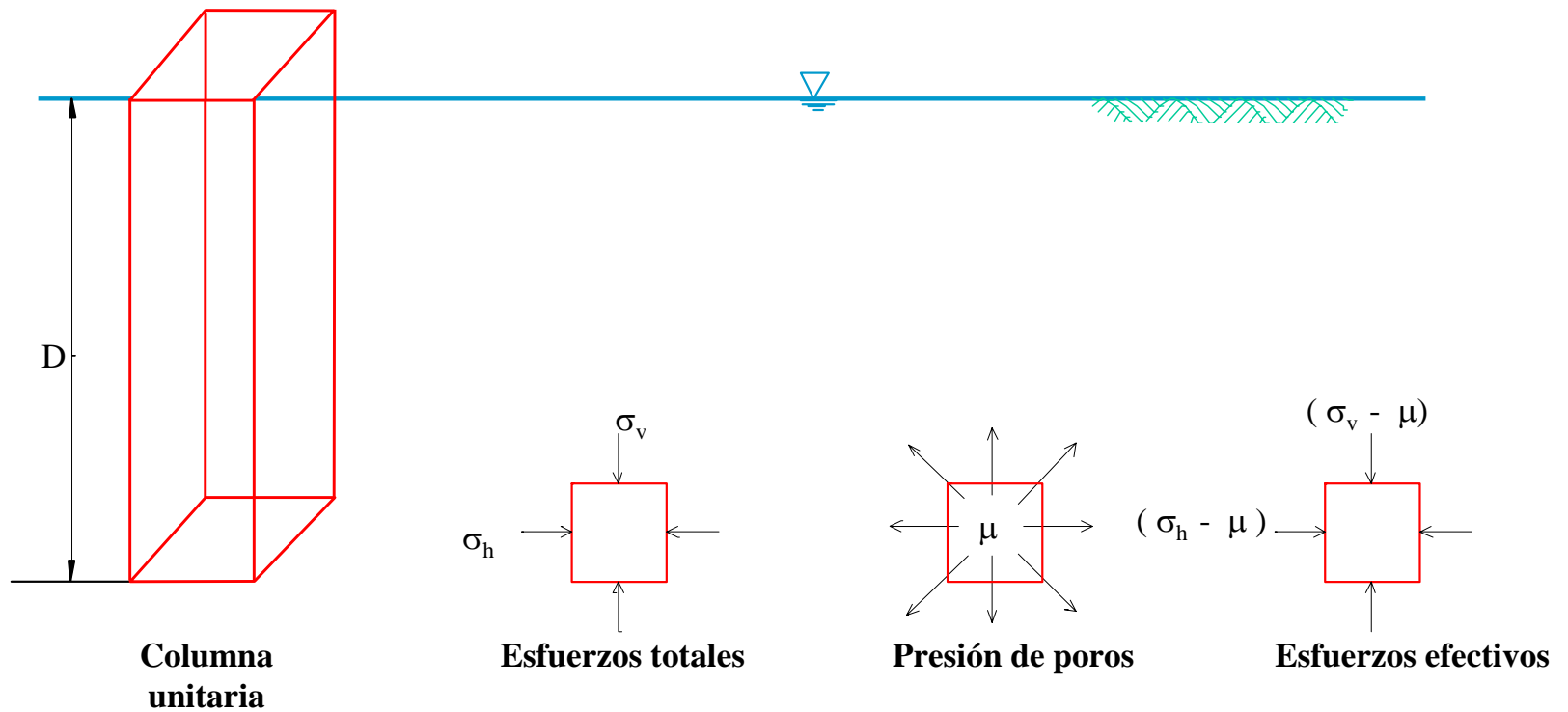


Fig. 3 : Esfuerzos “in situ” en reposo debido al peso del suelo

La carga súbita sobre un terreno arcilloso conlleva el aumento de la presión de poros. Con el tiempo este exceso de presión de poros se disipará.

En la Fig. 4 se muestra la variación de la carga piezométrica con el tiempo.

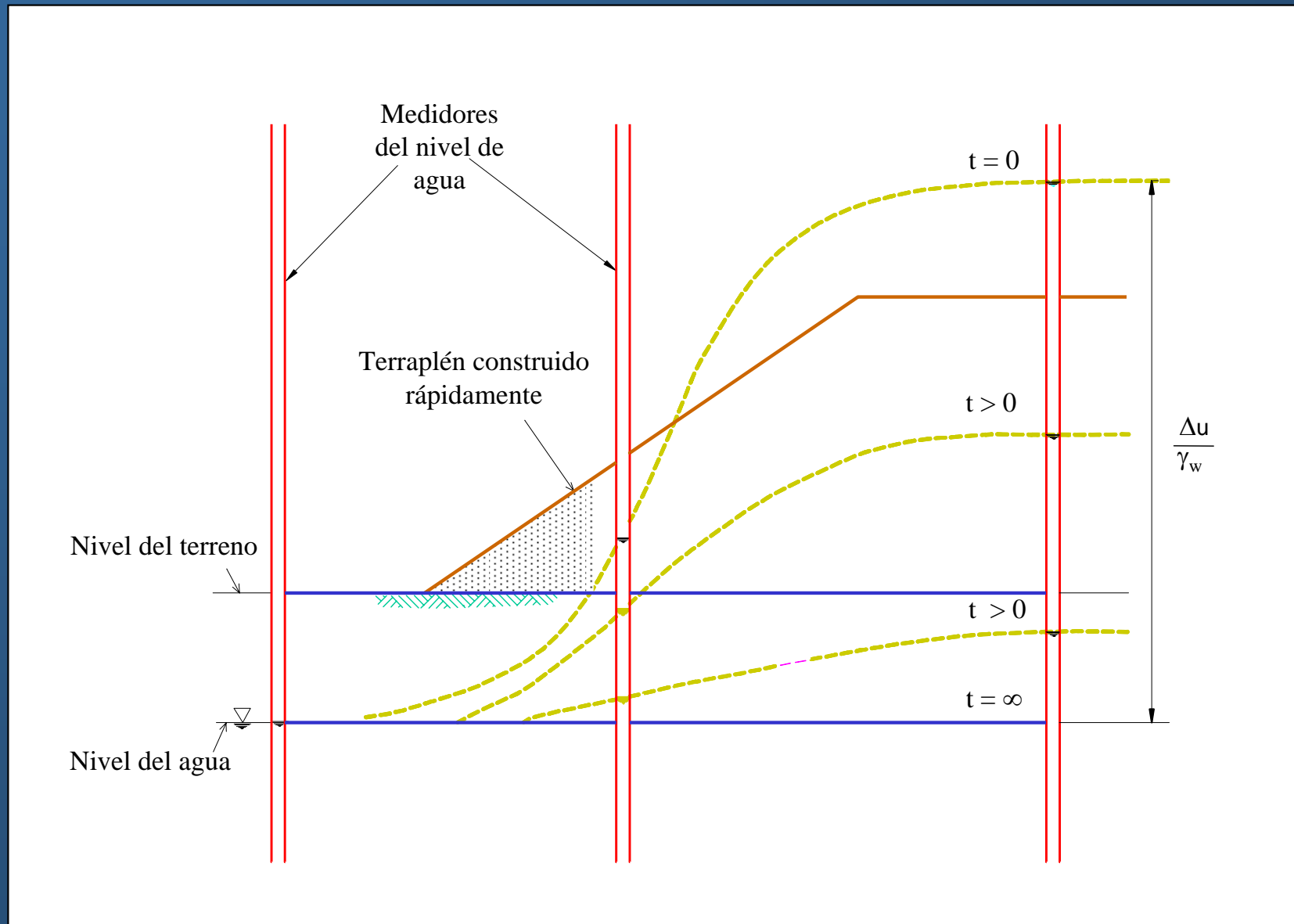


Fig. 4 : Variación de la presión de poros en una arcilla natural debido a carga rápida

En suelos sujetos a carga rápida existen efectos de la deformación del suelo a volumen constante, compresibilidad del fluido y la dependencia de las propiedades estructurales en el exceso de presión de poros

$$\Delta\mu = \Delta\mu_b + \Delta\mu_a$$

$$\Delta\mu_b = B \Delta\sigma_3$$

$$\Delta\mu_a = \bar{A} (\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)$$

$$\Delta\mu = B \Delta\sigma_3 + \bar{A} (\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)$$

En un ensayo triaxial se mide B en la etapa de incremento isotrópico de la presión de confinamiento y \bar{A} durante la aplicación de la carga axial.

