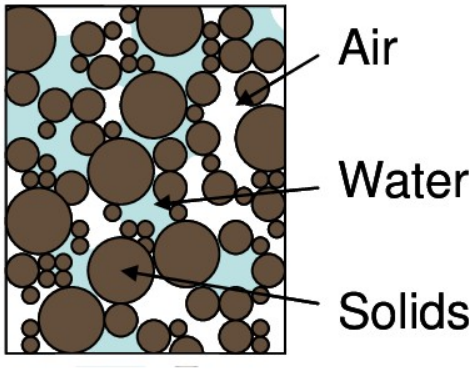
Introducción a la ingeniería geotécnica



Mecánica de Suelos y Geología

Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires

Índice

- Contenido y organización de la asignatura Mecánica de Suelos y Geología
- Mecánica de suelos y rocas
- Ingeniería geotécnica
- Repaso de conceptos previos

Cuerpo docente

Director Grupo de Geotecnia:
Dr. Alejo O. Sfriso asfriso@fi.uba.ar

Docentes:
Ing. Ernesto Strina
estrina@fi.uba.ar

Ing. Pedro Fernandez
pmfernandez@fi.uba.ar

Ing. Agustín Pileggi
apileggi@fi.uba.ar

Lic. Cristian Cocchiarale
ccocchiarale@fi.uba.ar

MSc. Mauro Codevilla
mcodevilla@fi.uba.ar

Ing. Tomás Gutierrez
togutierrez@fi.uba.ar

Ing. Camilo Casagrande
ccasagrande@fi.uba.ar

Programa, calendario y material

- Campus: https://campusgrado.fi.uba.ar/course/view.php?id=266
- El programa de la asignatura
  - El calendario de clases y evaluaciones
  - Material de clases y de consulta
- Horarios de clase:
  - Clases teóricas: Mier 15:00-19:00
  - Clases prácticas: Jue 19:00-23:00 o Vier 15:00-19:00
  - Clases demostrativas en laboratorio (LAB 01 a LAB 06)
  - Consultas: mail de **TODOS** los docentes
- Comunicaciones:
  - Las comunicaciones de la cátedra son a través del campus

Requisitos para cursar la materia

- Estabilidad II A (84.03)
  - Aprobación de cursada
  - Aprobación de coloquio final
- Hidráulica general (89.01)
  - Aprobación de cursada

Deben realizar un pedido de excepción de correlatividad en caso de adeudar el coloquio final de Hidráulica general

Calendario clases teóricas

MIERCOLES 15 hs -17 hs	MIERCOLES 17 hs -19 hs
101 Intro Ing Geotecnica	102 Clasificacion de suelos
103 Presiones efectivas	LAB 1 - Propiedades físicas
105 Intro Geologia	106 Geologia estructural, Hidrogeología
104 Hidraulica de suelos	LAB 2 - Propiedades hidráulicas
107 Compactacion y suelo cemento	LAB 3 - Compactación suelos
108 Introducción suelos no saturados	201 Compresion unidimensional
202 Consolidacion de suelos	LAB 4 - Consolidación
203 Resistencia al corte	204 Resistencia y rigidez - arenas
205 Resistencia y rigidez - arcillas	LAB 5 - Triaxial
207 Ensayos in situ	207 Ensayos in situ (cotinuado)
206 Macizos rocosos	301-302 Elasticidad - Plasticidad
303 Equilibrio Limite	304 Estabilidad de taludes
305 Estructuras de contencion	305 Estructuras de contencion (cont.)
306 Capacidad de carga	307 Diseño de fundaciones superficiales
308 Fundaciones profundas	LAB 6 - Capacidad de carga
309 Suelos de Buenos Aires	310 Obras civiles en Buenos Aires
Invit. Tesis & especialización geotecnia	

Modalidad de evaluación y aprobación

- Cuatro exámenes parciales (**G1, M1, M2**)
  - Evaluaciones escritas, a libro cerrado
  - El examen de geología **G1** no se repite
  - Los exámenes **M1, M2** pueden repetirse hasta dos veces
  - Los exámenes quedan en la cátedra y son públicos

- Un coloquio integrador
  - Evaluación oral y/o escrita, a libro cerrado o abierto
  - El coloquio puede repetirse hasta dos veces

- **La calificación final es** $(G_1 + M_1 + M_2)/3 \pm coloquio$

Desconocimientos descalificatorios

En el coloquio integrador, el desconocimiento de cualquiera de estos temas significa el fin del examen

- Clasificación de suelos: Concepto de granulometría, definición de límite líquido y límite plástico. Clasificación SUCS.
- Propiedades índice: Humedad, relación de vacíos, porosidad, peso específico de partículas sólidas, peso unitario, peso unitario seco, grado de saturación, densidad relativa. Valores extremos de estas variables.
- Hidráulica: Concepto de presiones totales, efectivas y neutras. Definición y fórmula de la Ley de Darcy. Concepto de red de flujo. Fórmula y concepto de gradiente hidráulico crítico.

Desconocimientos descalificatorios

- Compactación de suelos: Definición de densidad Proctor y humedad óptima.
- Resistencia al corte: Criterio de Mohr-Coulomb. Definición de ángulo de fricción interna y ángulo de fricción interna crítico. Definición de cohesión efectiva. Definición de resistencia al corte no drenada.
- Compresión unidimensional: Diferencia entre suelos normalmente consolidados y preconsolidados. Fórmula para el cálculo de asentamientos por compresión unidimensional.
- Consolidación unidimensional: Fundamentos de la teoría de consolidación. Parámetros que se obtienen en el ensayo de consolidación unidimensional.

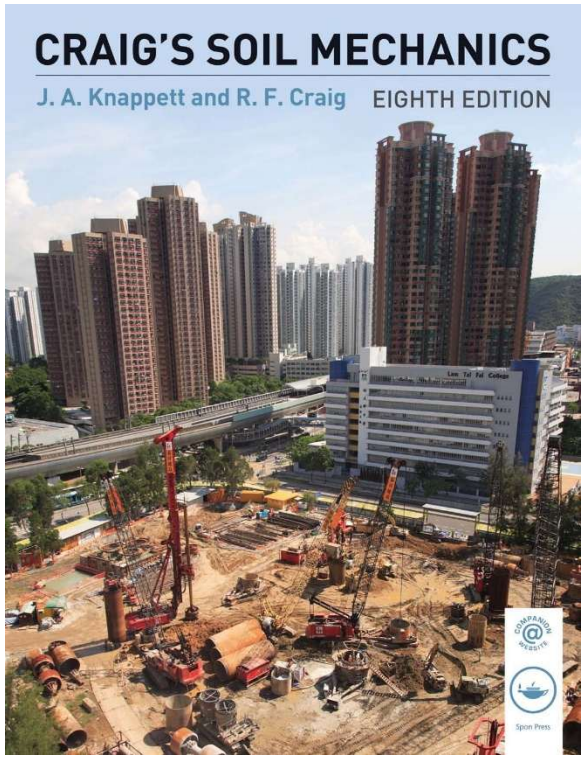
Desconocimientos descalificatorios

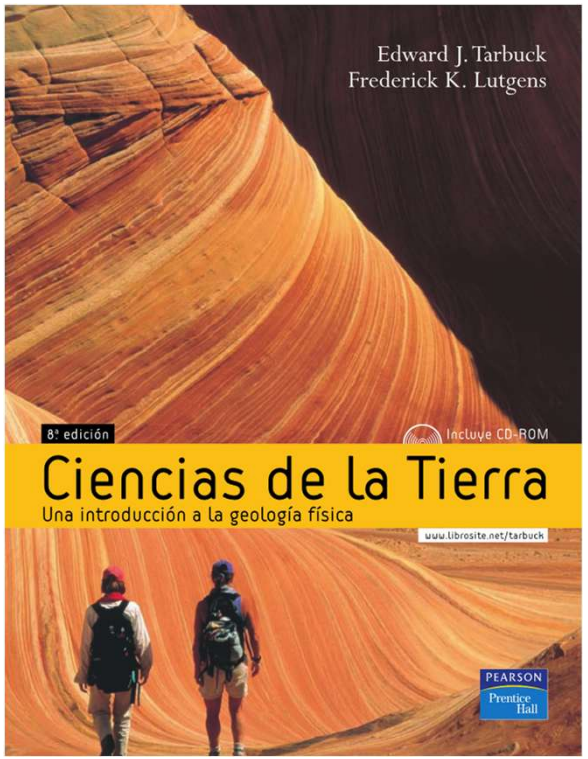
- Ensayos de campo: Ensayo SPT
- Equilibrio límite: Teorema de límite inferior y superior.
- Empuje de suelos: Empuje activo y pasivo, métodos de Rankine y Coulomb.
- Estructuras de contención: Definición de seguridad al deslizamiento y volcamiento.
- Capacidad de carga: Fórmula de Brinch Hansen. Resistencia de punta y fuste de pilotes.
- Fundaciones superficiales: Procedimiento de diseño.
- Fundaciones profundas: Concepto de pilotes hincados y perforados.
- Estabilidad de taludes: Método de Bishop

Bibliografía básica del curso

https://drive.google.com/drive/folders/1Fm8rI2w6JwhNMFx76ok81sowwsDJ8FhK?usp=sharing

- **Mec. Suelos**: Craig´s. Soil mechanics. Spon Press. 8va edición
- **Geología**: Tarbuck, Lutgens. Ciencias de la Tierra. 8va edición





