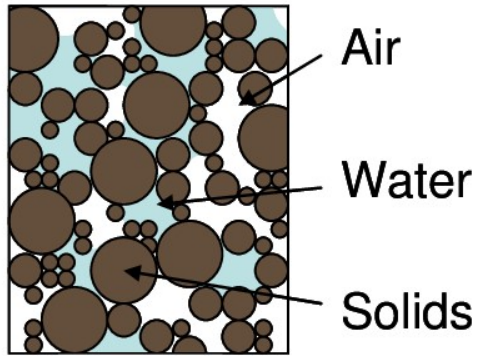


# Introducción a la ingeniería geotécnica



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](mailto:asfriso@fi.uba.ar)

Profesores:

Ing. Ernesto Strina

[estrina@fi.uba.ar](mailto:estrina@fi.uba.ar)

MSc. Mauro Codevilla

[mcodevilla@fi.uba.ar](mailto:mcodevilla@fi.uba.ar)

Ing. Jorge G. Laiún

[jlaiun@fi.uba.ar](mailto:jlaiun@fi.uba.ar)

Dra. Maria Victoria Altinier

[maltinier@fi.uba.ar](mailto:maltinier@fi.uba.ar)

Colaboradores:

Ing. Pedro Fernandez

[pmfernandez@fi.uba.ar](mailto:pmfernandez@fi.uba.ar)

Ing. Agustín Pileggi

[apileggi@fi.uba.ar](mailto:apileggi@fi.uba.ar)

Ing. Camilo Casagrande

[ccasagrande@fi.uba.ar](mailto: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 teórico-prácticas: Ma y Vi 15:00/19:00
  - Clases demostrativas en laboratorio (LAB1 a LAB5)
  - Consultas: lab suelos, Lu - Vi 13:30/19:30 (**previo aviso**)
- Comunicaciones:
  - Las comunicaciones de la cátedra son a través del campus
  - Pueden realizar consultas a los mails de los docentes

# 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 2C 2024



SEM	MOD	TEMA 15hs -17hs "TEÓRICA"	TEMA 17hs -19hs "PRÁCTICA"	BIBLIOGRAFÍA BÁSICA
1	M1	101 Intro Ing Geotecnia	102 Clasificación de suelos	Craig: 1.1 a 1.6
2		103 Presiones efectivas	Ejercicios M1	Craig: 3.1, 3.2, 3.5
3		104 Hidraulica de suelos	105 Intro Geologia	Craig: 1.7
4		Ejercicios M1	LAB 1 - propiedades físicas	Craig: 2.1 a 2.6, 2.9, 2.10, 3.7
5	M2	107 Compactacion y suelo cemento	106 Geologia estructural e hidrogeología	Tarback
6		Ejercicios M1	LAB 2 - propiedades hidráulicas	
7		108 Introducción suelos no saturados	Ejercicios M1	
8		Ejercicios M1	LAB 3 - compactación suelos	
9		201 Compresion unidimensional	Ejercicios M1	
10		202 Consolidacion de suelos	Ejercicios M2	Craig: 3.4, 4.4 a 4.7, 4.10
11		<b>EVALUACIÓN SUELOS - M1</b>	Ejercicios M2	Craig: 4.1 a 4.3, 4.11
12		203 Resistencia al corte	LAB 4 - Consolidación	
13	204 Resistencia y rigidez - arenas	Ejercicios M2		
14	205 Resistencia y rigidez - arcillas	LAB 5 - Triaxial	Craig: 5.4 a 5.6	
15	Ejercicios M2	206 Macizos rocosos		
16		<b>FERIADO</b>		Craig: 5.8, 5.9
17		207 Ensayos in situ	<b>Ejercicios M2 - 1° RECUP M1</b>	Craig: 6.2, 6.5, 6.6, 7.1 a 7.6
18		207 Ensayos in situ (continuado)	Ejercicios M2	
19	M3	301 Elasticidad	Ejercicios M2	
20		302 Plasticidad	Ejercicios M2	Craig: 5.1 a 5.3, 8.5 a 8.6, 8.8
21		<b>EVALUACIÓN SUELOS - M2</b>	Ejercicios M3	Craig: 8.1 a 8.4
22		303 Equilibrio Limite	303 Equilibrio Limite	
23		304 Estabilidad de taludes	<b>Ejercicios M3 - 2° RECUP M1</b>	
24		305 Estructuras de contencion	305 Estructuras de contencion (continuado)	Craig: 12.3 a 12.4
25		306 Capacidad de carga	Ejercicios M3	Craig: 8.3 y 8.4
26		307 Diseño de fundaciones superficiales	<b>Ejercicios M3 - 1° RECUP M2</b>	Craig: 8.9, 10.1 a 10.4
27		308 Fundaciones profundas	Ejercicios M3	Craig: 9.1 a 9.3, 9.5, 9.7 y 9.8
28		309 Suelos de Buenos Aires	LAB 6 - Interacción terreno-estructura	
29	310 Obras civiles en Buenos Aires	Ejercicios M3		
30	LAB 6 - Empujes, Capacidad de carga	<b>Ejercicios M3 - 2° RECUP M2</b>		
31		<b>EVALUACIÓN SUELOS - M3</b>	Invit. Tesis & especialización geotecnia	
32				
33		<b>1° RECUP M3</b>		
34		<b>2° RECUP M3</b>		



# Modalidad de evaluación y aprobación

- Tres exámenes parciales (**M1, M2, M3**)
  - Evaluación escrita, a libro cerrado
  - Cada examen puede 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  $(P_1 + P_2 + P_3)/3 \pm \textit{coloquio}$**

# Desconocimientos descalificatorios



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

- Geología: tipos de roca, caracterización de macizos rocosos
- Clasificación de suelos: límites de Atterberg; granulometría, clasificación SUCS
- Propiedades índice: humedad, relación de vacíos, pesos unitarios
- Hidráulica: presiones totales, efectivas y de poros; ley de Darcy; concepto de red de escurrimiento
- Compresión unidimensional: suelos normalmente consolidados y preconsolidados; cálculo de asentamientos por compresión unidimensional



# Desconocimientos descalificatorios



- Resistencia al corte: ángulo de fricción interna máximo y crítico, cohesión efectiva de suelos cementados, resistencia al corte drenado y no drenado, selección de parámetros para diferentes tipos de suelo
- Relación resistencia – dilatancia: ángulo de fricción interna de arenas sueltas y densas, ángulo de fricción interna de arcillas normalmente consolidadas y preconsolidadas
- Ensayos de campo: ensayo SPT, ensayo CPTu, ensayo PMT, correlaciones con parámetros de resistencia
- Equilibrio límite: teorema de límite inferior y superior
- Elasticidad: método Schmertmann para calcular asentamientos