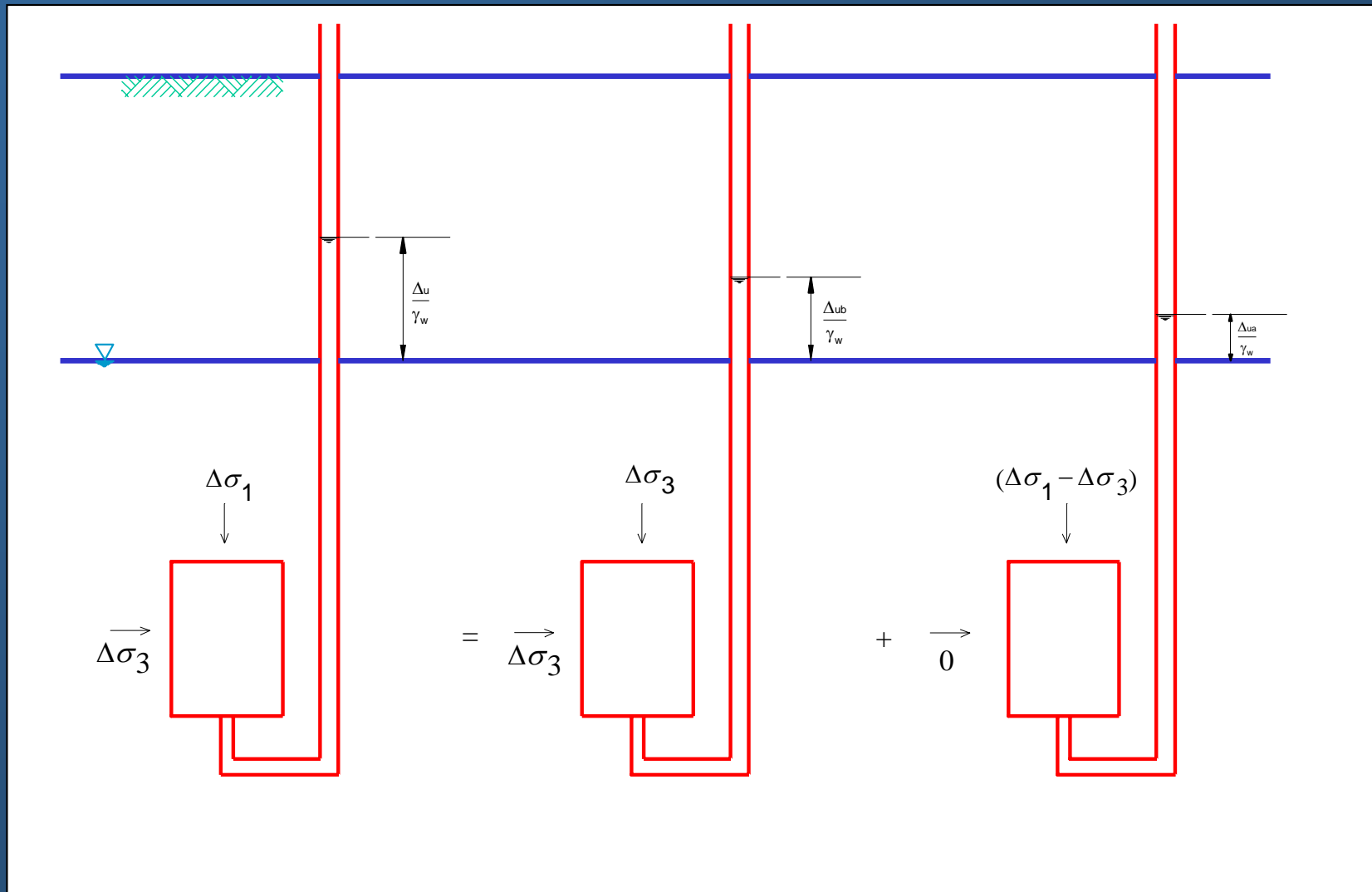


Fig. 5 : Componentes del exceso de presión de poros generado por un aumento de carga ($\Delta\sigma_1 > \Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_3$)

PROPIEDADES ÍNDICE Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Atributos de Propiedades Índice

- simple de expresarse, con valor numérico
- medirse rápidamente
- medición de bajo costo
- significativa
- reproducible

Suelos Granulares

Granulometría $D_{10}, C_u = D_{60} / D_{10}, C_c = D_{30}^2 / D_{60} D_{10}$

Densidad Relativa $D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$

Ensayo de Penetración Estándar SPT.

Compacidad Relativa de Arena

Valor de N (golpes/pie)	Compacidad Relativa
0-4	Muy Suelta
4-10	Suelta
10-30	Media
30-50	Compacta
> 50	Muy Compacta

Resistencia de la Arcilla

Valor de N (golpes/pie)	Resistencia Compresión No-confinada, q_u (Kg/cm ²)	Consistencia
< 2	< 0.25	Muy Blanda
2-4	0.25 – 0.50	Blanda
4-8	0.50 – 1.00	Media
8-15	1.00 – 2.00	Semidura
15-30	2.00 - 4.00	Dura
> 30	> 4.00	Rígida

Suelos Cohesivos

Límites de Atterberg

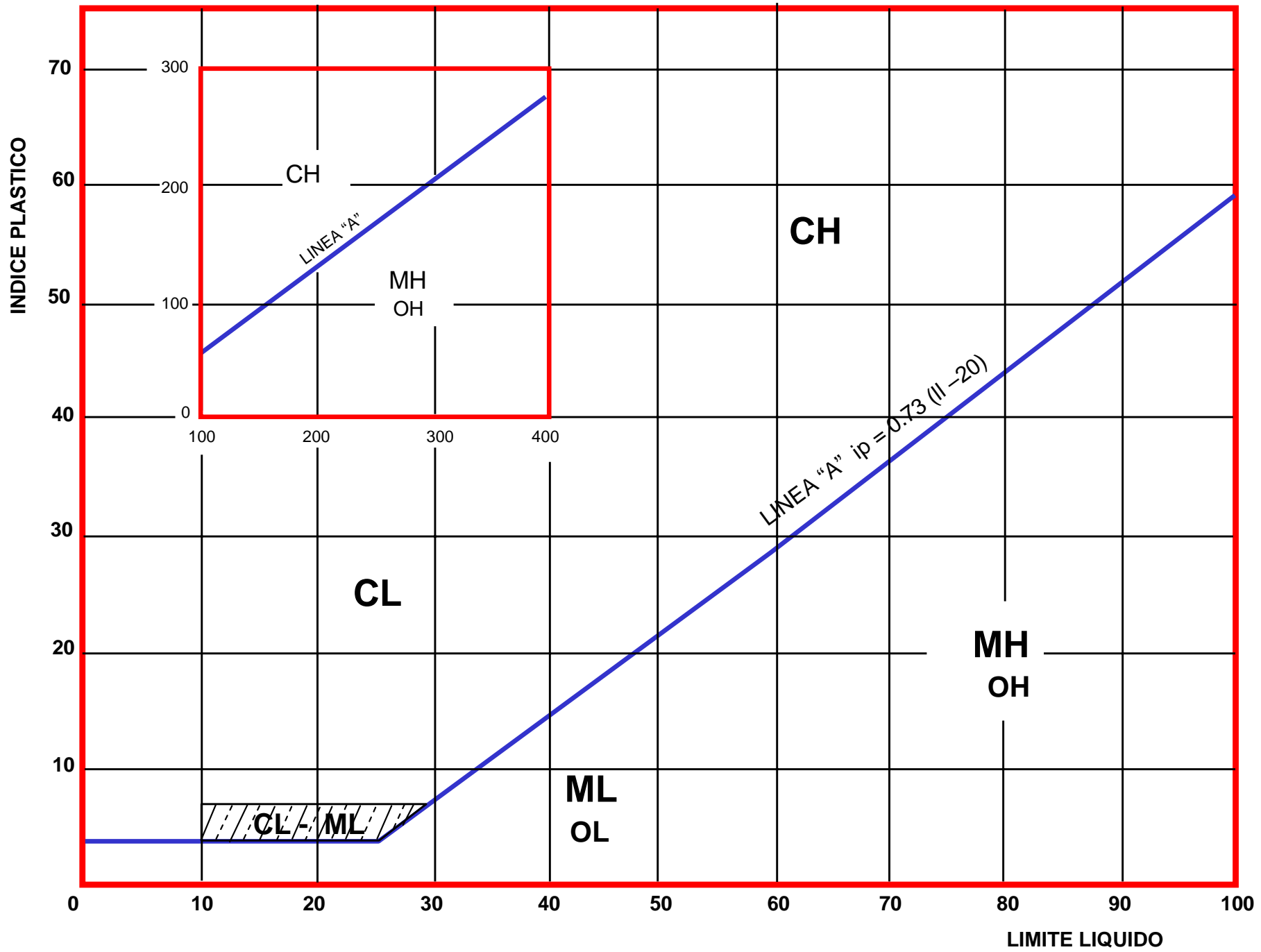
<u>Condición del suelo</u>	<u>Límite</u>	<u>Símbolo</u>
Líquido	Límite Líquido	LL
Plástico	Límite Plástico	LP
Semi-sólido	Límite de Contracción	LC
Sólido		

$$IP = LL - LP$$

$$IL = \frac{w - LP}{LL - LP}$$

Ensayo de Penetración Estándar SPT

Ensayo de Compresión No-Confinada



Carta de Plasticidad de Casagrande

Clasificación de Suelos

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS

Análisis Granulométrico

Carta de Plasticidad

MAT. GRUESO (+ 50% RET. N° 200)

GW	grava bien graduada	GRAVAS (+ 50% ret. N° 4)
GP	grava mal graduada	
GM	grava limosa	
GC	grava arcillosa	
SW	arena bien graduada	ARENAS (+ 50% pasa N° 4)
SP	arena mal graduada	
SM	arena limosa	
SC	arena arcillosa	

Clasificación de Suelos

Pasa N° 200

< 5%

GW, GP, SW, SP

GW $C_u > 4$ $C_c = 1-3$

> 12%

GM, GC, SM, SC

SW $C_u > 6$ $C_c = 1-3$

5-12%

Símbolo doble

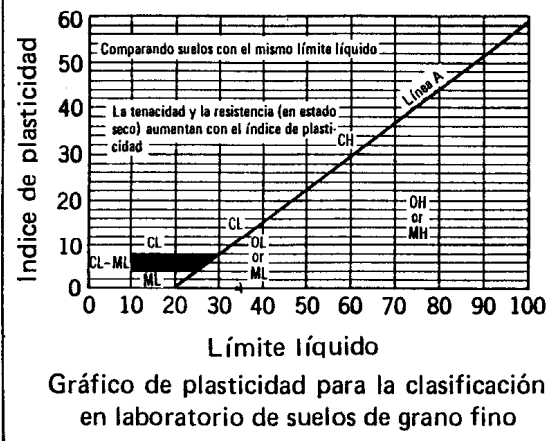
GM, GC carta de plasticidad
SM, SC

Material Fino (+ 50% pasa N° 200)

- ML limo inorgánico y arena muy fina, polvo de roca, arena fina limosa o arcillosa, baja plasticidad.
- CL arcilla de baja a media plasticidad, arcilla con grava, arenosa o limosa.
- OL limo orgánico y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.
- MH limo inorgánico, suelos limosos o arenosos finos micáceos o con diatomeas.
- CH arcilla inorgánica de alta plasticidad, arcilla grasa.
- OH arcilla orgánica de plasticidad media a alta.
- Pt turba y otros suelos altamente orgánicos.