Bibliografía complementaria del curso

https://drive.google.com/drive/folders/1FI1amyVnChXrsQKiT7Md-oYMIyN0Ej1f?usp=sharing

Ingeniería Geológica & Geología

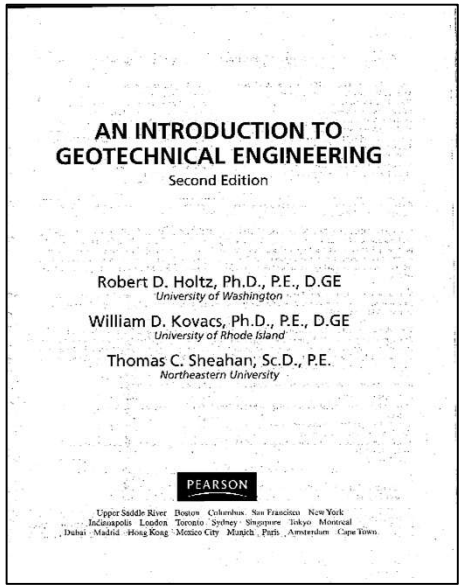
- Waltham. Foundations on Engineering geology. Spon

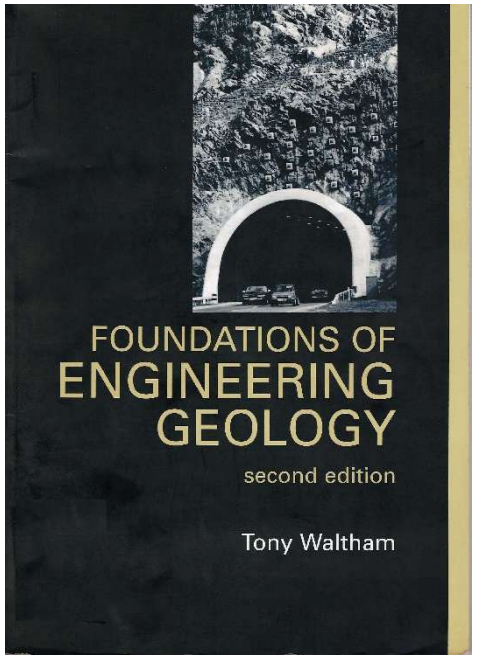
Mecánica de Suelos

- Holtz y Kovacs. Intro to Geotechnical Engineering. Pearson
- Powrie. Soil Mechanics. Spon Press
- Jimenez Salas. Geotecnia y Cimientos. Rueda

Mecánica de Rocas

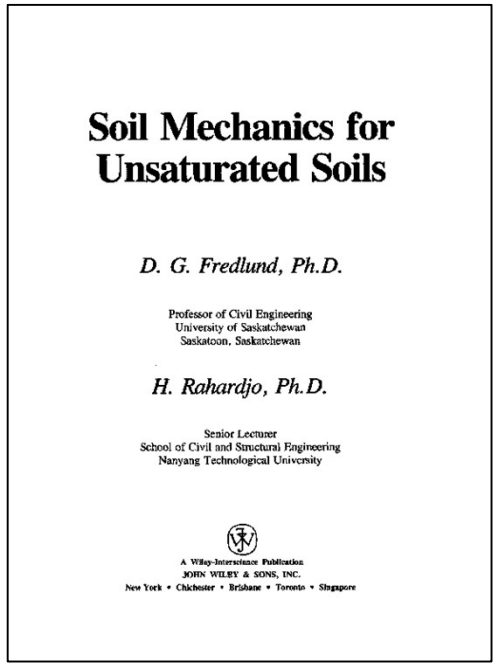
- Goodman. Rock Mechanics. Wiley
- Duncan C. Rock Slope engineering. Spon

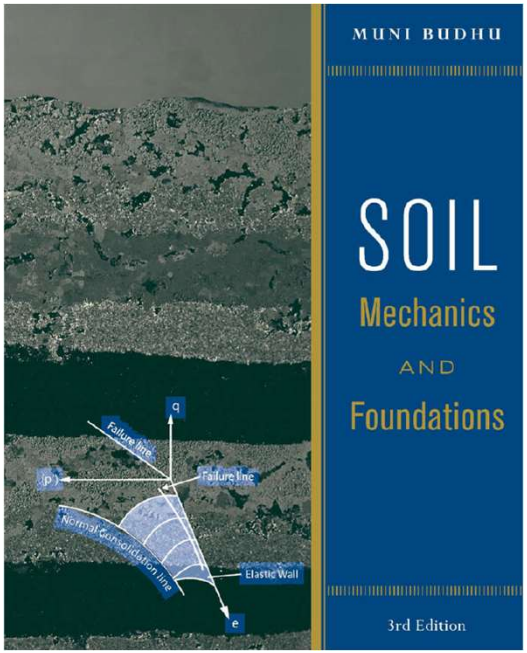




Más bibliografía

- Fredlund. Soil Mechanics for Unsaturated Soils. Wiley
- Budhu M. Soil Mechanics and Foundations, 3° Edition. Wiley
- Terzaghi, Peck y Mesri. Soil Mechanics in Engineering Practice. 2ª Ed. El Ateneo (español); 3ª Ed. Wiley (inglés)
- Kramer. Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice-Hall
- Briaud. Geotechnical Engineering. Wiley
- USACE. Serie de manuales de diseño
- FHWA. Serie de manuales de diseño





Índice

- Contenido y organización de la asignatura Mecánica de Suelos y Geología
- Mecánica de suelos y rocas
- Ingeniería geotécnica
- Repaso de conceptos previos

Suelos y rocas (a veces “parecidos”)

Los suelos son – para los ingenieros – conjuntos de partículas, aire y agua (en general) con escasa resistencia mecánica

Un terrón (suelo) ensucia

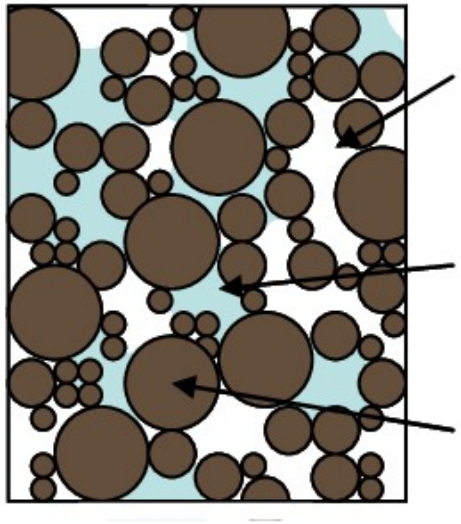
Las rocas son – para los ingenieros – materiales geológicos consolidados con importante resistencia mecánica

Una piedra (roca) lastima

Mecánica de suelos y rocas (geotecnia)

La **Mecánica de suelos / rocas (geotecnia)** es una ciencia aplicada que estudia el **comportamiento mecánico** e hidraúlico de los materiales terrestres (geo-materiales)

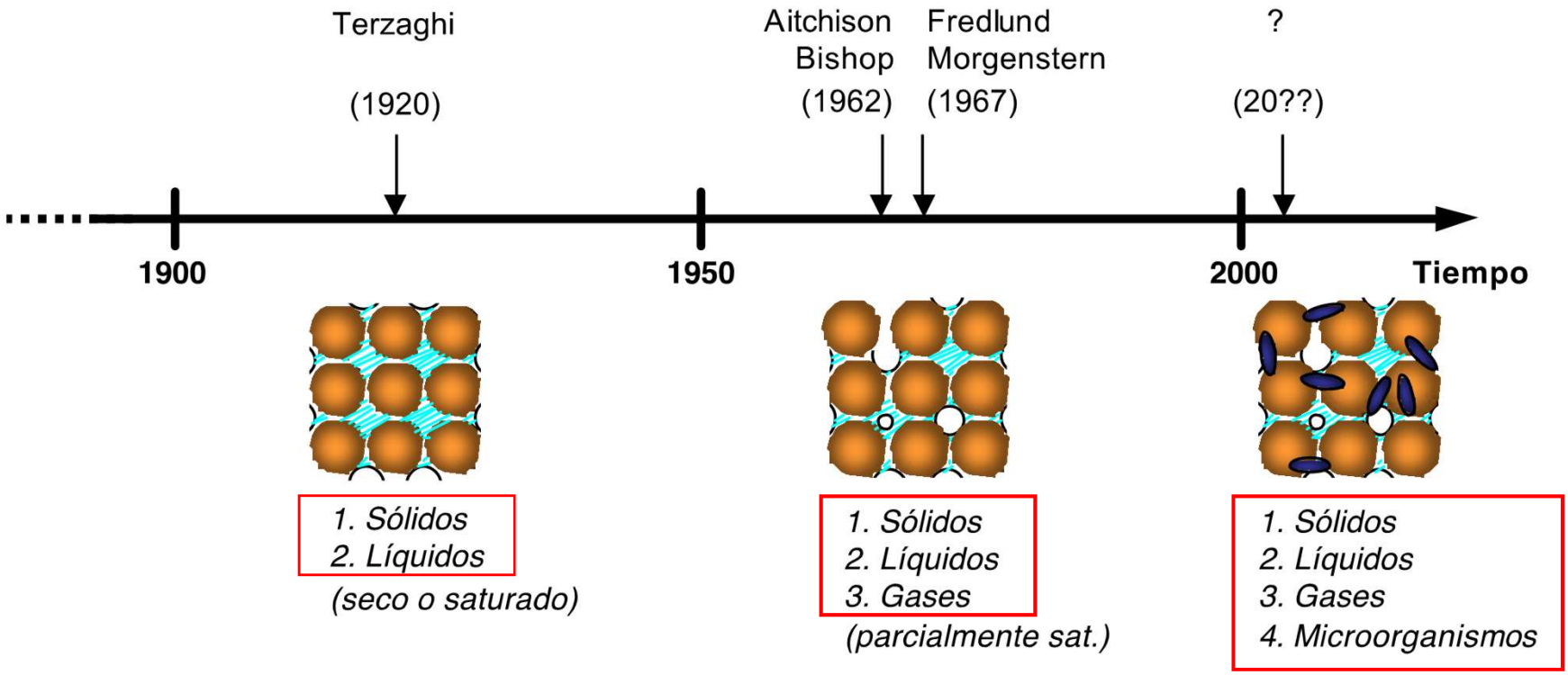
El comportamiento del terreno es el resultado de la interacción – a veces muy compleja – entre sus diferentes elementos constituyentes