# Desconocimientos descalificatorios



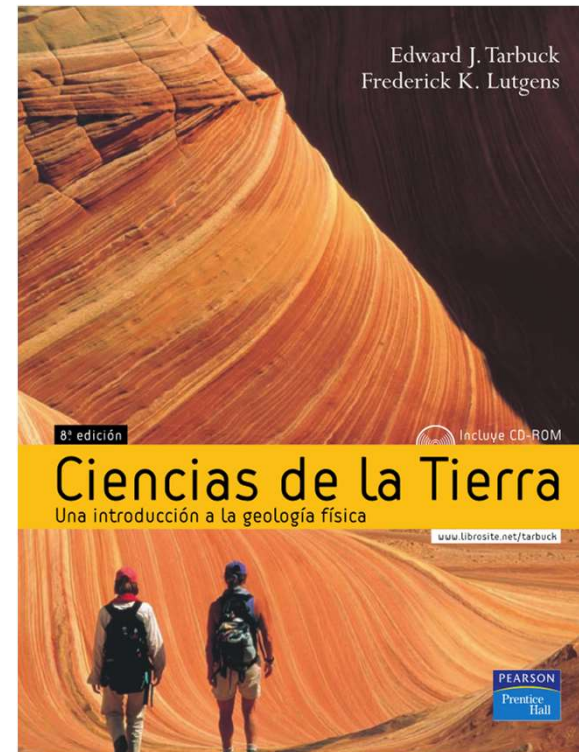
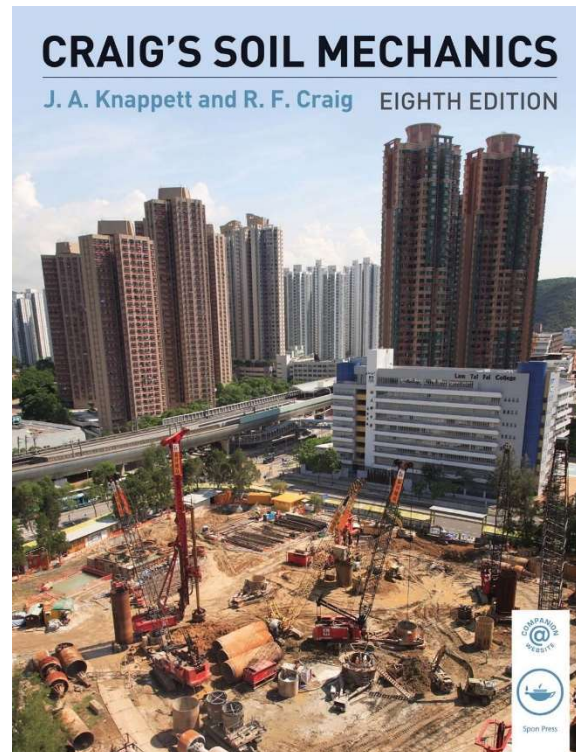
- Plasticidad: función de fluencia
- Empuje de suelos: empuje activo, pasivo y en reposo, métodos de Rankine y Coulomb, diferencia entre estructuras de contención rígidas y flexibles, definición de seguridad al deslizamiento y volcamiento
- Capacidad de carga: fórmula de Brinch Hansen, análisis drenado y no drenado
- Pilotes: resistencia de punta y fuste en arenas y arcillas
- Estabilidad de taludes: concepto de métodos de dovelas, coeficientes de seguridad, análisis drenado y no drenado

# Bibliografía básica del curso

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



- **Mec. Suelos:** Craig's. Soil mechanics. Spon Press. 8<sup>va</sup> edición
- **Geología:** Tarbuck, Lutgens. Ciencias de la Tierra. 8<sup>va</sup> edición



# Bibliografía complementaria del curso

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

## Ingeniería Geológica & Geología

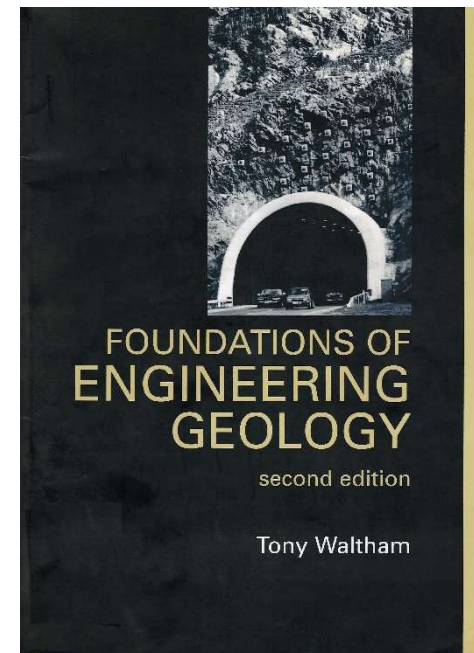
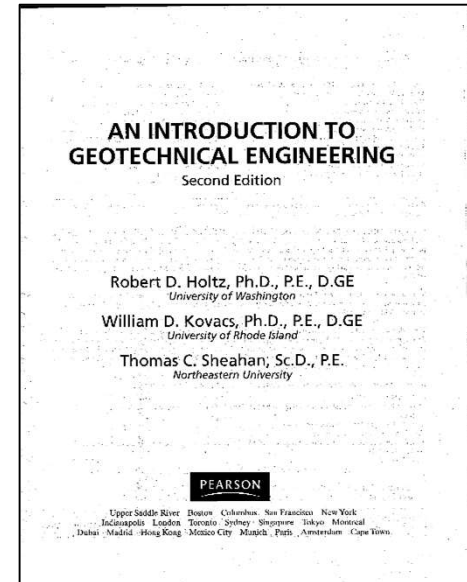
- **Waltham. Foundations on Engineering geology. Spon**

## Mecánica de Suelos

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

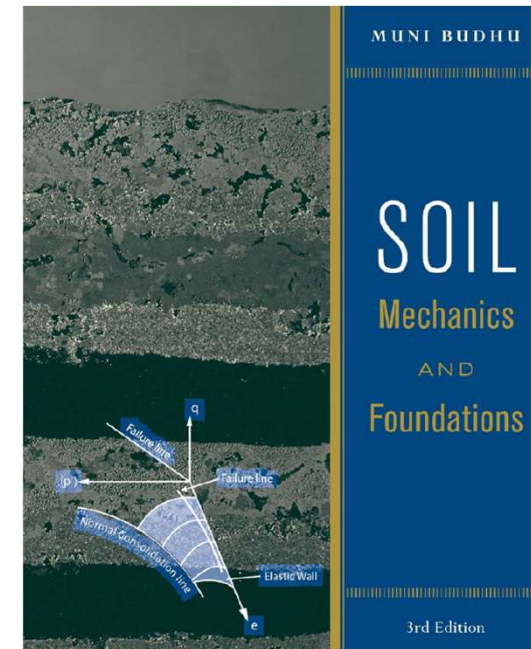
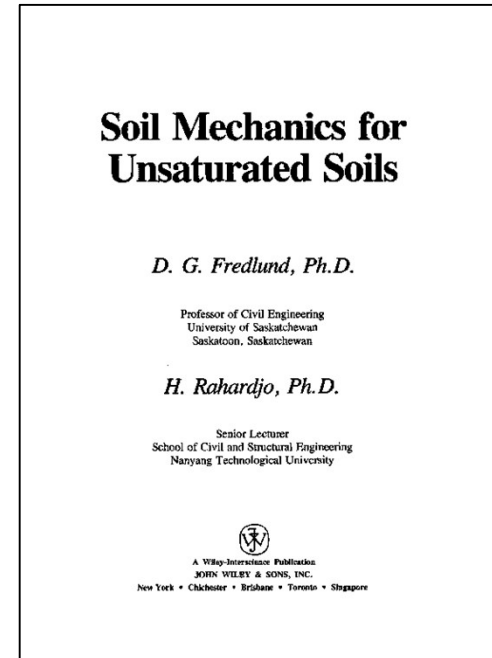
## Mecánica de Rocas