Identificación en el campo (excluyendo las partículas mayores de 7.6 cm (3") y basando las fracciones en peso estimadas)		Símbolo del grupo*	Nombres típicos	Información necesaria para la descripción de los suelos	Criterios de clasificación en el laboratorio	
Suelos de grano grueso-Más de la mitad del material es retenido por el tamiz No. 200	Grava-Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz No. 40	Gravas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con pocos finos o sin ellos	$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \text{ Mayor de } 4$ $C_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \text{ Entre } 1 \text{ y } 3$ <p>No satisfacen todos los requisitos granulométricos de las GW</p> <p>Límites de Atterberg por debajo de la línea "A" o I_p menor de 4</p> <p>Límites de Atterberg por encima de la línea "A" con I_p mayor de 7</p> $C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \text{ Mayor de } 6$ $C_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \text{ Entre } 1 \text{ y } 3$ <p>No satisfacen todos los requisitos granulométricos de las SW</p> <p>Límites de Atterberg por debajo de la línea "A" o I_p menor de 4</p> <p>Límites de Atterberg por debajo de la línea "A" con I_p mayor de 7</p>
		Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)	Fracción fina no plástica (para la identificación ver el grupo ML más abajo)	GP	Gravas mal graduadas, mezclas de arena y grava con pocos finos o sin ellos	
	Arenas-Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz No. 40	Arenas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	GM	Gravas limosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y limo	
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	GC	Gravas arcillosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla	
		Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, con pocos finos o sin ellos	
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, con pocos finos o sin ellos	
Suelos altamente orgánicos	Limos y arcillas con finos (cantidad apreciable de finos)	Finos no plásticos (para identificación ver el grupo ML más abajo)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas		
		Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)	SC	Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas de arenas y arcillas		
Métodos de identificación para la fracción que pasa por el tamiz No. 40.						
Suelos de grano fino-Más de la mitad del material pasa por el tamiz No. 200 (La abertura del tamiz No. 200 corresponde aproximadamente al tamaño de la menor partícula apreciable a simple vista)	Limos y arcillas con finos (cantidad apreciable de finos)	Resistencia en estado seco (a la desagregación)	Dilatancia (reacción a la agitación)	Tenacidad (consistencia cerca del límite plástico)		
		Nula a ligera	Rápida a lenta	Nula	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad
		Media a alta	Nula a muy lenta	Media	CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras
		Ligera a media	Lenta	Ligera	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad
		Ligera a media	Lenta a nula	Ligera a media	MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos mucosos o con diatomeas, limos elásticos
		Alta a muy alta	Nula	Alta	CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad elevada, arcillas grasas
	Media a alta	Nula a muy lenta	Ligera a media	OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta	
Suelos altamente orgánicos	Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa			Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos	

Utilícese la curva granulométrica para identificar las fracciones de suelo indicadas en la columna de identificación en el campo



Según Wagner, 1957.
 *Casos límites. Los suelos que poseen características de dos grupos se designan con la combinación de los dos símbolos. Por ejemplo, GW-GC, mezcla bien graduada de arena y grava en una matriz arcillosa.
 *Todos los tamaños de tamices se refieren al U.S. Standard.

Métodos de identificación en el campo de suelos o fracciones finas

Estos procedimientos se realizan con las partículas que pasan por el tamiz No. 40 (aproximadamente 0.4 mm). A fines de clasificación en el campo no es necesario el tamiz, basta con eliminar a mano las partículas gruesas que estorban para la prueba.

Dilatancia (reacción a la agitación):
 Después de eliminar las partículas de tamaño superior al del tamiz No. 40, se prepara una pastilla de suelo húmedo de un volumen aproximado de 10 cm³; si es necesario añádate agua suficiente para dejar el suelo blando pero no pegajoso.
 Coloque la pastilla en la palma de la mano y agítela horizontalmente, golpeando vigorosamente varias veces contra la otra mano. Una reacción positiva consiste en la aparición de agua en la superficie de la pastilla, la cual adquiere una consistencia gelatinosa y de aspecto brillante. Cuando se aprieta con los dedos, el agua y el brillo desaparecen de la superficie, la pastilla se vuelve dura y por último se resquebraja o desmorona. La rapidez de aparición del agua en la agitación y de desaparición al apretarla sirven para identificar el carácter de los finos de un suelo.
 Las arenas limpias muy finas dan la reacción más rápida y clara mientras que una arcilla plástica no presenta reacción. Los limos inorgánicos, como un polvo de roca típico, muestran una reacción moderadamente rápida.

Resistencia en estado seco (a la desagregación)
 Después de eliminar las partículas que no pasan por el tamiz No. 40, se moldea una pastilla de suelo hasta alcanzar la consistencia de una masa, añadiendo agua si es necesario. Se deja secar completamente la pastilla en una estufa o expuesta al sol y al aire, probando después su resistencia rompiéndola y desmoronándola entre los dedos. Esta resistencia es una medida del carácter y proporción en la fracción coloidal que contiene el suelo. La resistencia (en estado seco) aumenta con la plasticidad.
 Una elevada resistencia (en estado seco) es característica de las arcillas del grupo CH. Un limo inorgánico típico posee una resistencia (en estado seco) muy ligera. Las arenas finas limosas y los limos tienen aproximadamente la misma resistencia (en estado seco) ligera pero pueden distinguirse por el tacto al pulverizar la muestra seca. La arena fina tiene tacto granular mientras que el limo típico da la sensación suave de la harina.

Tenacidad (consistencia cerca del límite plástico):
 Después de eliminar las partículas retenidas en el tamiz No. 40, se moldea una muestra de aproximadamente 10 cm³ hasta alcanzar la consistencia de masa. Si el suelo está muy seco debe agregarse agua, pero si está pegajoso debe extenderse formando una capa delgada que permita una cierta pérdida de humedad por evaporación. Posteriormente se enrolla con una superficie lisa o entre las palmas de las manos, formando un cilindro de aproximadamente 3 mm de diámetro, amasándolo y volviéndolo a enrollar varias veces. Con estas operaciones el contenido de humedad se reduce gradualmente y la muestra adquiere una consistencia dura, acaba perdiendo su plasticidad y se desmorona cuando se alcanza el límite plástico.
 Después de desmoronarse el cilindro se vuelven a agrupar los trozos, continuando el amasado ligeramente hasta que se vuelve a desmoronar.
 Cuanto más tenaz es el rollo cerca del límite plástico y cuanto más duros son los trozos al desmoronarse, más importante es la fracción arcillosa coloidal del suelo. La debilidad del rollo en el límite plástico y la rápida pérdida de coherencia de los trozos por debajo de dicho límite indican, bien una arcilla inorgánica de baja plasticidad o materiales como las arcillas del tipo caolín o las arcillas orgánicas que se encuentran por debajo de la "línea A".
 Las arcillas altamente orgánicas dan un tacto muy blando y esponjoso al llegar al límite plástico.

Tabla 3.5 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

Relaciones entre Fases del Suelo

En Volumen:

Porosidad:

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

Proporción de Vacíos

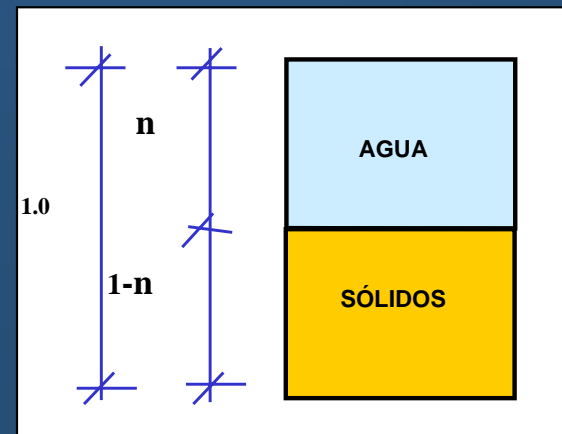
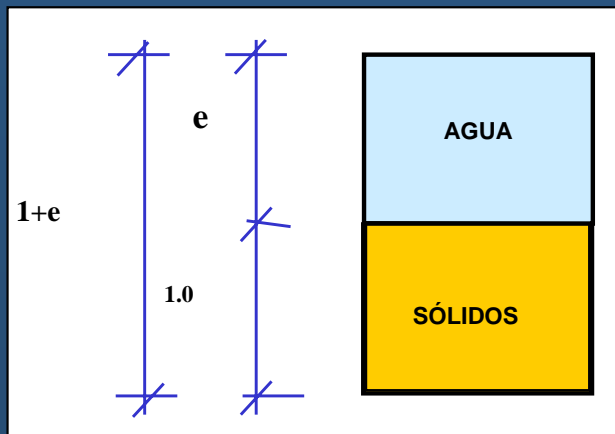
$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Grado de Saturación

$$S_r = \frac{V_w}{V_v}$$

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

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



En Peso:

Contenido de Humedad $w = \frac{W_w}{W_s}$

Peso Específico Relativo

Masa del Suelo $G_m = \frac{\gamma_t}{\gamma_o}$

Agua $G_m = \frac{\gamma_w}{\gamma_o}$

Partículas Sólidas $G = \frac{\gamma_s}{\gamma_o}$

$\gamma_o =$ Peso específico del agua a 4° C = γ_w

NOTA: $G_w = S_r e$

Peso Específico

Total

$$\gamma_t = \frac{W}{V} = \frac{G + S_r e}{1 + e} \gamma_w = \frac{1 + w}{1 + e} G \gamma_w$$

De las partículas sólidas

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

Del agua

$$\gamma_w = \frac{W_w}{V_w}$$

Seco

$$\gamma_d = \frac{W_s}{v} = \frac{G}{1 + e} \gamma_w = \frac{G \gamma_w}{1 + w G / S_r} = \frac{\gamma_t}{1 + w}$$

Suelo Sumergido

$$\gamma_b = \gamma_t - \gamma_w = \frac{G - 1 - e(1 - S_r)}{1 + e} \gamma_w$$

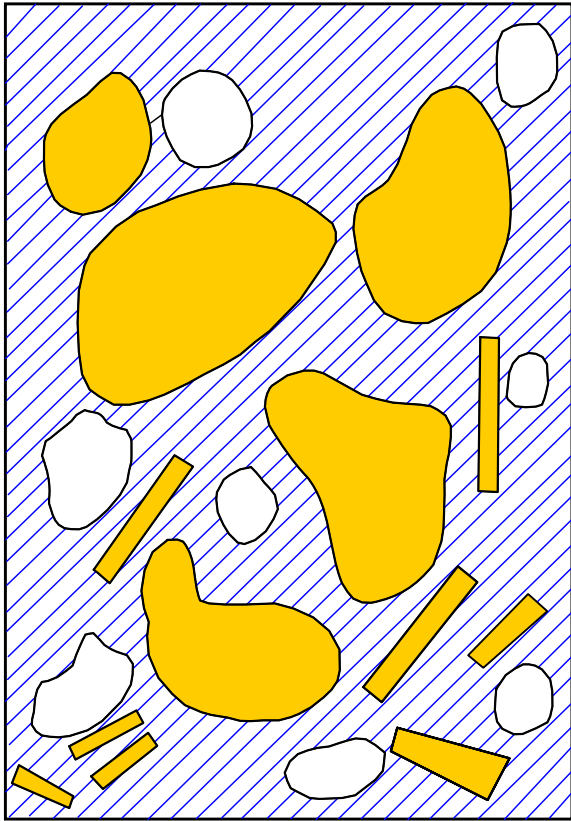
Suelo Sumergido Saturado

$$\gamma_b = \gamma_t - \gamma_w = \frac{G - 1}{1 + e} \gamma_w$$

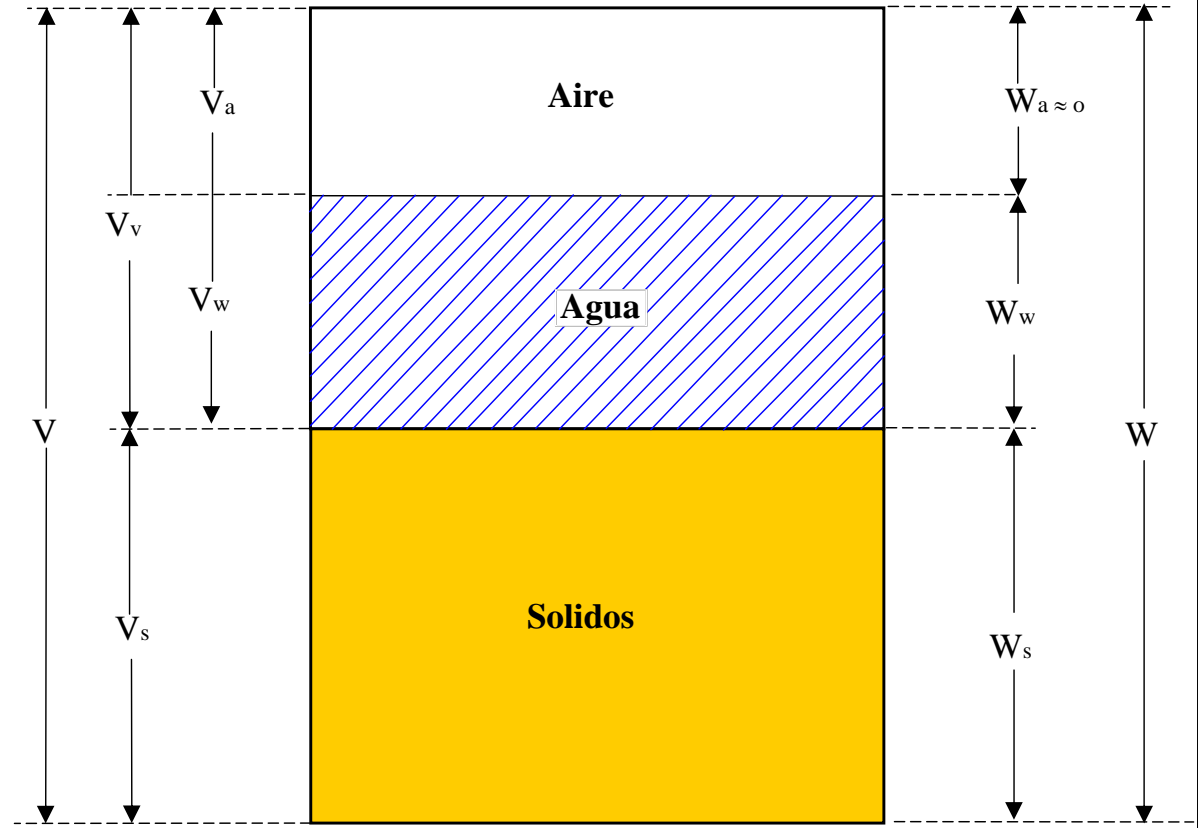
Pesos Específicos Relativos de Algunos Minerales

Cuarzo	2.65	Pirofilita	2.84
Feldespato –K	2.54-2.57	Serpentina	2.2-2.7
Feldespato – Na-Ca	2.62-2.76	Caolinita	2.61 a 2.64 ± 0.02
Calcita	2.72	Haloisita (2H ₂ O)	2.55
Dolomita	2.85	Ilita	2.84 a 2.60-2.86
Moscovita	2.7-3.1		
Biotita	2.8-3.2	Montmorilonita	2.74 a 2.75-2.78
Clorita	2.6-2.9	Atapulgita	2.30

(a) Calculado a partir de la Estructura Cristalina



(a)



Volúmenes

(b)