La ciencia nació en 1934 (K. Terzaghi)

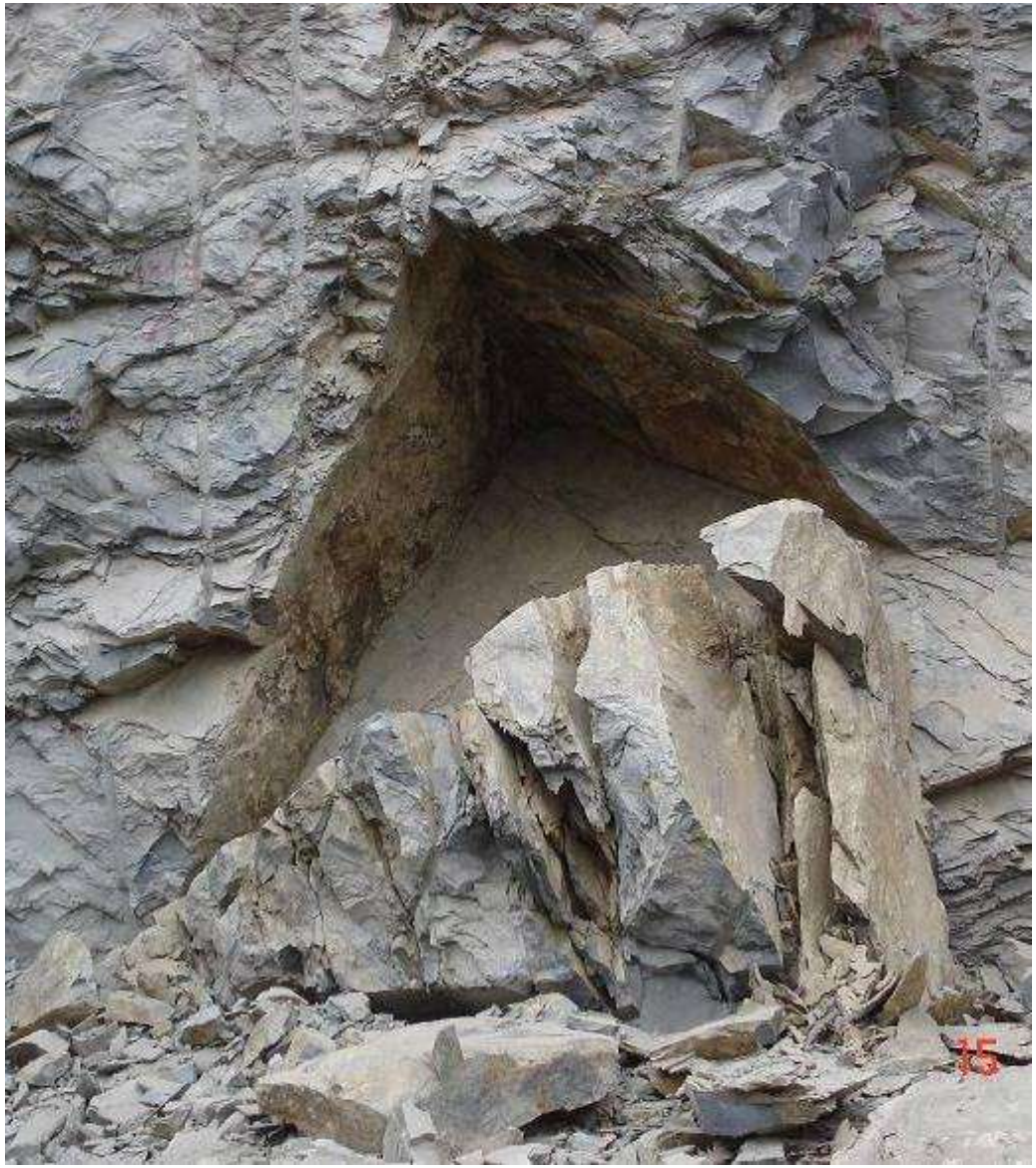
Evolución del concepto del comportamiento de los suelos en el siglo XX

- sólido + líquido + gas + microorganismos + …



(Santamarina & Narsilio)

Macizos rocosos (m, dm)

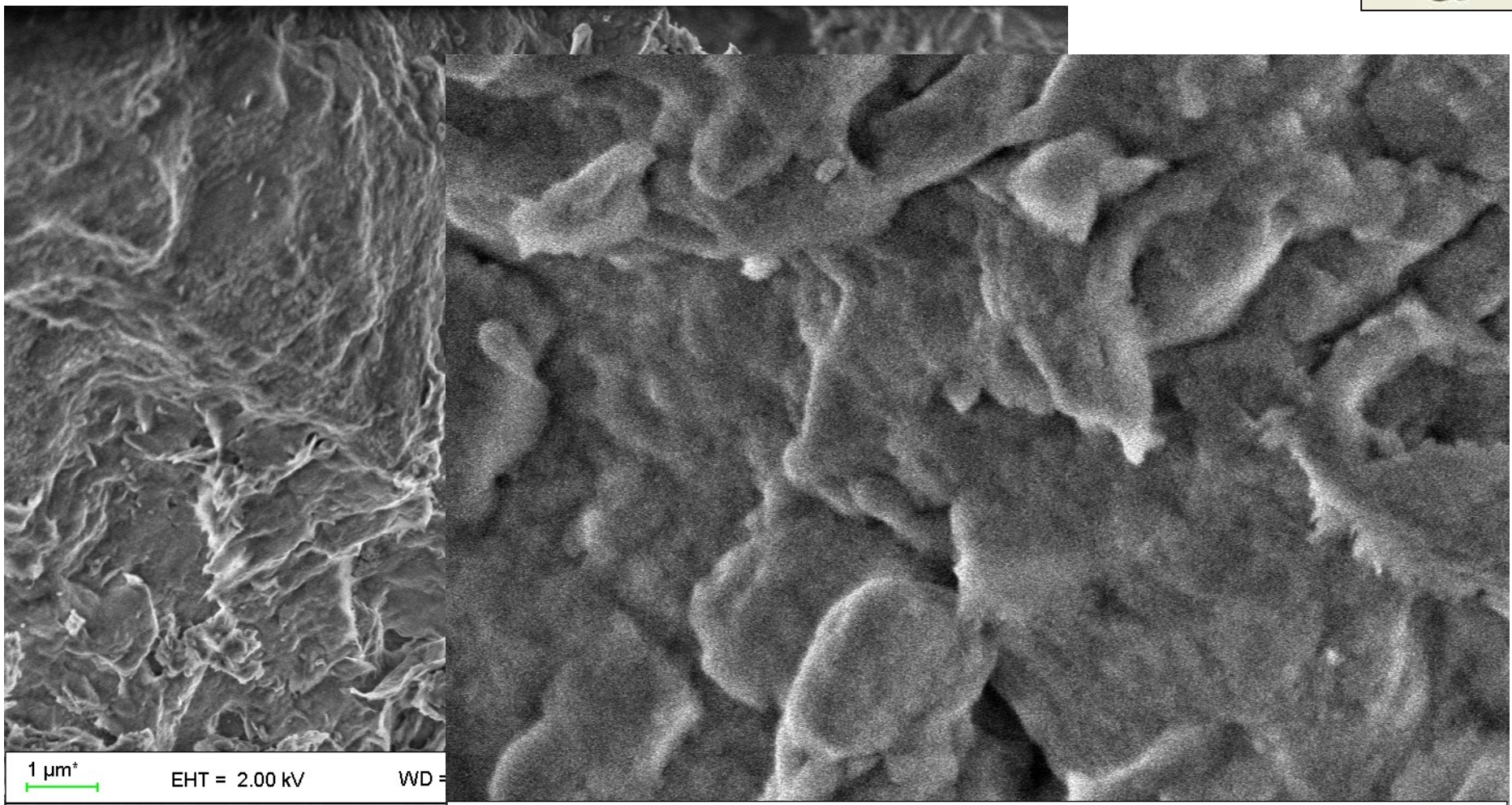


(Aliviadero Caracoles 2007)

Suelos de grano grueso (cm, mm)

(FHWA 2006 Soils and Foundations)

Suelos de grano fino ($\mu m = 0.001mm$)