- 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



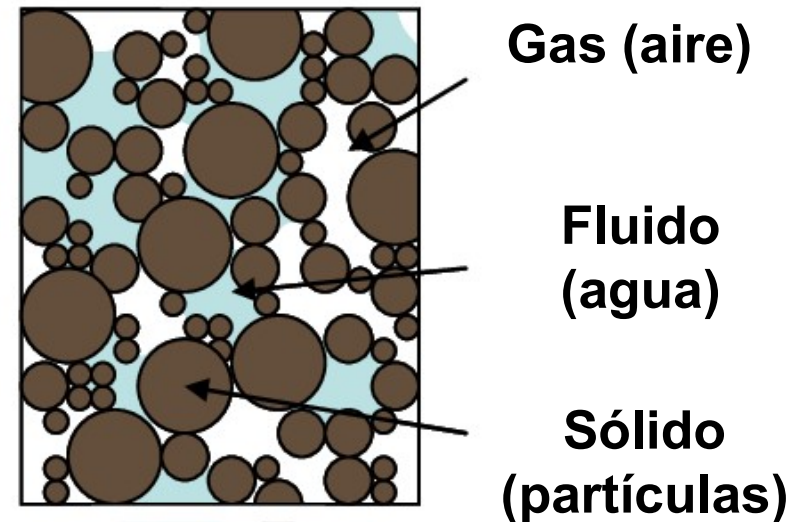
**Una piedra (roca) lastima**

# Mecánica de suelos y rocas (geotecnia)



La **Mecánica de suelos / rocas (geotecnia)** es una ciencia aplicada que estudia el **comportamiento mecánico** e hidráulico 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**



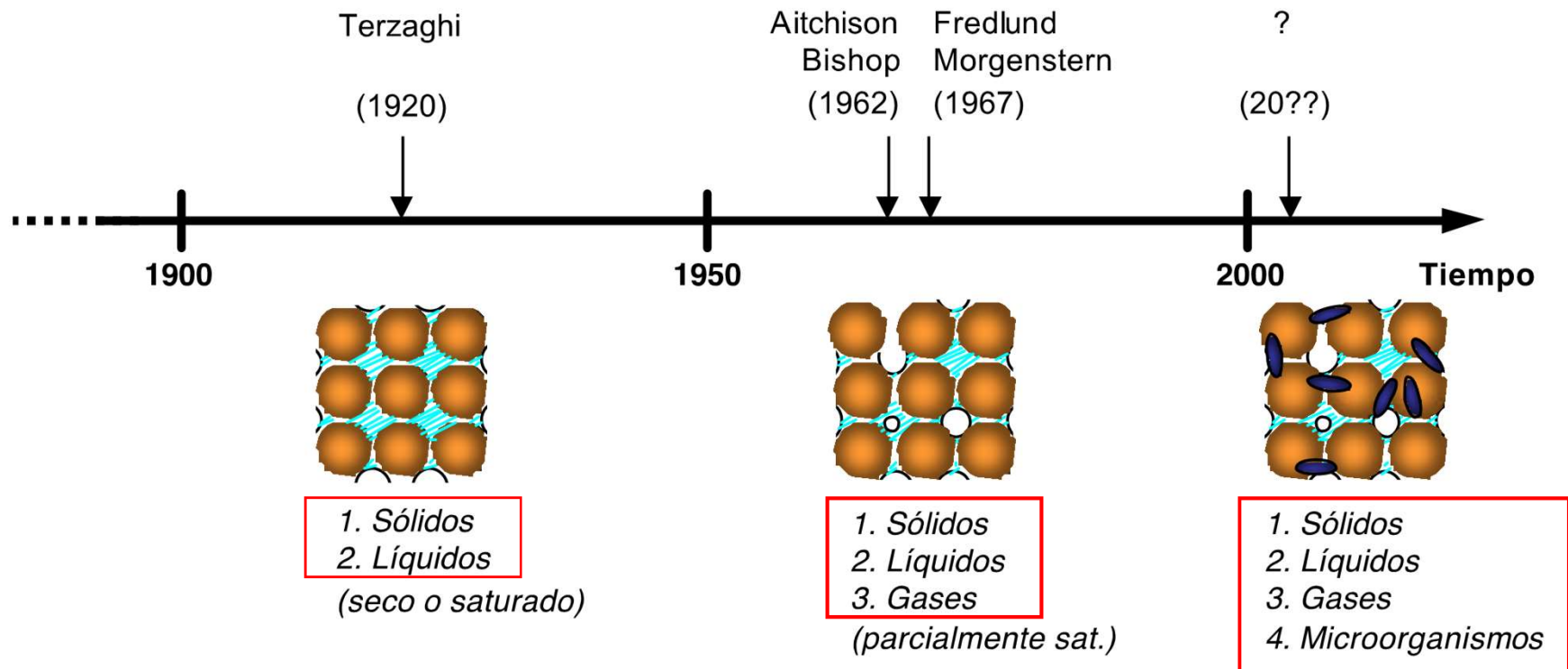
La ciencia nació en 1934 (K. Terzaghi)





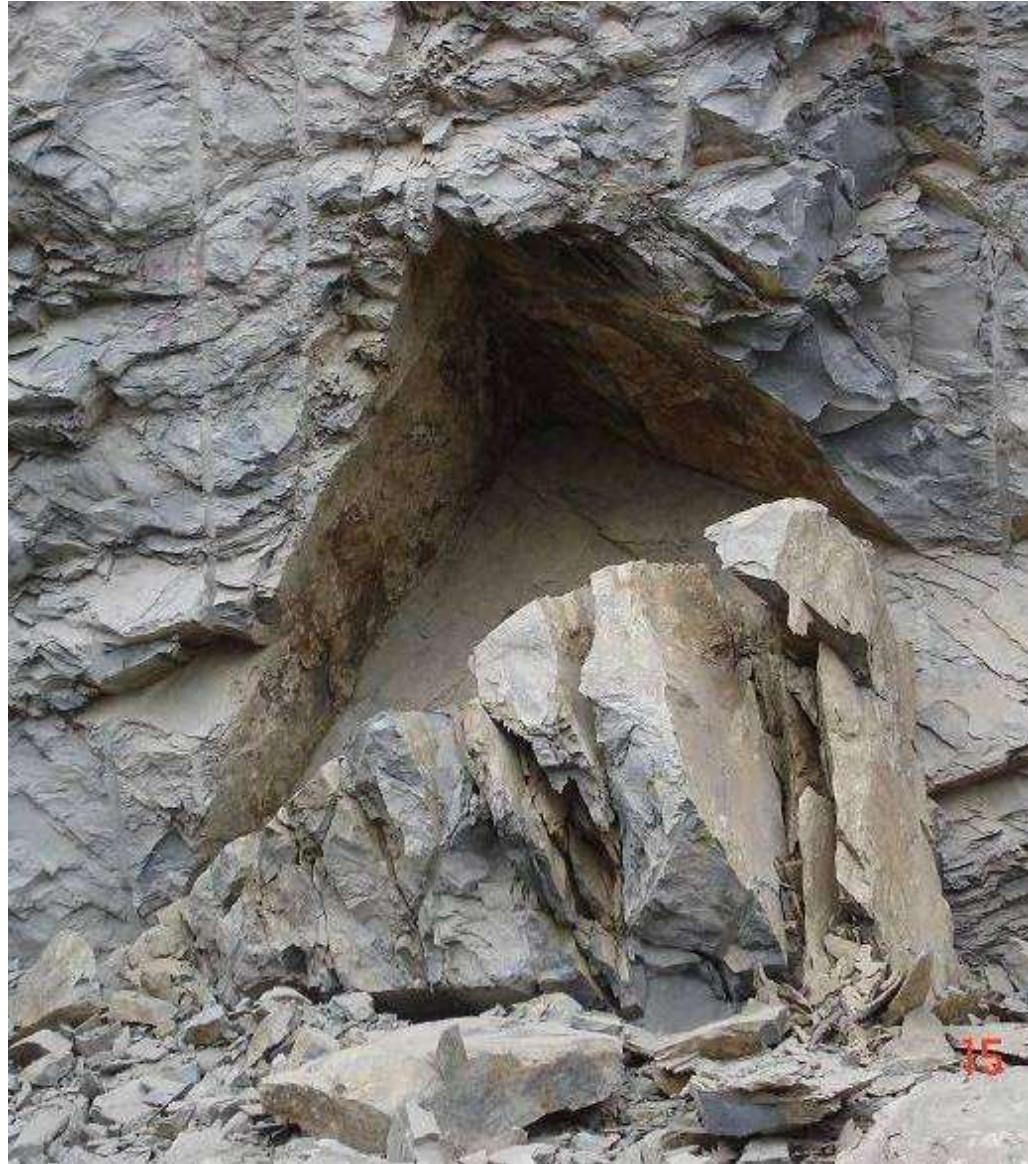
# Evolución del concepto del comportamiento de los suelos en el siglo XX