Pesos

a) Suelo Natural

b) División en Fases

Relaciones entre las Fases de un Suelo

Resistencia Cortante

Aparato de Corte Directo

Esfuerzos en un Punto – Circulo de Mohr

Ensayo de Corte Triaxial

No consolidado – No drenado

Consolidado – Drenado

Consolidado – No drenado

Resistencia Cortante de Arenas Secas

Resistencia Cortante de Arenas Saturadas

Resistencia Cortante de Arcillas Saturadas

Resistencia Cortante de Arcillas Parcialmente Saturadas

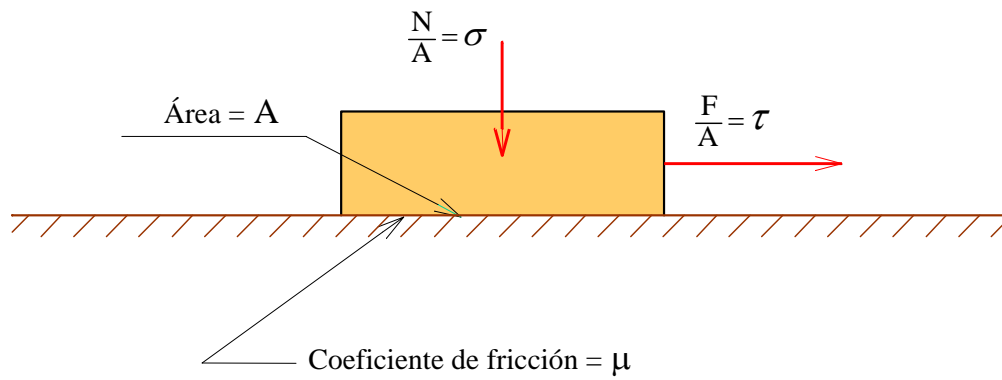


Fig. 1 : Bloque deslizando en un plano

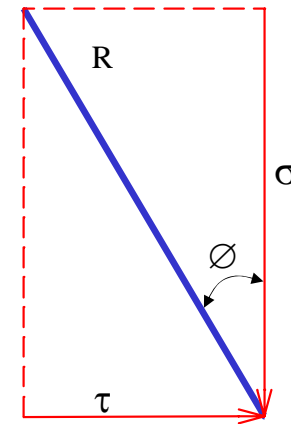


Fig. 2 : Oblicuidad del esfuerzo resultante

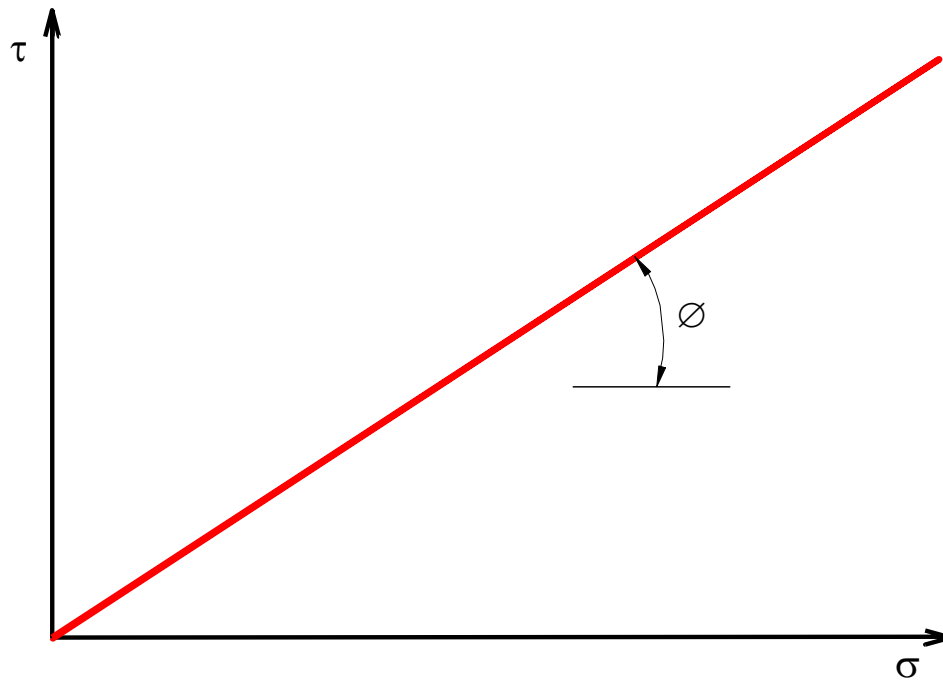


Fig. 3 : Diagrama de esfuerzo para un bloque deslizando en un plano

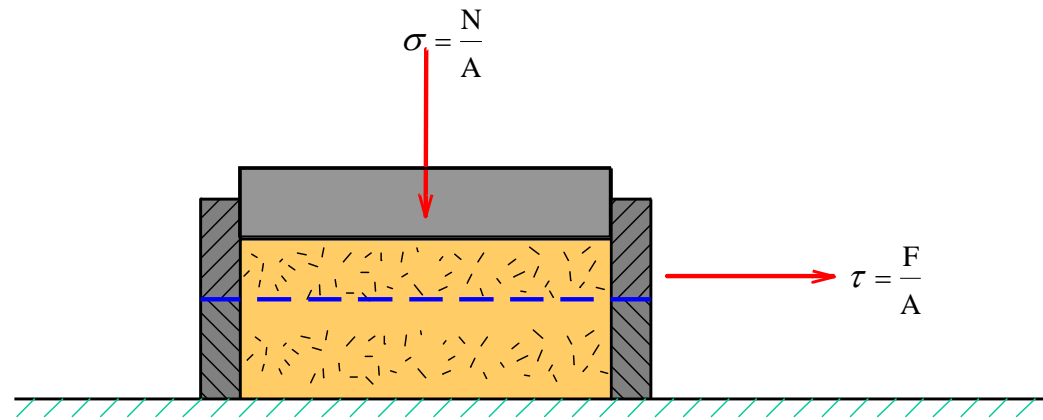


Fig. 4 : Aparato de corte directo

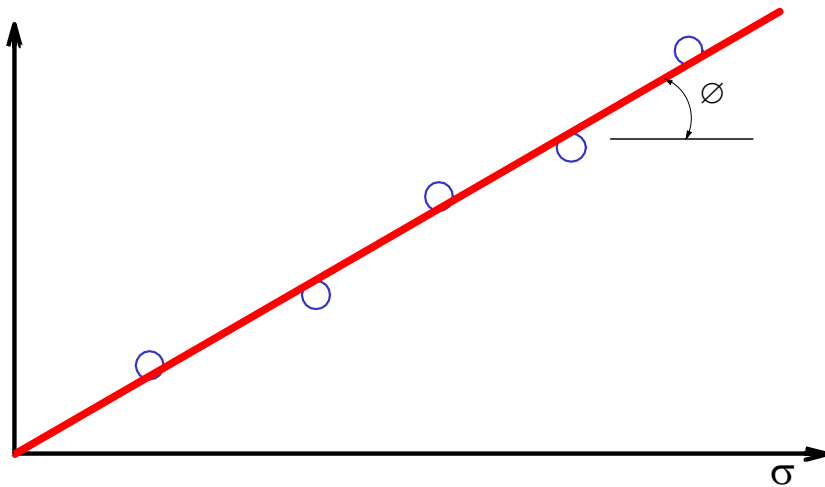