1 µm*	EHT = 2.00 kV	WD =				
10 µm*	EHT = 2.00 kV	WD =	100 nm*	EHT = 2.00 kV	WD = 5.9 mm	Mag = 150.00 K X	Signal A = InLens
20 µm*	EHT = 2.00 kV	WD =	200 nm*	EHT = 2.00 kV	WD = 5.2 mm	Mag = 150.00 K X	Signal A = InLens
30 µm*	EHT = 2.00 kV	WD =	200 nm*	EHT = 2.00 kV	WD = 5.3 mm	Mag = 100.00 K X	Signal A = InLens
100 µm*	EHT = 2.00 kV	WD = 5.1 mm	Mag = 300 X	Signal A = InLens		

(Ledesma et al 2014 tesis doct)

La Mecánica de suelos y rocas (geotecnia) es parte de la Mecánica del sólido

Partículas sólidas en contacto
+
Deformaciones reversibles (elásticas)
+
Deformaciones permanentes (plásticas)
+
Deformaciones diferidas (viscosas)
=

Los suelos y rocas son sólidos friccionales-elasto-visco-plásticos

(Torre de Pisa 2005)

Se miden y se estudian los fundamentos y las aplicaciones

- Parte I (M1): Propiedades físicas, mecánicas, hidráulicas
- Parte II (M2): Diseño ingenieril (muros, bases, pilotes, …)

Ejemplo: Demostración en laboratorio de un suelo expansivo

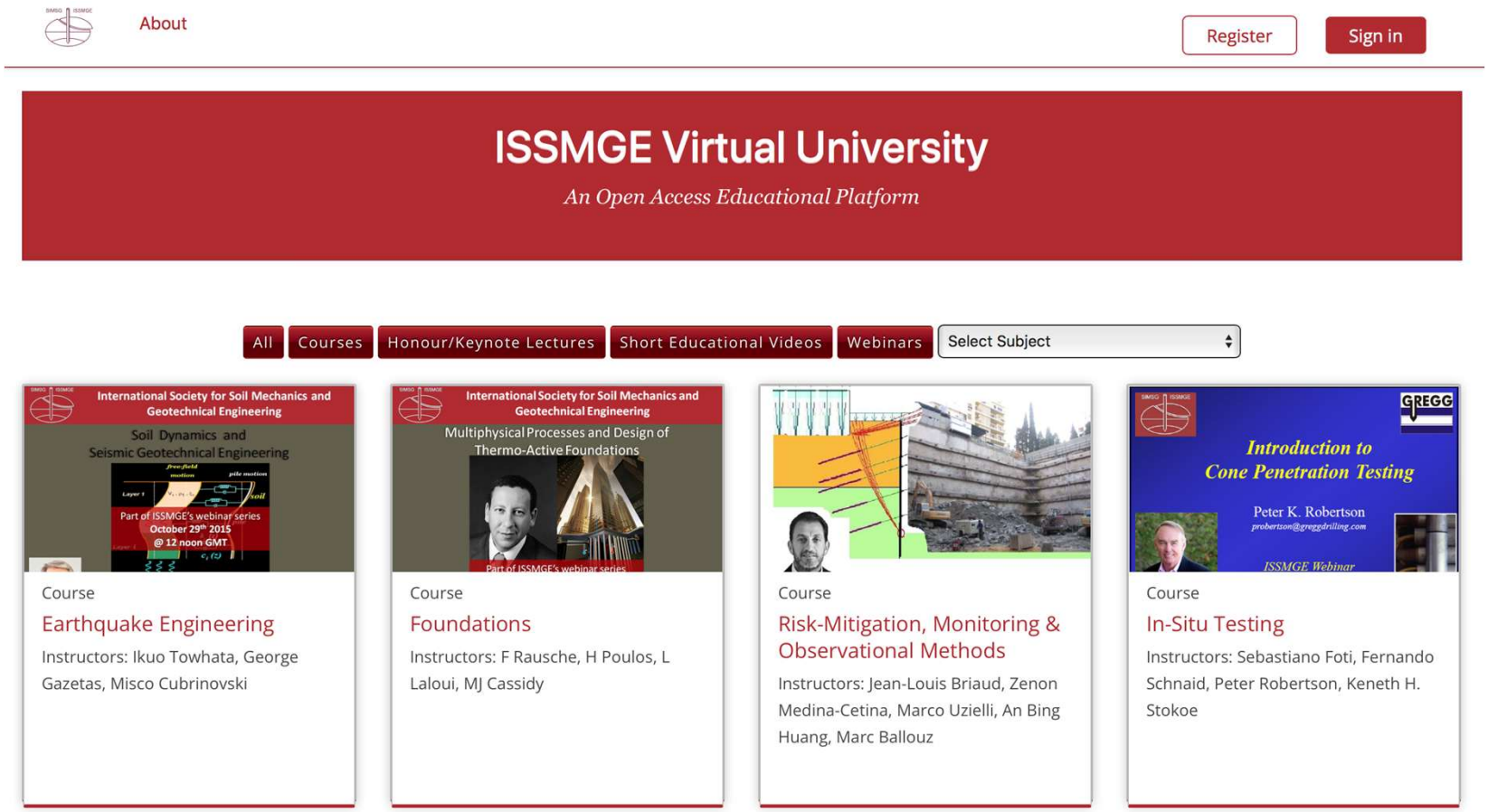
(Sfriso - Ensayos en bentonita - Curso Mecánica de Fractura Alvaredo 1998)

Índice

- Contenido y organización de Mecánica de Suelos y Geología
- Mecánica de suelos y rocas
- Ingeniería geotécnica
- Repaso de conceptos previos

ISSMGE: Sociedad Internacional de Mecánica de Suelos e ing. Geotécnica

- Conserven este link: http://virtualuniversity.issmge.org



Estabilidad de taludes naturales

(http://www.reviewcivilpe.com/pressfolder/wp-content/uploads/Taiwan-Landslide.jpg)

Fundaciones en terrenos compresibles (asentamiento de construcciones)

(http://www.treklens.com/gallery/North_America/photo136834.htm)

(Torre de Pisa 2005)

Fundaciones en terrenos colapsibles (colapso por hidratación)

(Presentación Redolfi 2009)

Fundaciones en terrenos expansivos/contractivos (colapso por hidratación/secado)

http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/nc/soils/?cid=nrcs142p2_054256

Fundaciones en terrenos compresibles saturados cargados en forma “rápida”

(http://archiseek.com/gifs/winnipeg_grainsilos.jpg)

Obras subterráneas (túneles)

(Sfriso – Primer túnel Subte con NATM – 1998)

Grandes terraplenes (presas)

(http://www.technoproject.com.mx/images/thumb_01%20Foto%20Portada.JPG)

(Sfriso – Los Caracoles – 2008)

Grandes excavaciones (rajos mineros)

(Sfriso – Bajo La Alumbrera – 2014)

Estructuras de contención lateral (sistema de anclajes)

(Sfriso y Terratest – Edificio Territoria - 2009)

Estructuras de contención lateral (muro cantilever)

(Muro Cantilever)

Índice

- Contenido y organización…
- Mecánica de suelos y rocas
- Ingeniería geotécnica
- Repaso de conceptos previos
  - Tensión vs resistencia
  - El criterio de Mohr-Coulomb
  - Principio de Arquímedes

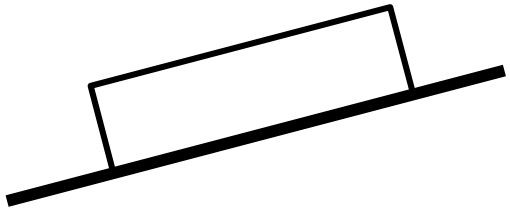
Tensión vs resistencia

Tensión vs resistencia (pizarrón)

- Un bloque de 10 kg está apoyado en un plano horizontal
- La interfaz tiene un coef. de fricción 0.3
- **¿Cuanto es la tensión de corte? ¿Y la resistencia?**

Estabilidad de un bloque rígido sobre un plano inclinado (pizarrón)

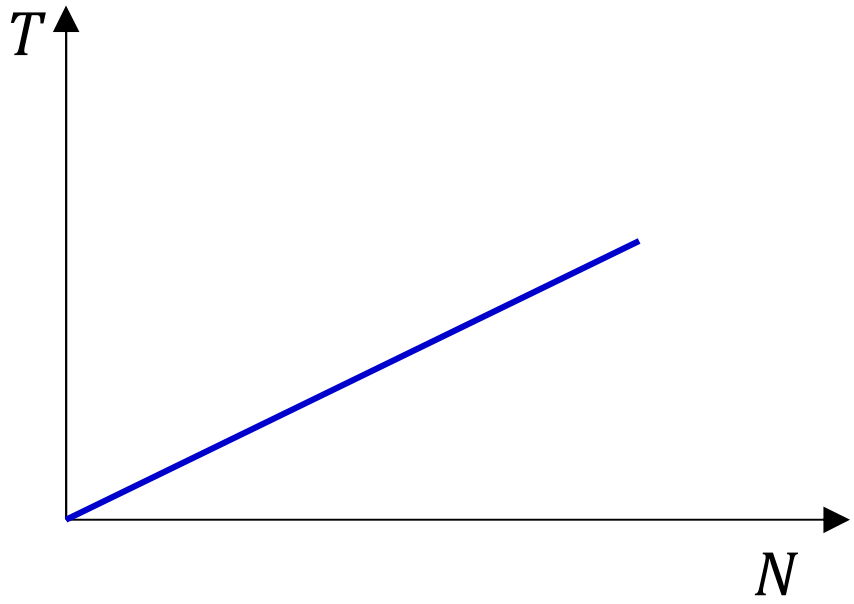
- El plano se inclina 15º
- **¿Cuanto es la tensión de corte? ¿Y la resistencia?**
- **¿Cual es el coeficiente de seguridad?**