- sólido + líquido + gas + microorganismos + ...



(Santamarina & Narsilio)

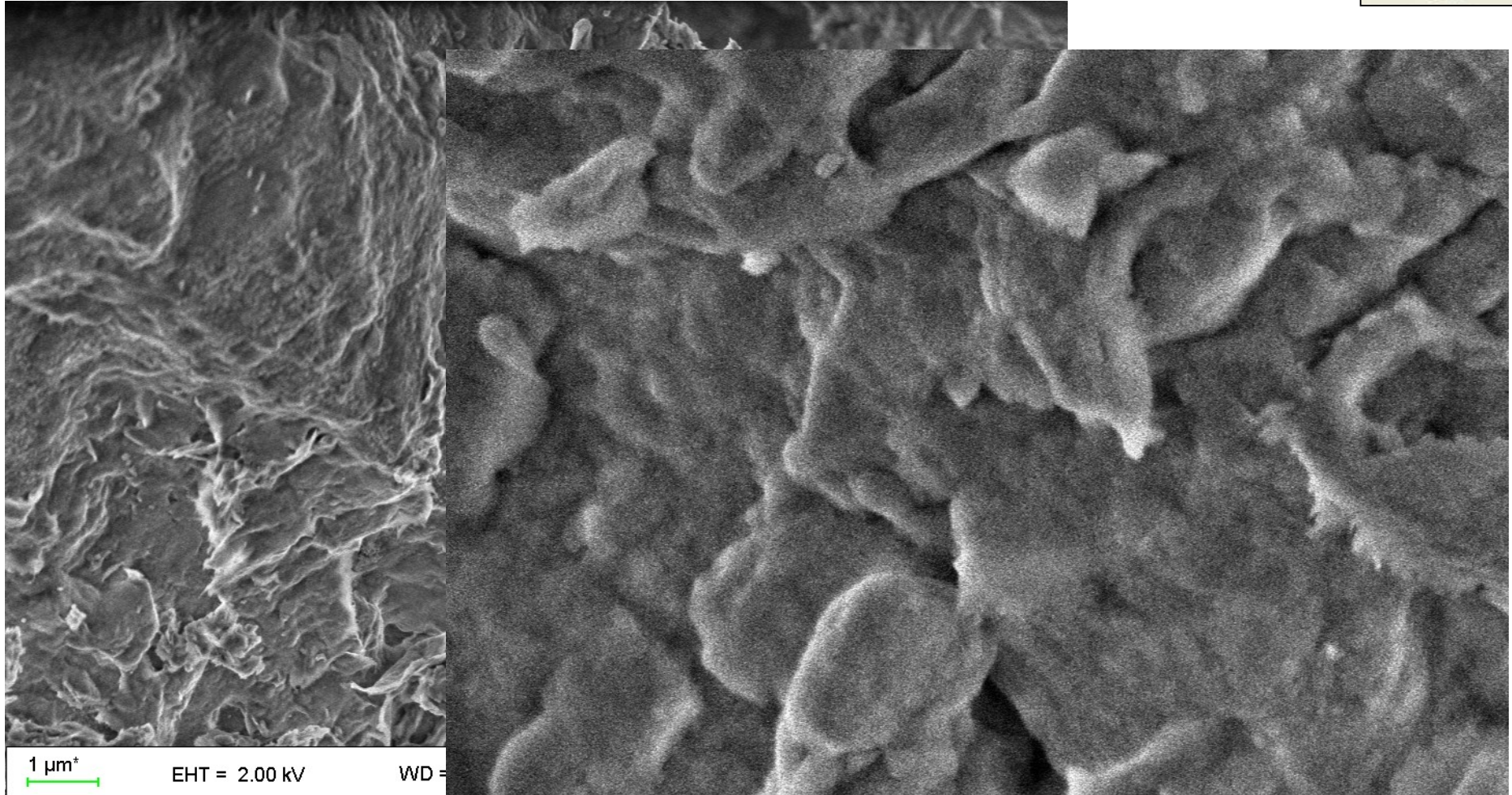
# Macizos rocosos (m, dm)



# Suelos de grano grueso (cm, mm)



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



1 $\mu m^*$	EHT = 2.00 kV	WD =					
10 $\mu m^*$	EHT = 2.00 kV	WD =	100 $nm^*$	EHT = 2.00 kV	WD = 5.9 mm	Mag = 150.00 K X	Signal A = InLens
20 $\mu m^*$	EHT = 2.00 kV	WD =	200 $nm^*$	EHT = 2.00 kV	WD = 5.2 mm	Mag = 150.00 K X	Signal A = InLens
30 $\mu m^*$	EHT = 2.00 kV	WD =	200 $nm^*$	EHT = 2.00 kV	WD = 5.3 mm	Mag = 100.00 K X	Signal A = InLens
100 $\mu m^*$	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**