Fig. 5: Diagrama de falla para una arena seca ensayada en corte directo

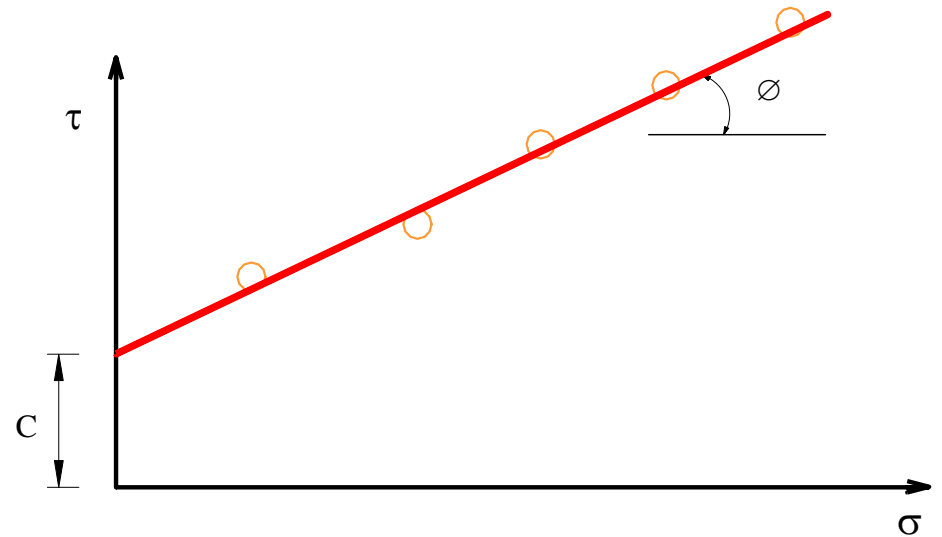


Fig. 6: Diagrama de falla para una arcilla dura ensayada en corte directo

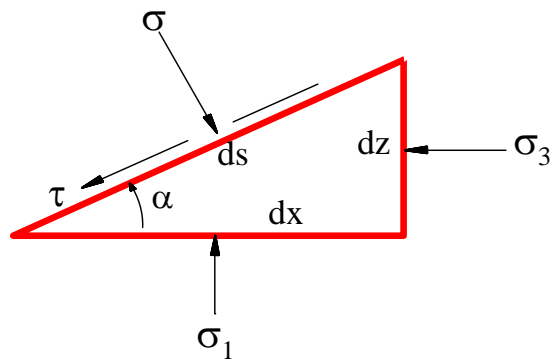


Fig. 7: Esfuerzos actuantes en un elemento diferencial de suelo

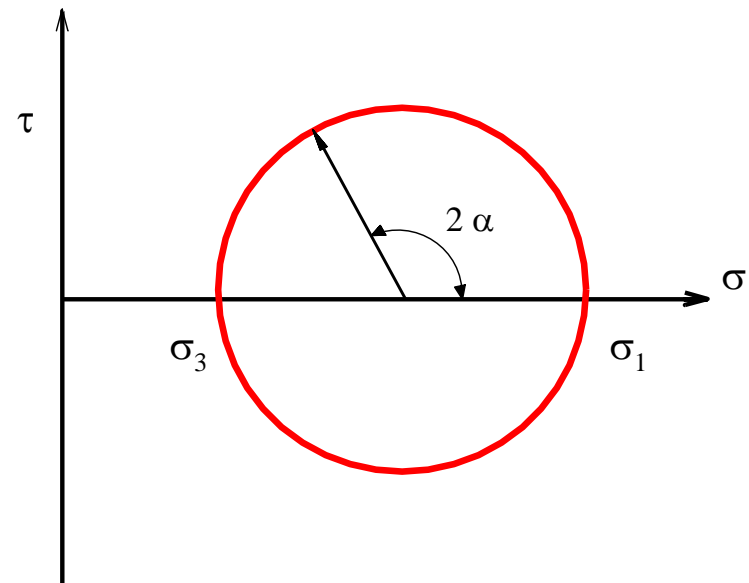


Fig. 8: Círculo de Mohr

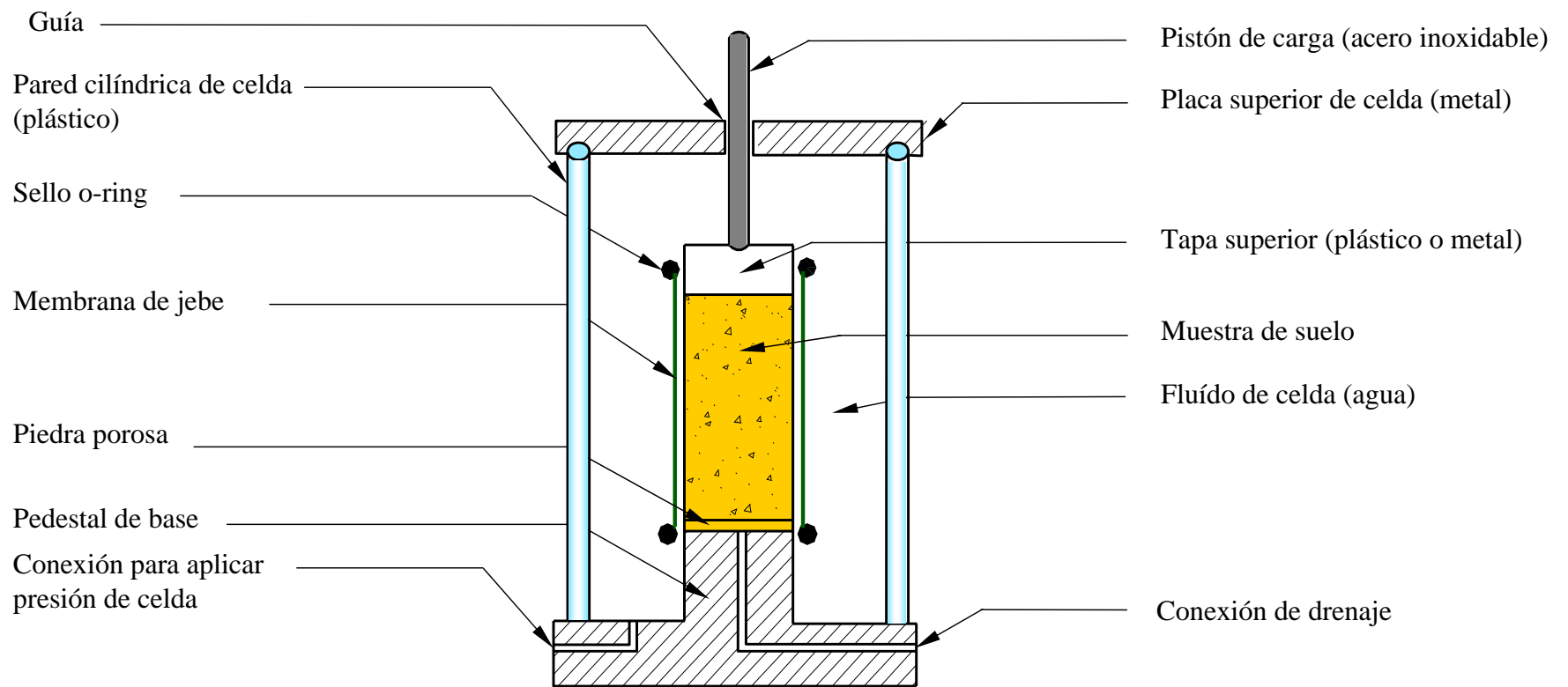


Fig. 9: Celda triaxial

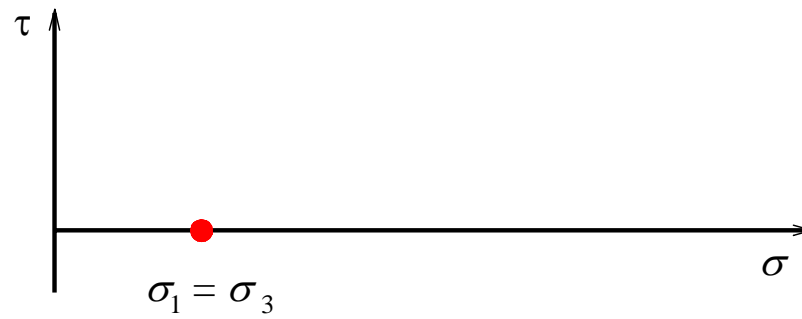


Fig. 10: Estado inicial de esfuerzo en el ensayo triaxial

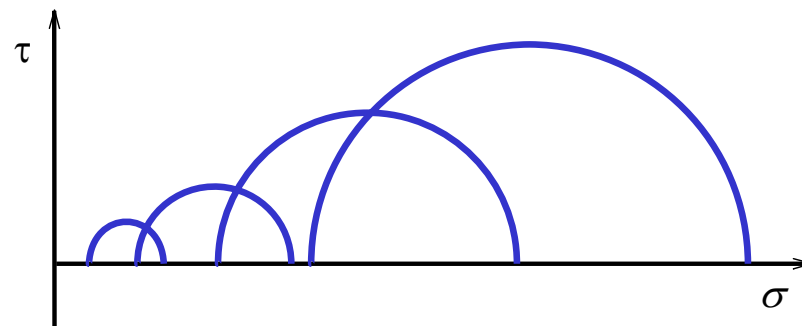


Fig. 11: Círculos de Mohr de esfuerzo en la falla

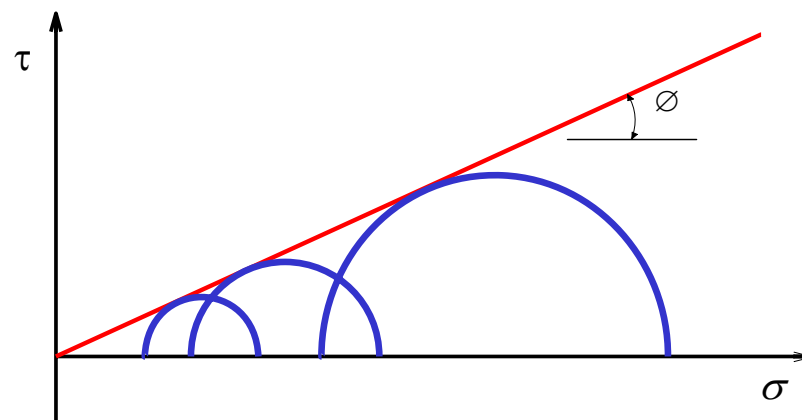


Fig. 12: Círculo de Mohr y envolvente de falla para arena seca

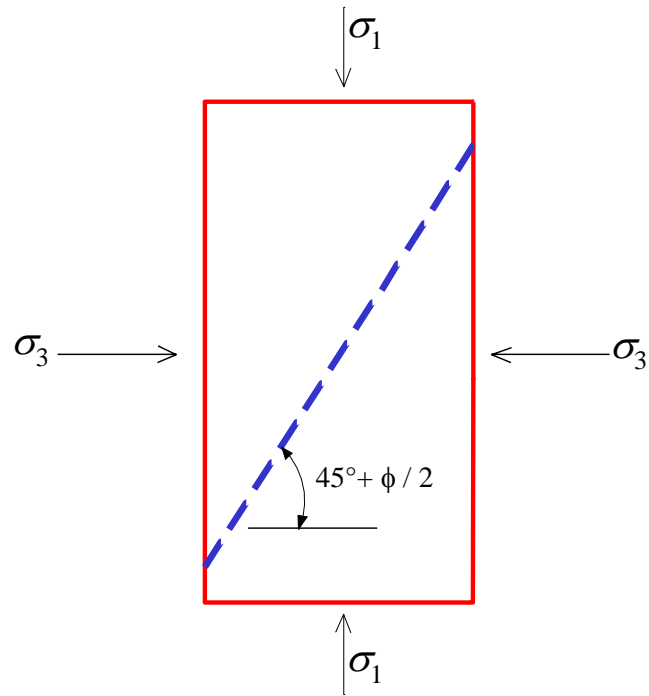


Fig. 13: Plano de falla en el ensayo triaxial