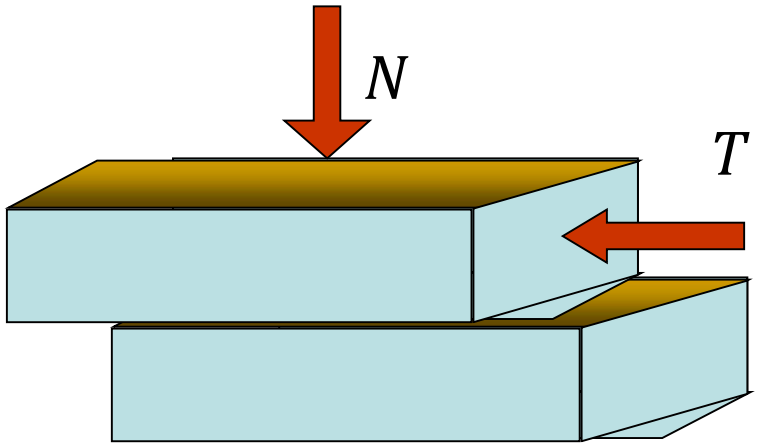


El criterio de Mohr-Coulomb para superficies en contacto

$$T = N \cdot \mu$$

Coeficiente de fricción

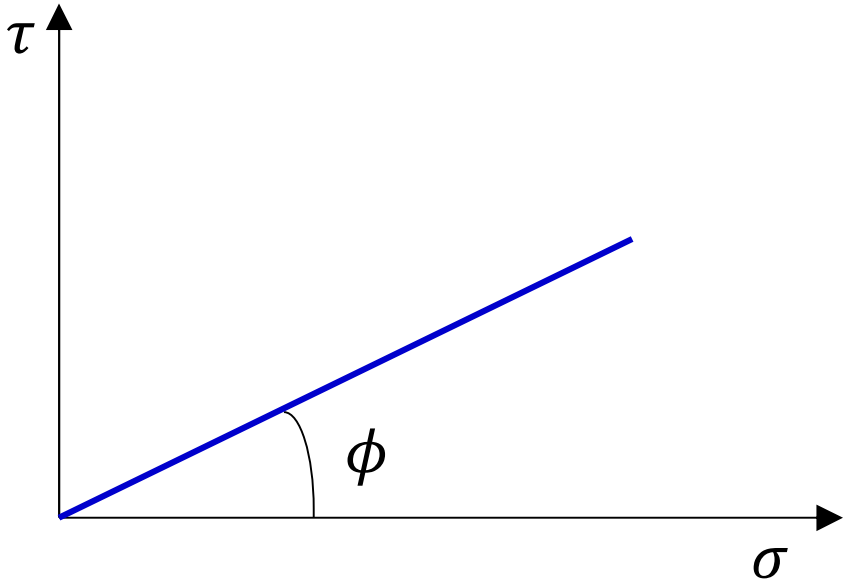


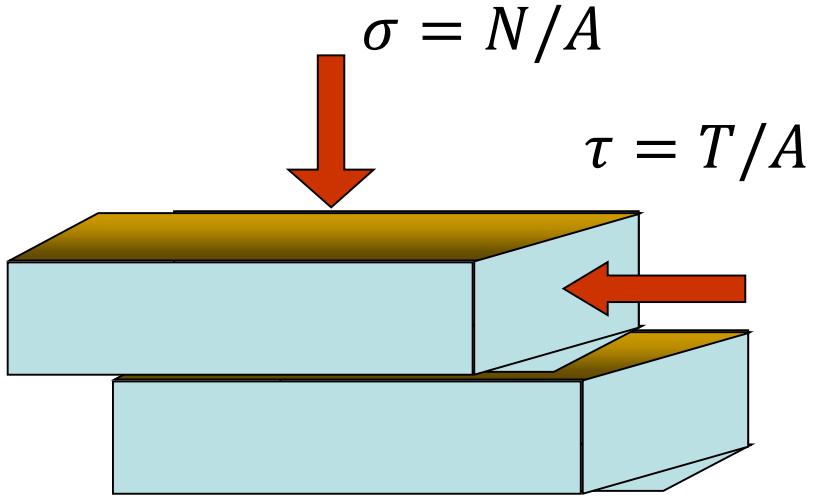


El criterio de Mohr-Coulomb para superficies en contacto

$T = N \cdot \mu$ Coeficiente de fricción

$\tau = \sigma \cdot \tan[\phi]$ Ángulo de fricción interna

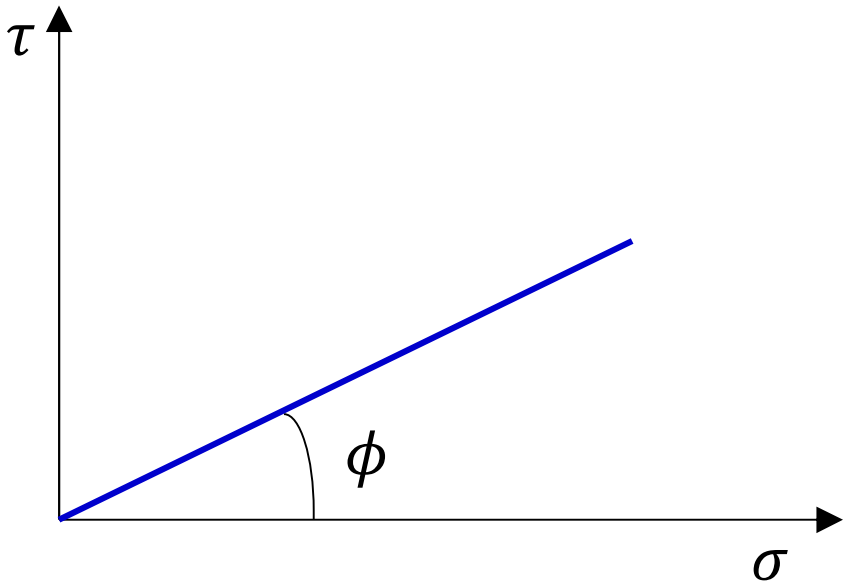


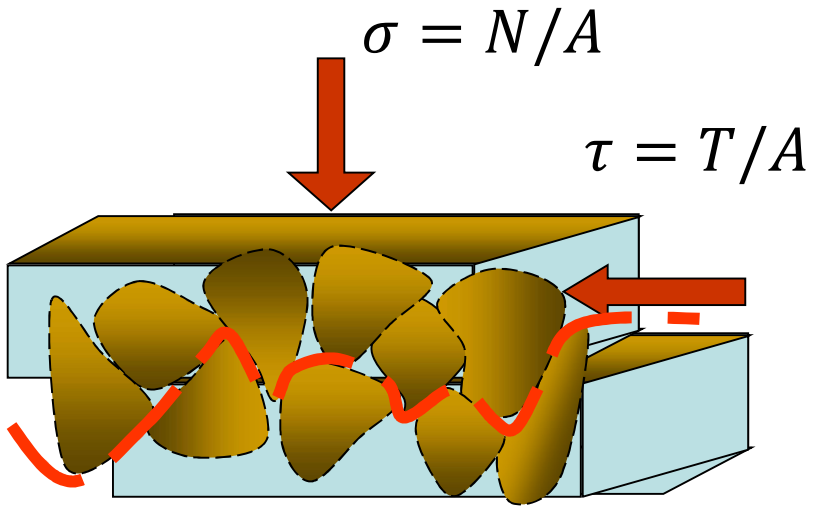