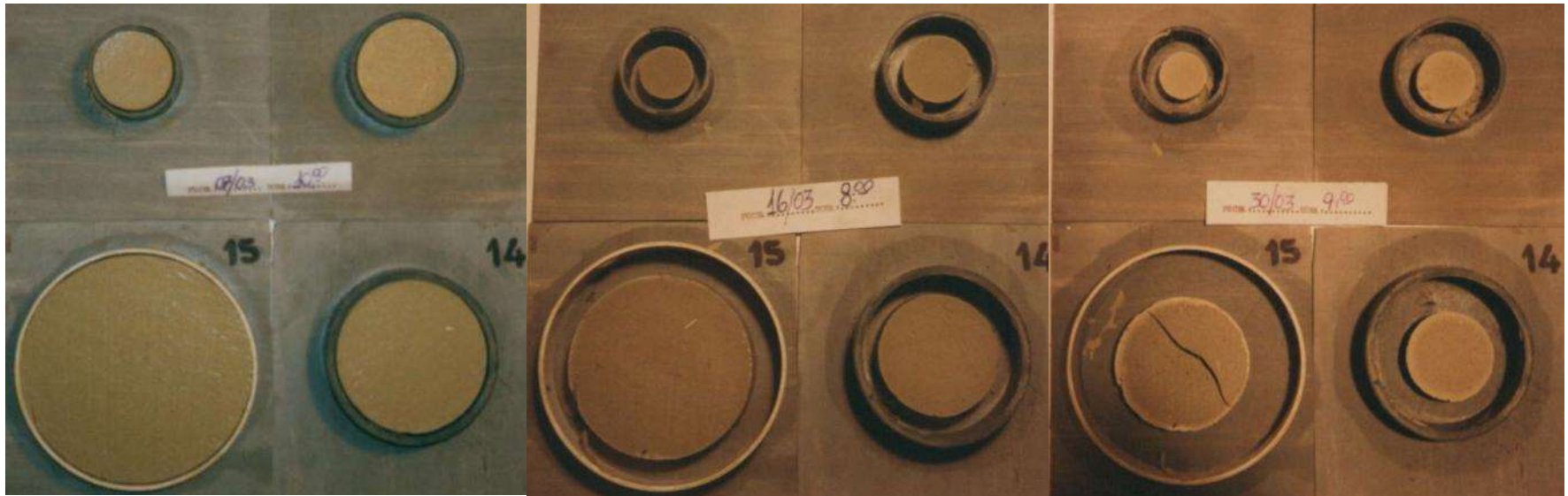
(Torre de Pisa 2005)

# Se miden y se estudian los fundamentos y las aplicaciones



- Parte I (M1 y M2): Propiedades físicas, mecánicas, hidráulicas
- Parte II (M3): Diseño ingenieril (plateas, 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>

The screenshot shows the homepage of the ISSMGE Virtual University. At the top left is the ISSMGE logo and the word "About". On the right are "Register" and "Sign in" buttons. A large red banner in the center reads "ISSMGE Virtual University" and "An Open Access Educational Platform". Below this is a navigation bar with tabs for "All", "Courses", "Honour/Keynote Lectures", "Short Educational Videos", and "Webinars", along with a "Select Subject" dropdown menu. The main content area displays four course cards:

- Course: Earthquake Engineering**  
Instructors: Ikuo Towhata, George Gazetas, Misco Cubrinovski  
Thumbnail: Soil Dynamics and Seismic Geotechnical Engineering
- Course: Foundations**  
Instructors: F Rausche, H Poulos, L Laloui, MJ Cassidy  
Thumbnail: Multiphysical Processes and Design of Thermo-Active Foundations
- Course: Risk-Mitigation, Monitoring & Observational Methods**  
Instructors: Jean-Louis Briaud, Zenon Medina-Cetina, Marco Uzielli, An Bing Huang, Marc Ballouz  
Thumbnail: Construction site with monitoring equipment
- Course: In-Situ Testing**  
Instructors: Sebastiano Foti, Fernando Schnaid, Peter Robertson, Keneth H. Stokoe  
Thumbnail: Introduction to Cone Penetration Testing



# 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](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)



# Fundaciones en terrenos compresibles saturados cargados en forma “rápida”



([http://archiseek.com/gifs/winnipeg\\_grainsilos.jpg](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](http://www.technoproject.com.mx/images/thumb_01%20Foto%20Portada.JPG))



(Sfriso – Los Caracoles – 2008)

# Grandes excavaciones (rajos mineros)







# Estructuras de contención lateral (sistema de anclajes)



# 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



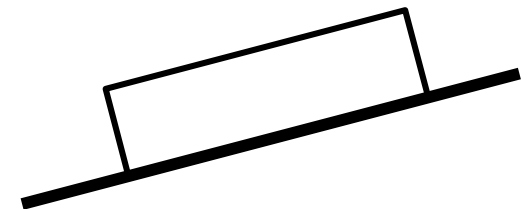
## Tensión vs resistencia (pizarrón)

- 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  $15^\circ$
- **¿Cuanto es la tensión de corte? ¿Y la resistencia?**
- **¿Cual es el coeficiente de seguridad?**

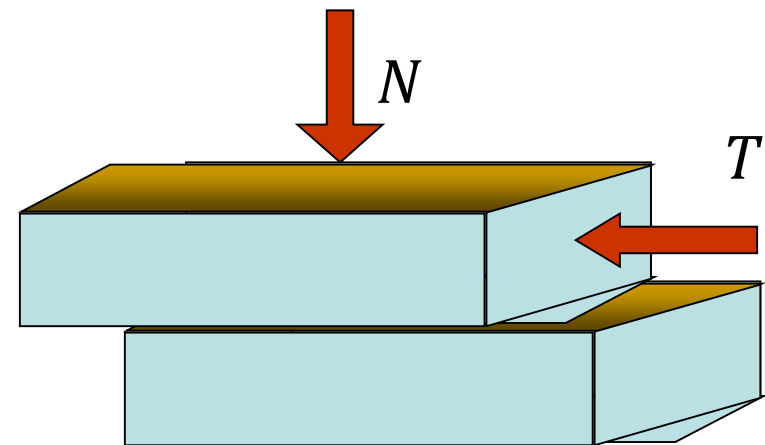
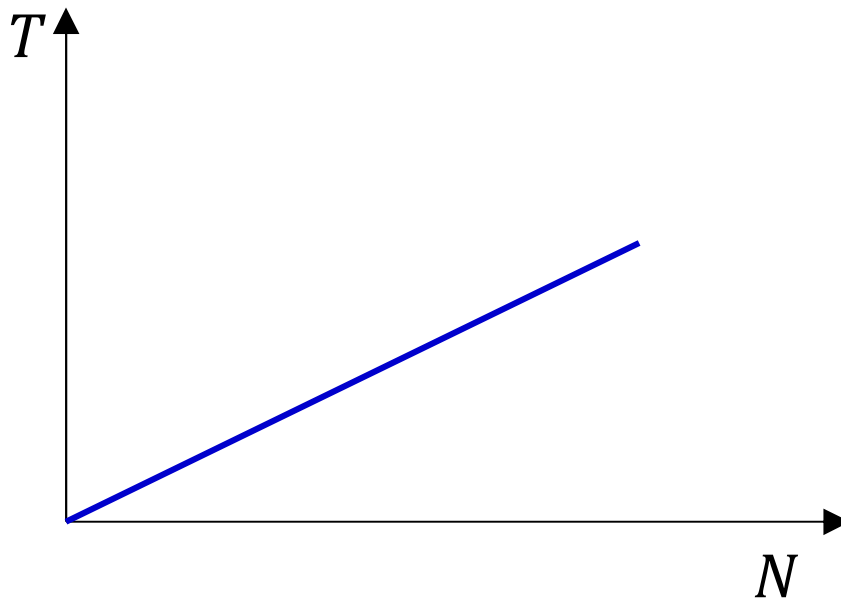