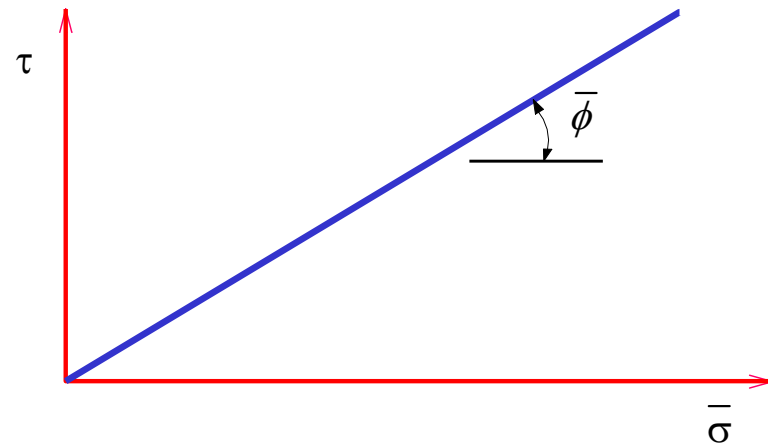


Fig. 14: Diagrama de falla en función de esfuerzos efectivos para arena saturada

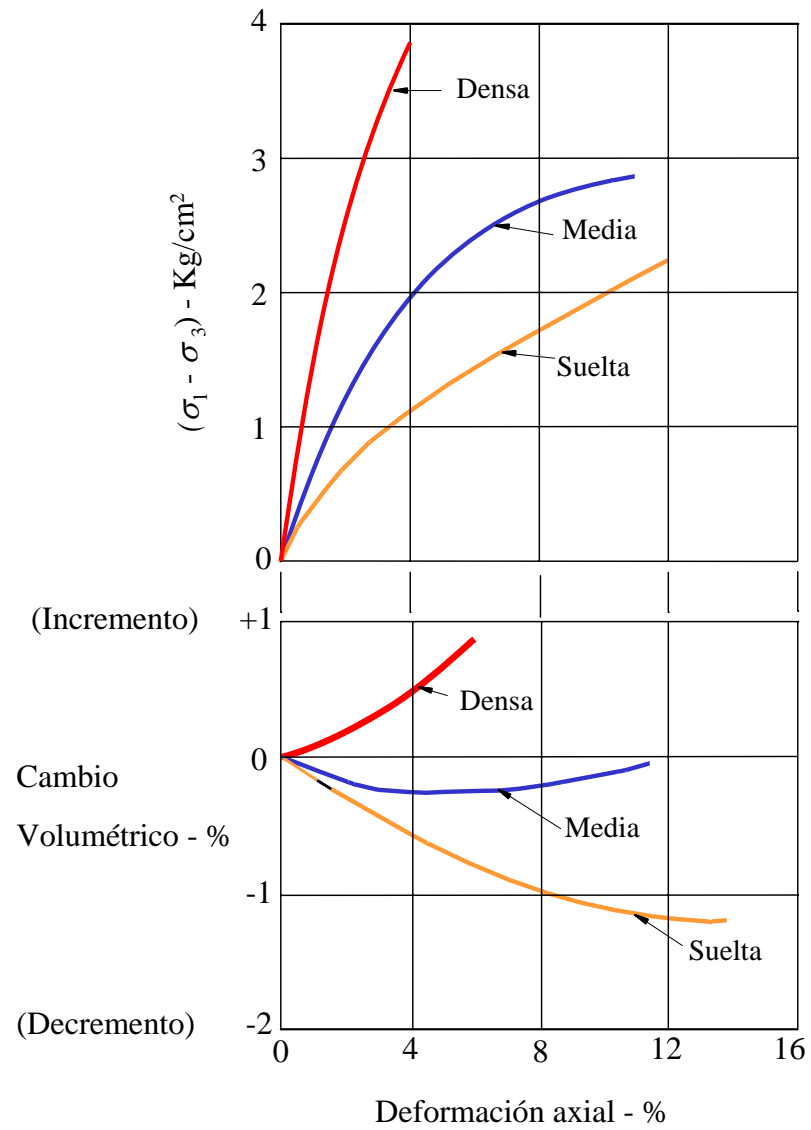


Fig. 15: Relaciones esfuerzo - deformación y cambio volumétrico - deformación para arena drenada

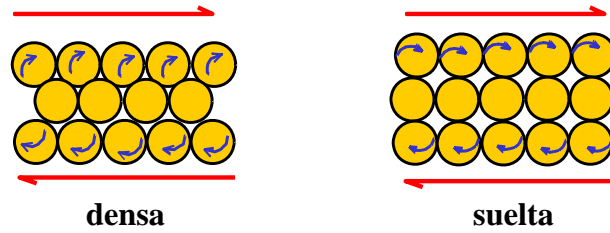


Fig. 16: Estructuras de granos densa y suelta

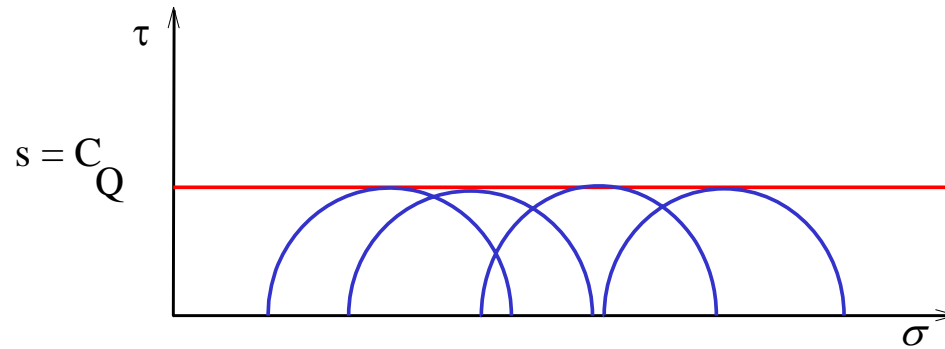


Fig. 17: Envoltente de falla de arcilla saturada

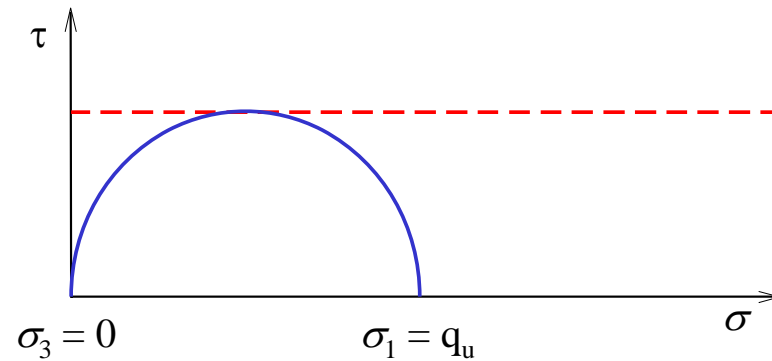


Fig. 18: Círculo de Mohr y envoltente de falla para el ensayo de compresión no confinada

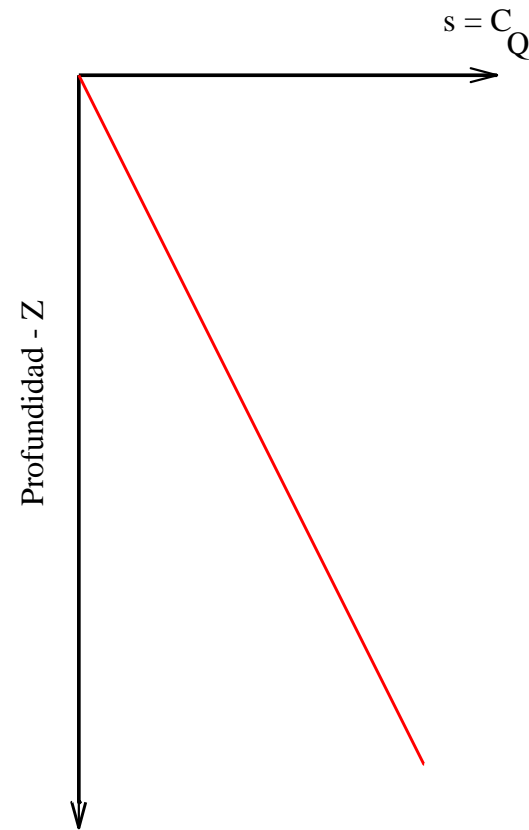


Fig. 19: Variación de resistencia con profundidad

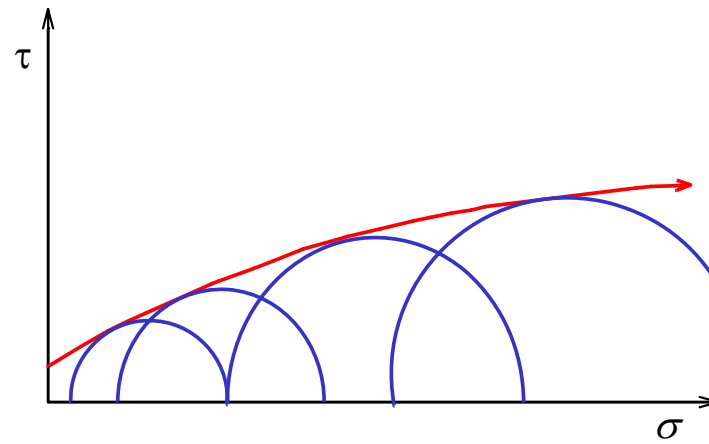


Fig. 20: Envolvente de falla para arcilla parcialmente saturada

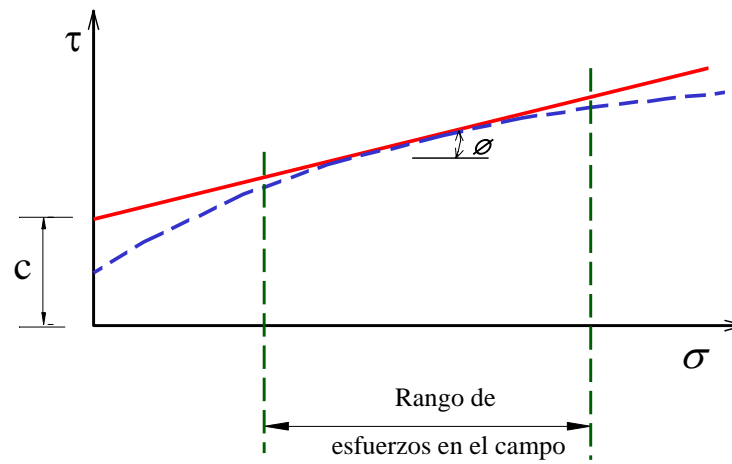
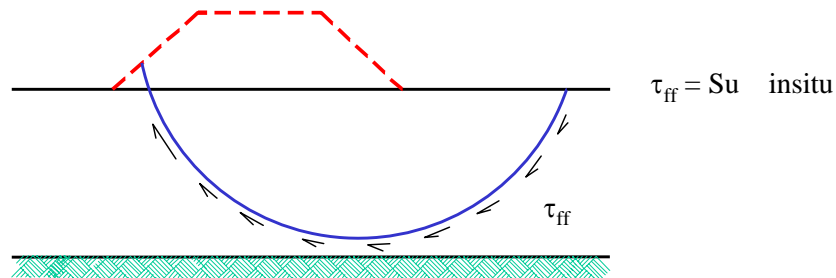