El criterio de Mohr-Coulomb y el ángulo de fricción interna

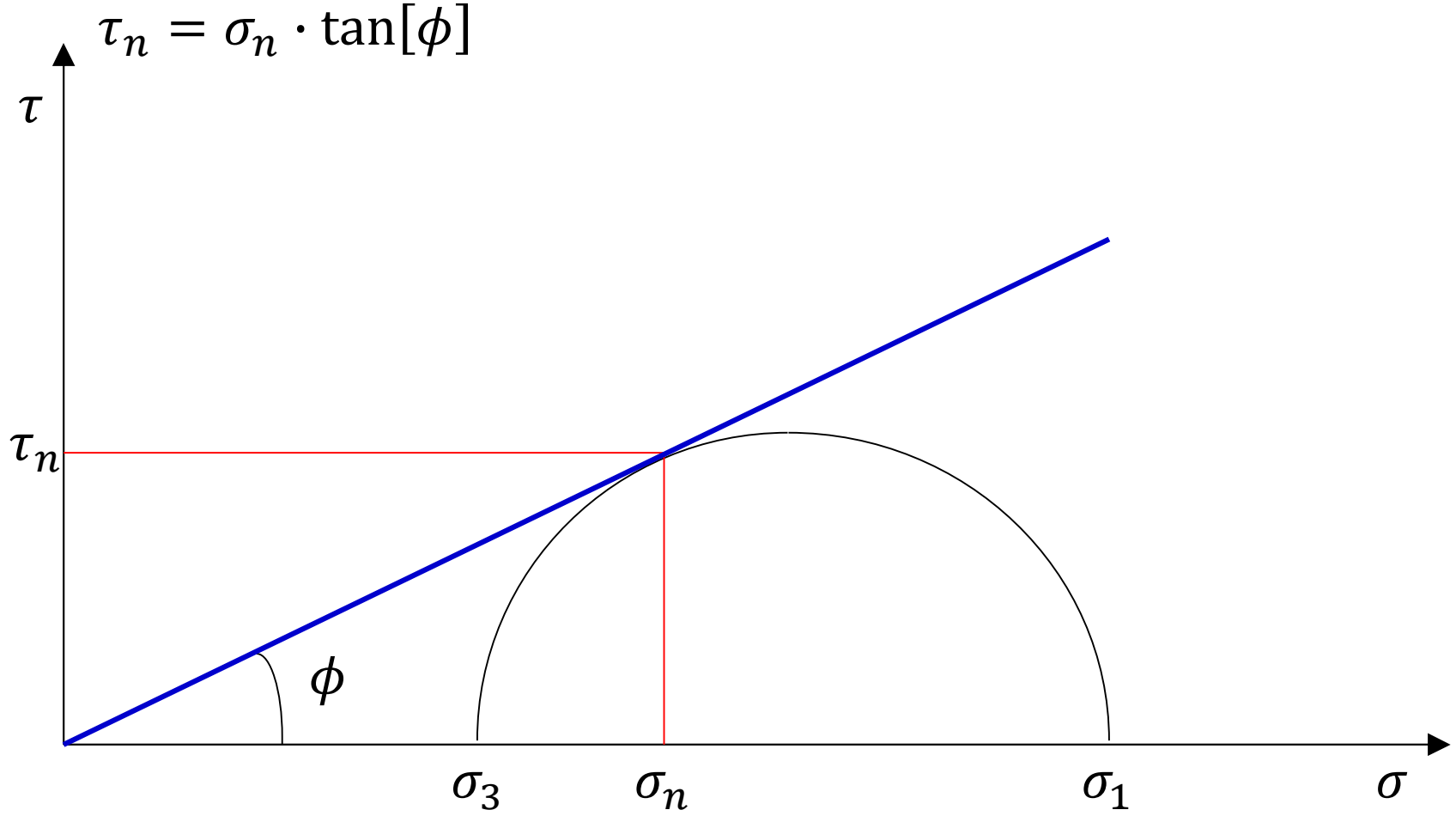
$T = N \cdot \mu$ Coeficiente de fricción

$\tau = \sigma \cdot \tan[\phi]$ Ángulo de fricción interna

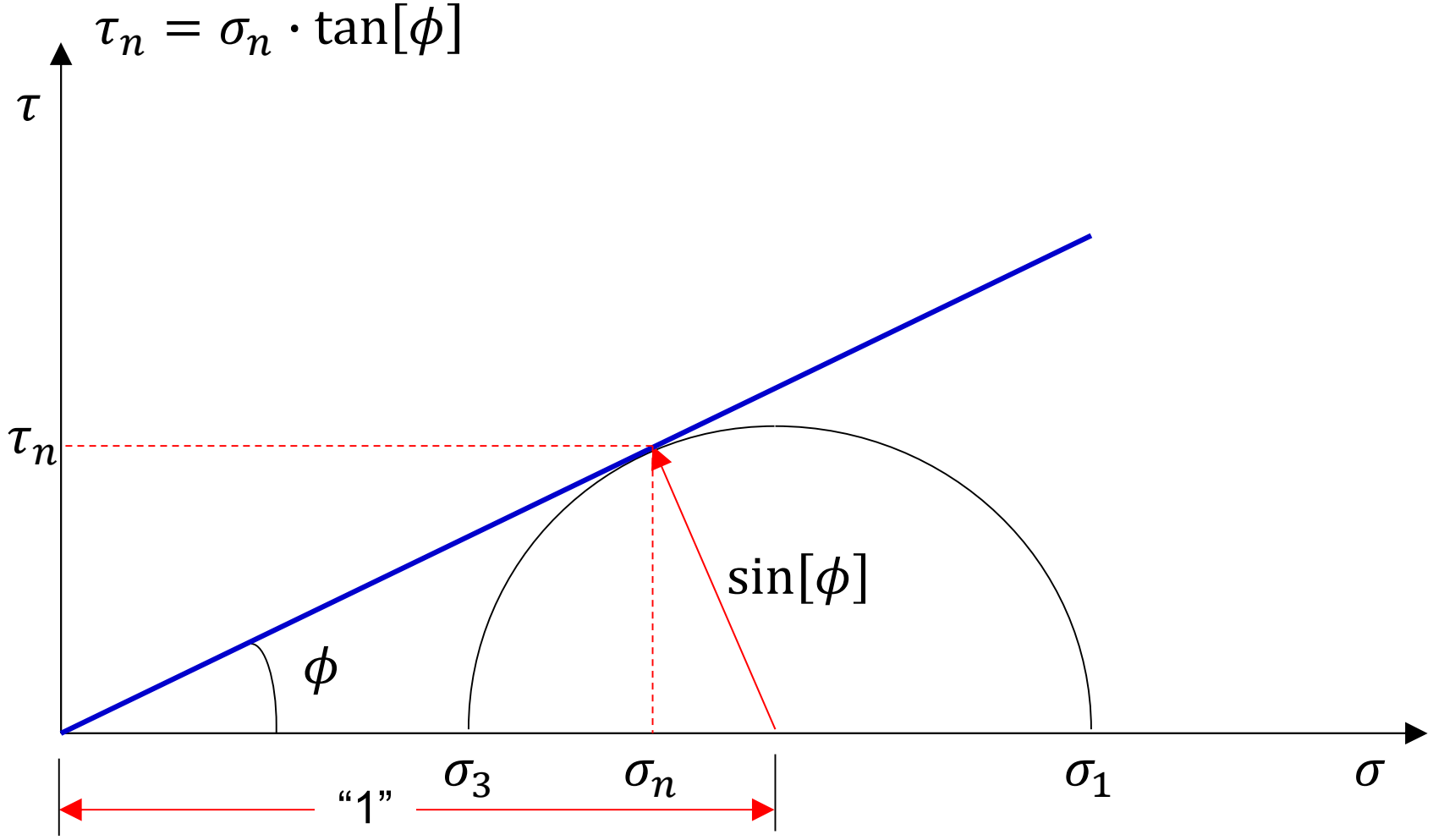




El criterio de Mohr-Coulomb en tensiones principales: suelos puramente friccionales



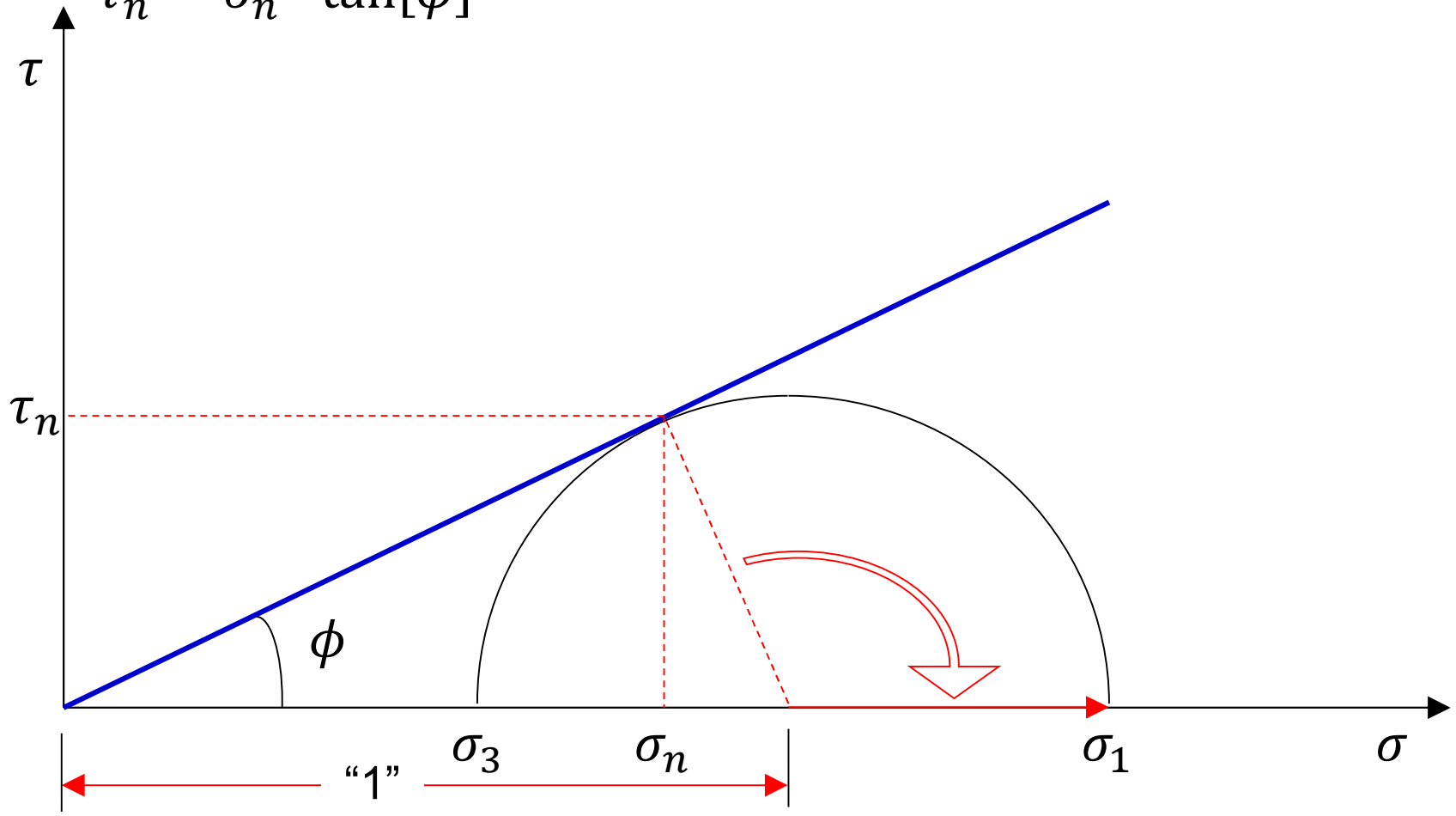
El criterio de Mohr-Coulomb en tensiones principales: suelos puramente friccionales