# El criterio de Mohr-Coulomb para superficies en contacto

$$T = N \cdot \mu$$

Coeficiente de fricción





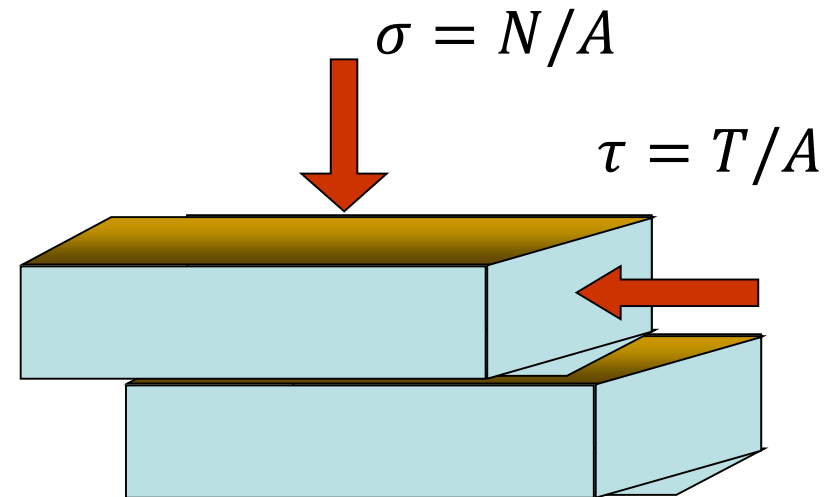
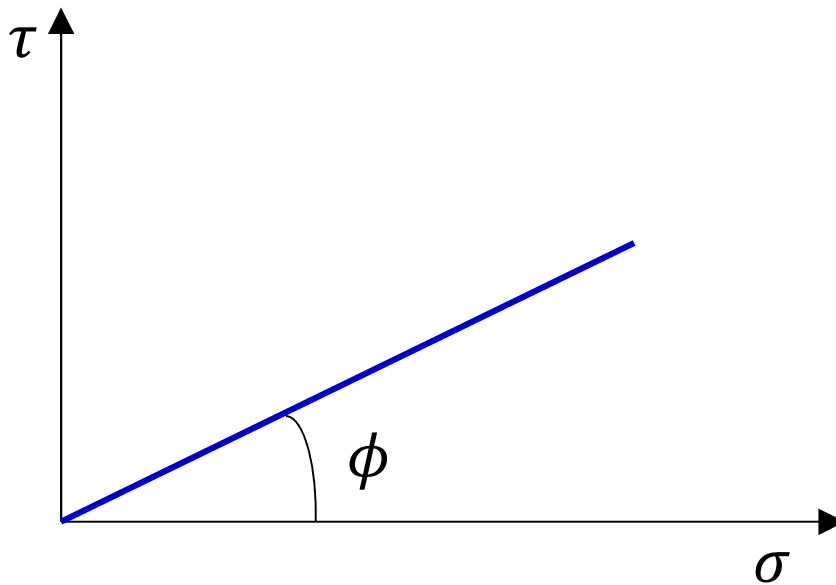
# El criterio de Mohr-Coulomb para superficies en contacto

$$T = N \cdot \mu$$

Coeficiente de fricción

$$\tau = \sigma \cdot \tan[\phi]$$

Ángulo de fricción interna





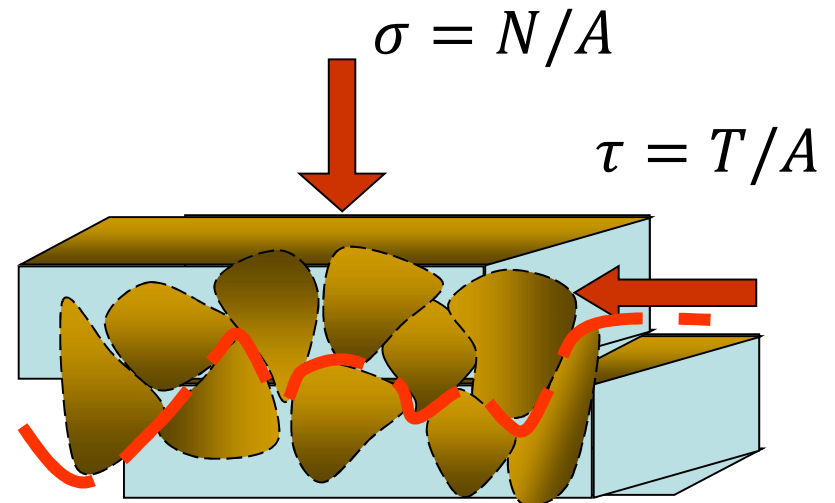
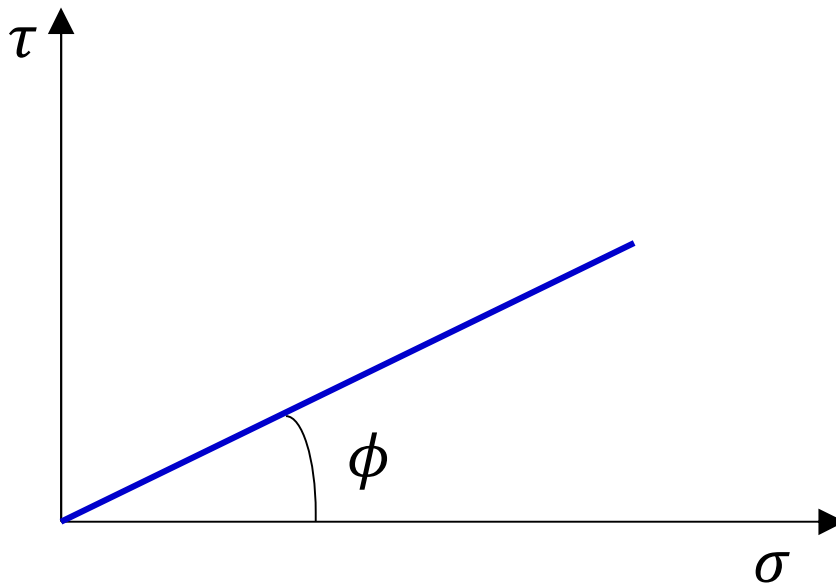
# El criterio de Mohr-Coulomb y el ángulo de fricción interna