Fig. 21: Envolvente de falla recta equivalente

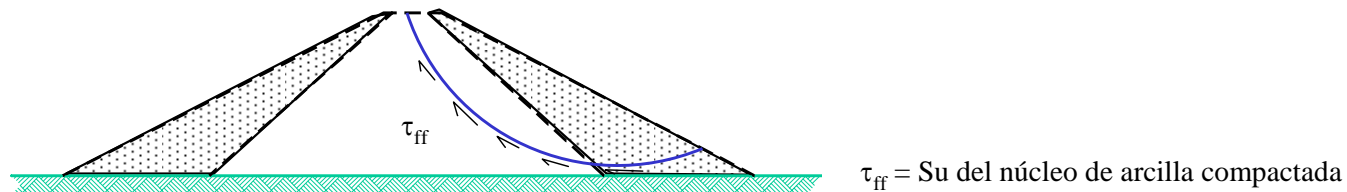
EJEMPLOS DE ANÁLISIS TIPO UU

(NO CONSOLIDADO-NO DRENADO)

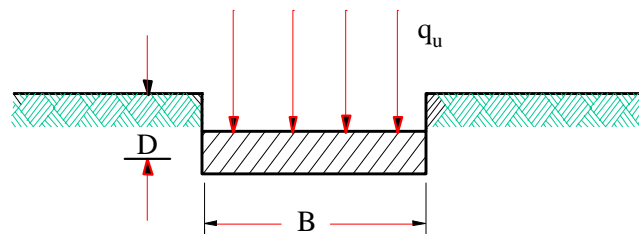
- a) **TERRAPLÉN CONSTRUÍDO RÁPIDAMENTE SOBRE UN DEPÓSITO DE ARCILLA BLANDA**



- b) **PRESA DE TIERRA GRANDE CONSTRUÍDA RÁPIDAMENTE SIN CAMBIO EN EL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL NÚCLEO DE ARCILLA**



- c) **ZAPATA CONTÍNUA COLOCADA RÁPIDAMENTE EN DEPÓSITO DE ARCILLA**

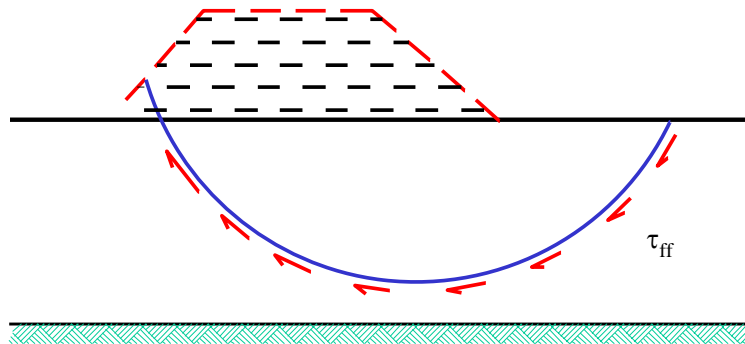


$$q_u = 5.7 Su + \gamma_t D$$

de la fórmula de capacidad de carga de Terzaghi con $\phi = 0$

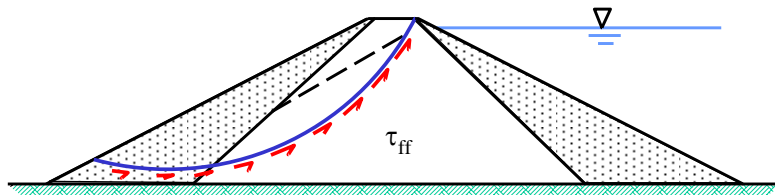
EJEMPLOS DE ANÁLISIS TIPO CD (CONSOLIDADO - DRENADO)

a) **TERRAPLÉN CONSTRUIÓ MUY LENTAMENTE POR CAPAS SOBRE UN DEPÓSITO DE ARCILLA BLANDA**



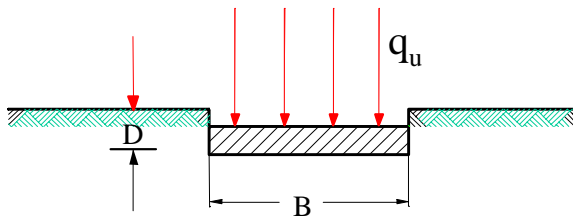
$\tau_{ff} = S_d$ resistencia cortante drenada insitu

b) **PRESA DE TIERRA CON ESTADO DE INFILTRACIÓN CONSTANTE**



$\tau_{ff} = S_d$ del núcleo de arcilla

c) **ZAPATA CONTÍNUA EN DEPÓSITO DE ARCILLA A LARGO PLAZO DESPUÉS DE LA CONSTRUCCIÓN**

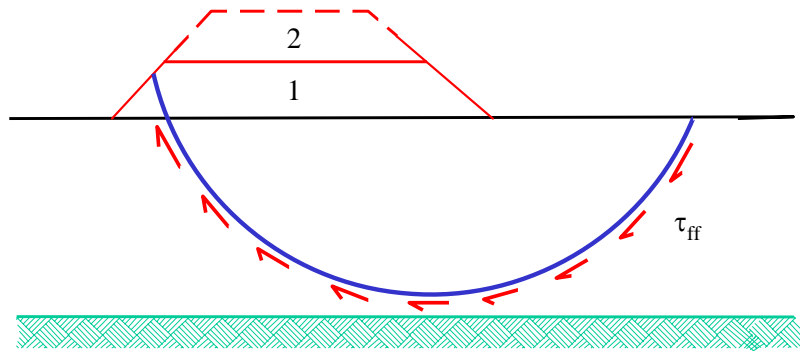


$$q_u = \bar{c} N_c + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma + \gamma D N_q$$

donde N_c , N_γ y N_q son función de $\bar{\phi}$

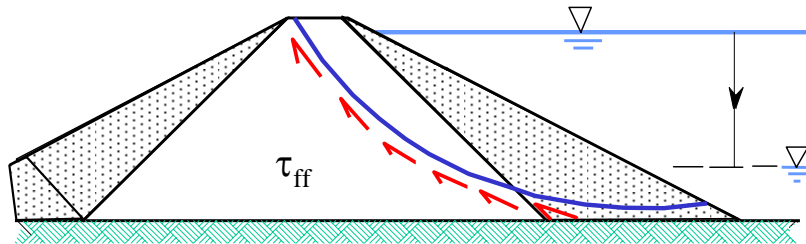
EJEMPLOS DE ANÁLISIS TIPO CU (CONSOLIDADO - NO DRENADO)

a) TERRAPLÉN ELEVADO DESPUÉS DE CONSOLIDARSE BAJO ALTURA INICIAL



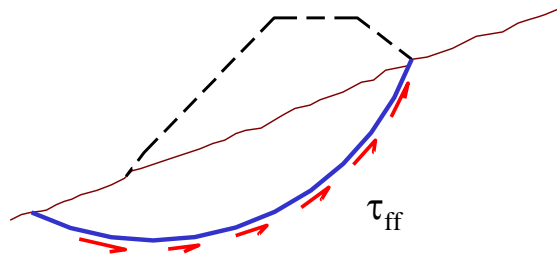
$$\tau_{ff} = S_u \text{ insitu después de consolidación bajo capa } 1$$

b) DESEMBALSE RÁPIDO AGUAS ARRIBA. SIN DRENAJE DEL NÚCLEO

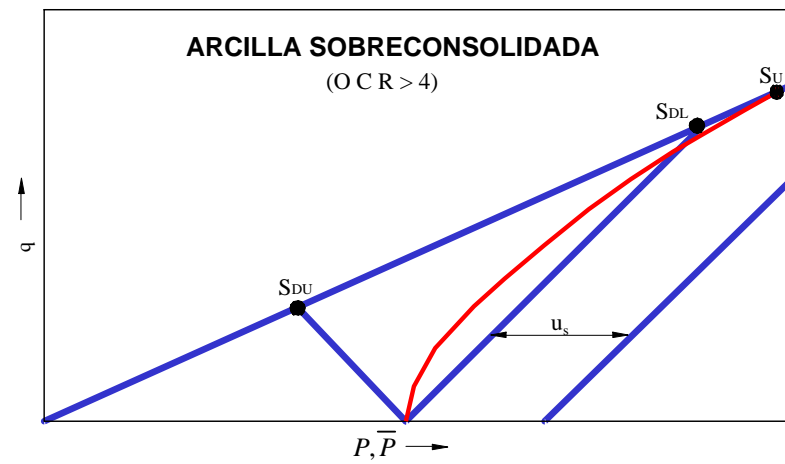
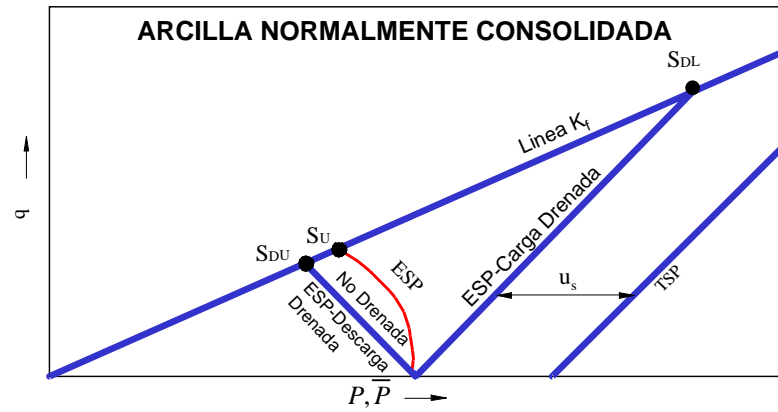


$$\tau_{ff} = S_u \text{ del núcleo correspondiente a consolidación bajo infiltración constante antes del desembalse}$$

c) CONSTRUCCIÓN RÁPIDA DE TERRAPLÉN EN TALUD NATURAL



$$\tau_{ff} = S_u \text{ insitu de arcilla en el talud natural antes de construcción}$$



RESISTENCIA CORTANTE DRENADA Y NO DRENADA