El criterio de Mohr-Coulomb en tensiones principales: suelos puramente friccionales

$$\tau_n = \sigma_n \cdot \tan[\phi]$$

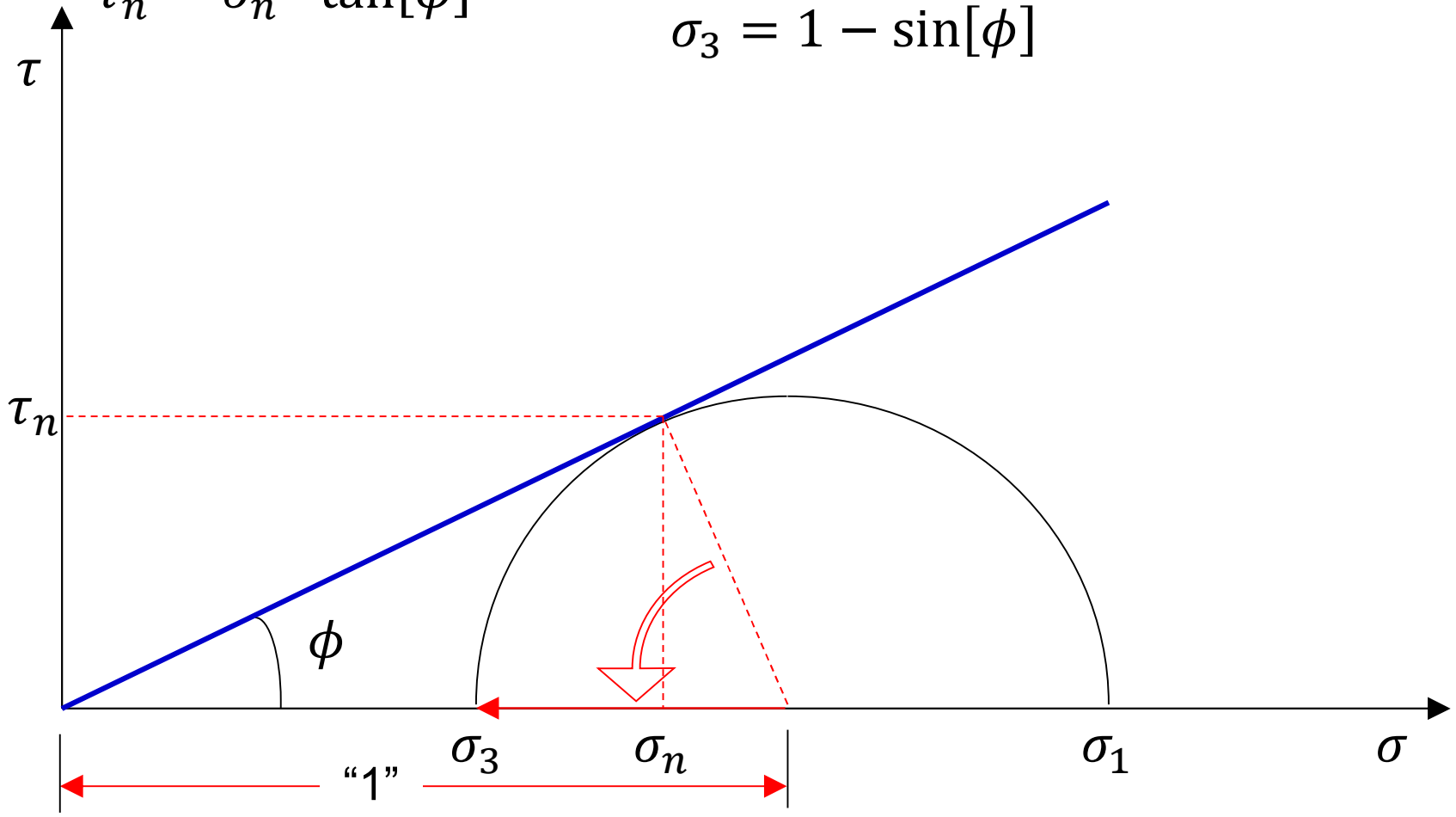
$$\sigma_1 = 1 + \sin[\phi]$$



El criterio de Mohr-Coulomb en tensiones principales: suelos puramente friccionales