$$T = N \cdot \mu$$

Coeficiente de fricción

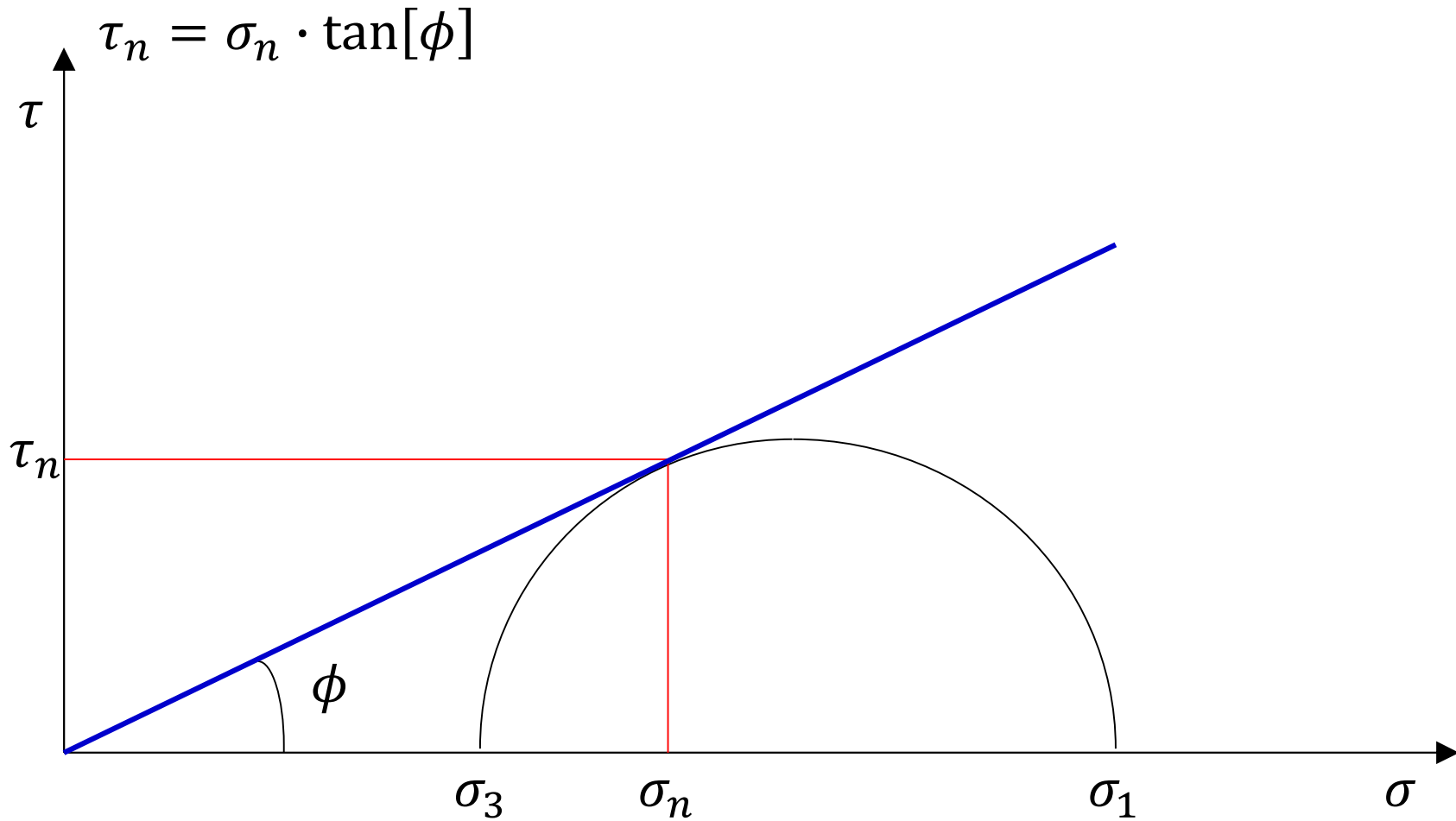
$$\tau = \sigma \cdot \tan[\phi]$$

Ángulo de fricción interna





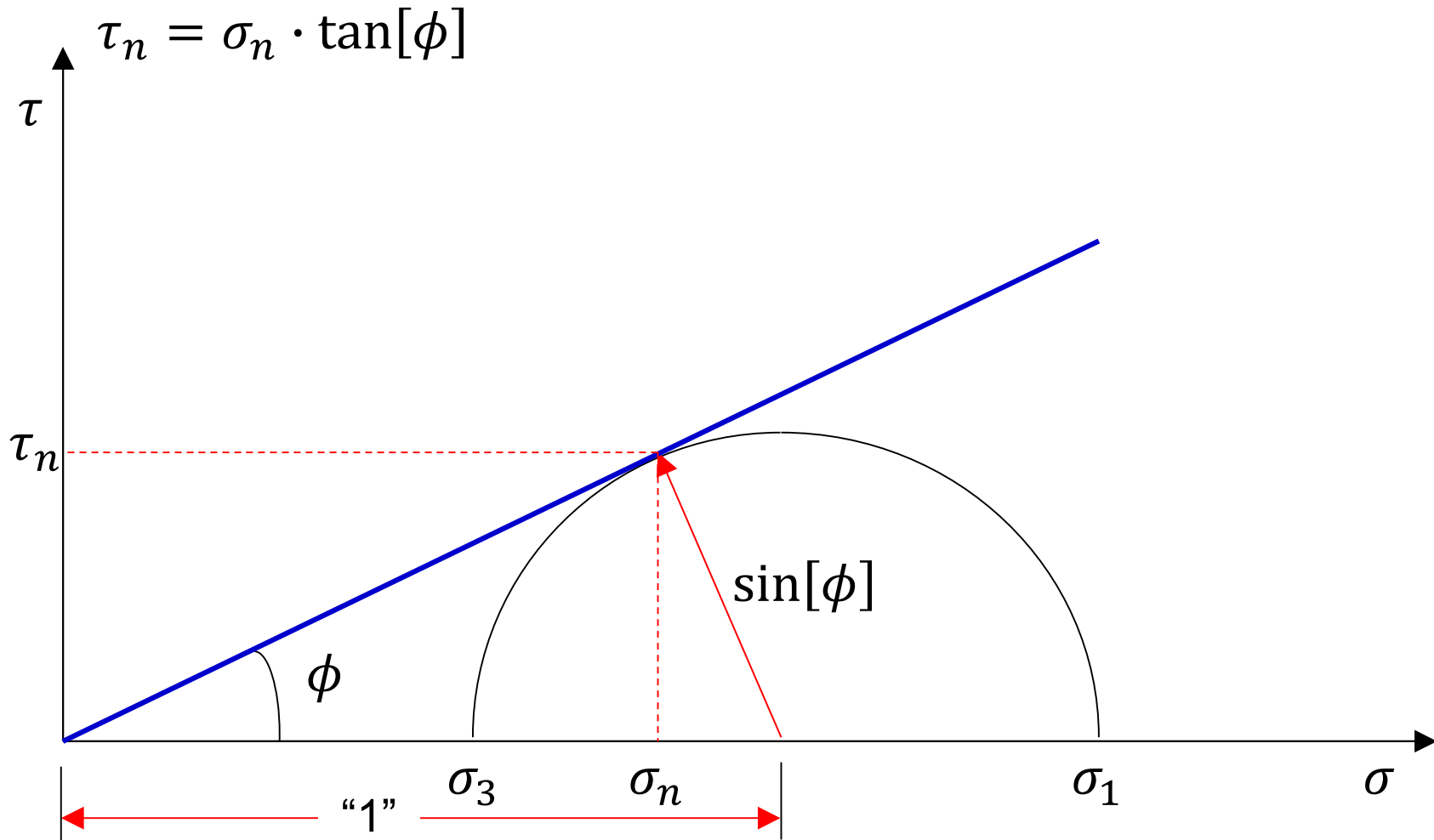
# El criterio de Mohr-Coulomb en tensiones principales: suelos puramente friccionales