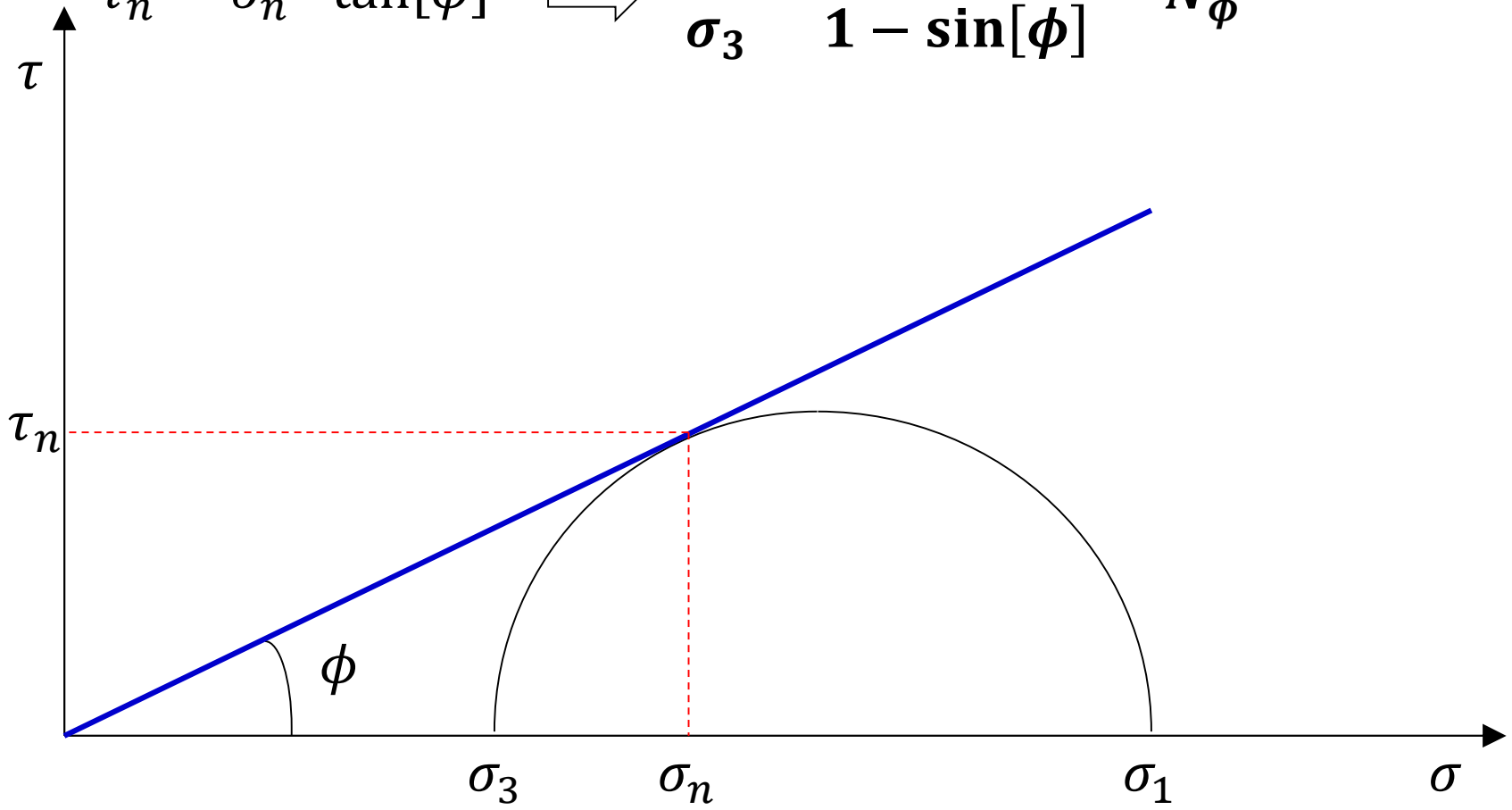
$$\tau_n = \sigma_n \cdot \tan[\phi]$$

$$\sigma_1 = 1 + \sin[\phi]$$
$$\sigma_3 = 1 - \sin[\phi]$$



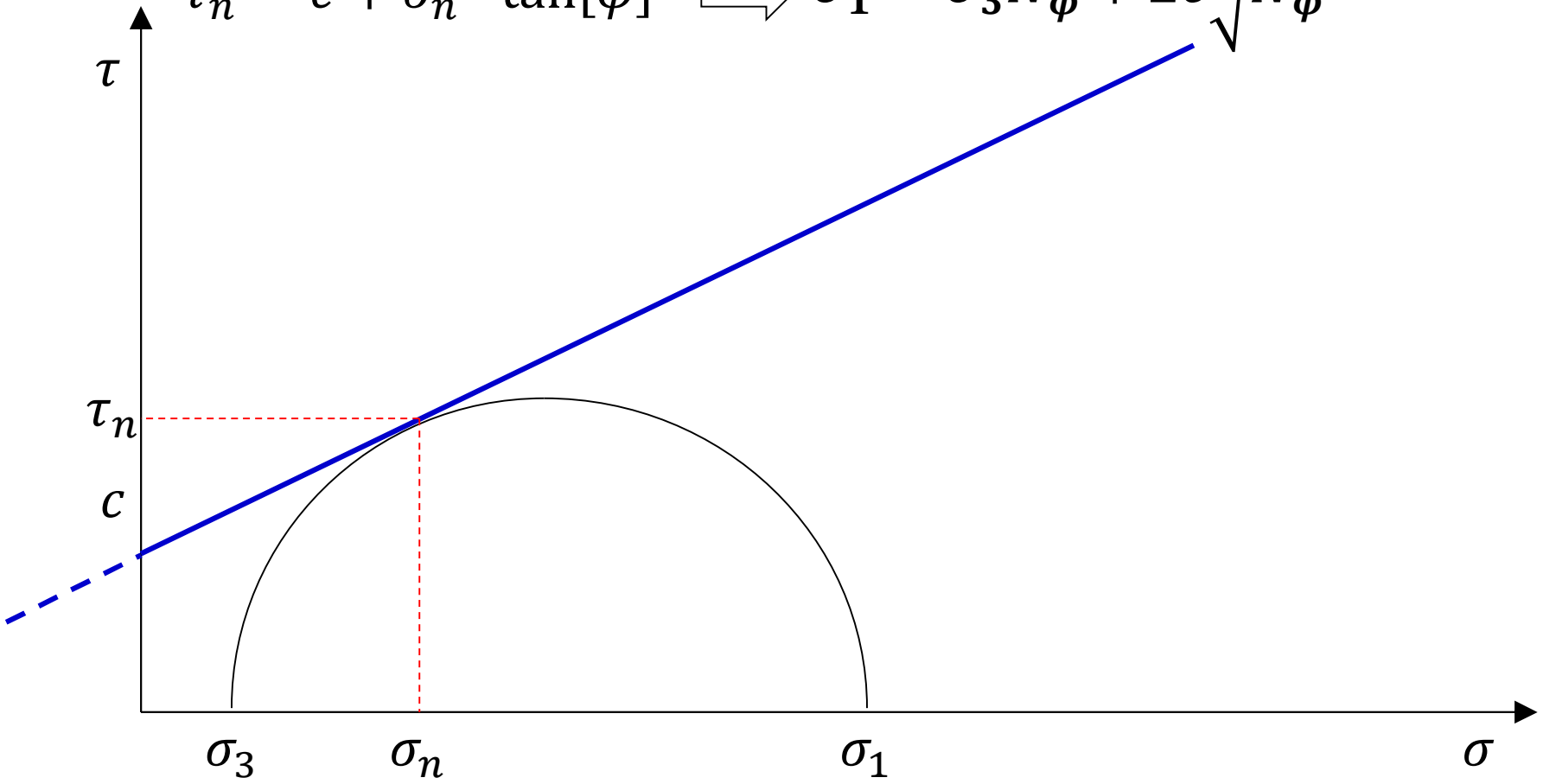
El criterio de Mohr-Coulomb en tensiones principales: suelos puramente friccionales

$$\tau_n = \sigma_n \cdot \tan[\phi] \quad \Rightarrow \quad \frac{\boldsymbol{\sigma_1}}{\boldsymbol{\sigma_3}} = \frac{\mathbf{1} + \mathbf{sin}[\boldsymbol{\phi}]}{\mathbf{1} - \mathbf{sin}[\boldsymbol{\phi}]} = \boldsymbol{N_\phi}$$



El criterio de Mohr-Coulomb en tensiones principales: suelos cementados y rocas

$$\tau_n = c + \sigma_n \cdot \tan[\phi] \Rightarrow \boldsymbol{\sigma_1 = \sigma_3 N_\phi + 2c\sqrt{N_\phi}}$$



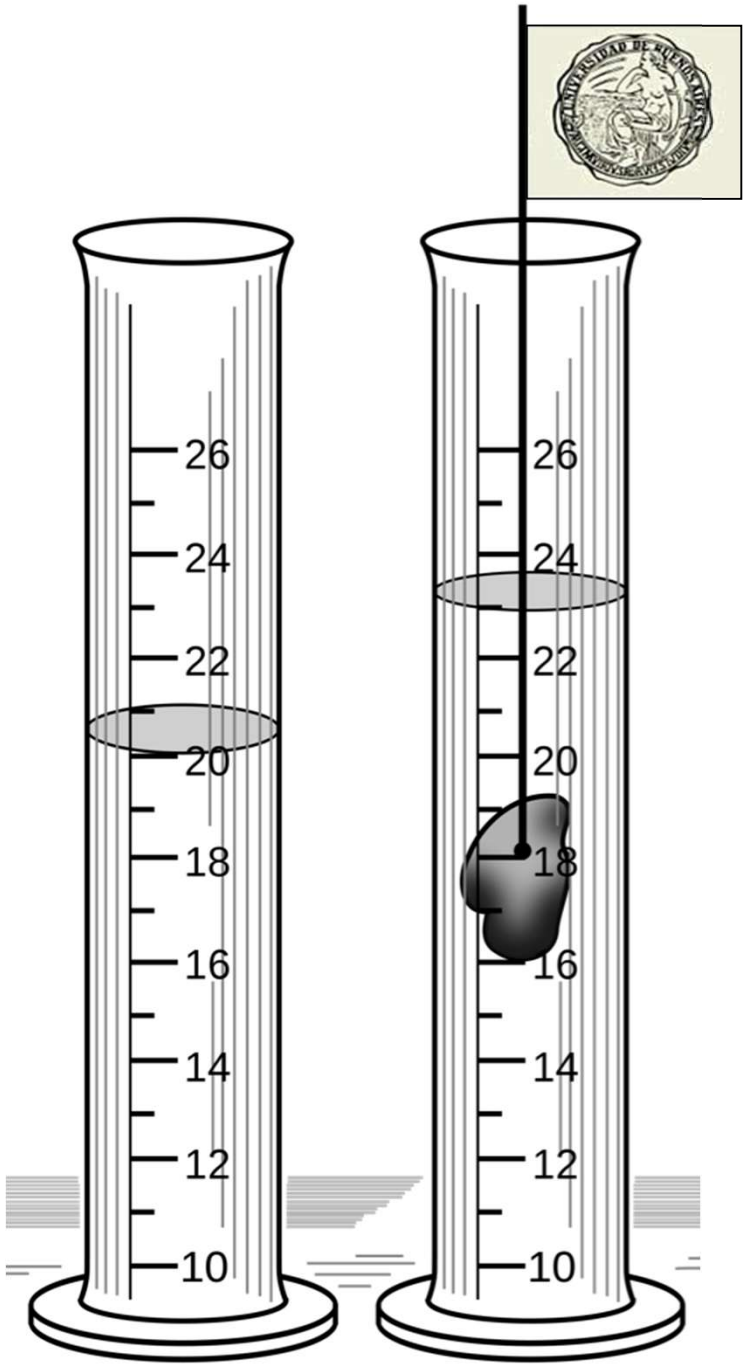
Principio de Arquímedes

Un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo recibe un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del volumen del fluido que desaloja

La aplicación de este principio a los suelos dio origen a la Mecánica de suelos

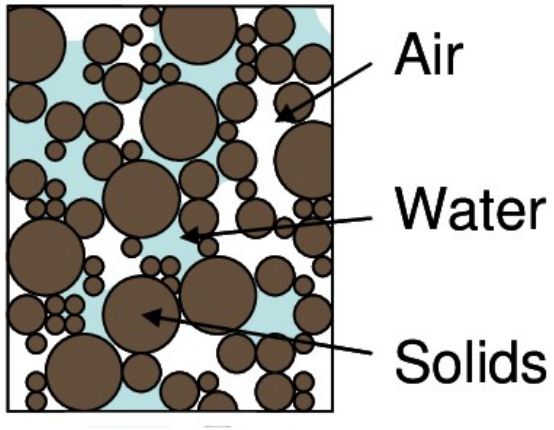
$$W' = W - E = \gamma \cdot V - \gamma_w \cdot V$$

$$\boldsymbol{\sigma' = \sigma - u}$$



(Michael Malak, Wikipedia)

Definición de medio poroso



Un medio poroso es un sólido con poros de diferentes tamaños, interconectados o aislados

- Suelos, rocas y hormigones
- Maderas, plantas, huesos
- Polvos industriales, papel, esponjas, granos
- Nosotros

Siempre hay dos fases que comparten un mismo espacio

- Sólida: partículas de suelo y hielo
- Fluida: agua, aire, CO_2, hidrocarburos

Sólido multifase: la característica que separa a la mecánica de suelos del resto de la mecánica del continuo