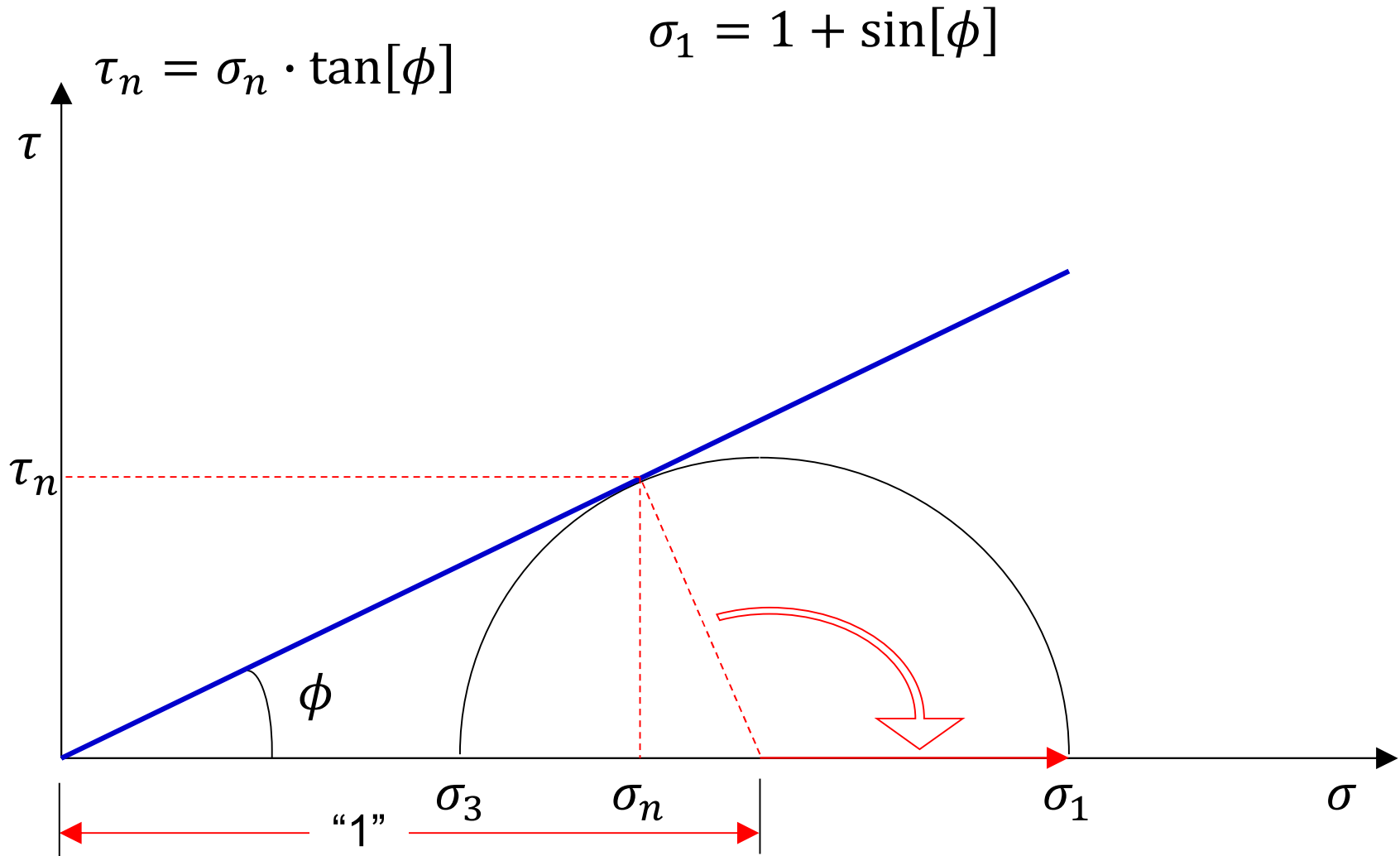


# El criterio de Mohr-Coulomb en tensiones principales: suelos puramente friccionales



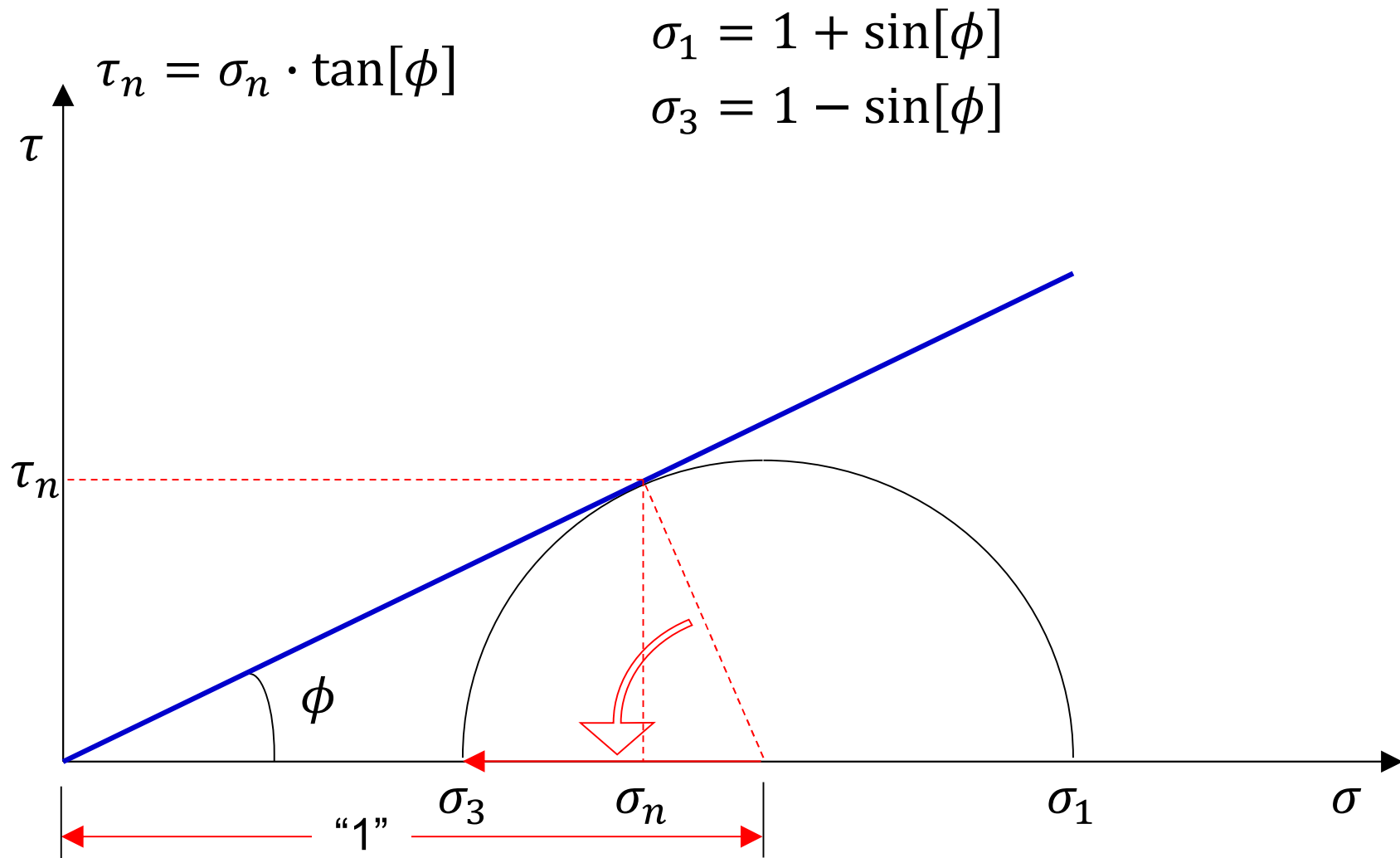


# El criterio de Mohr-Coulomb en tensiones principales: suelos puramente friccionales



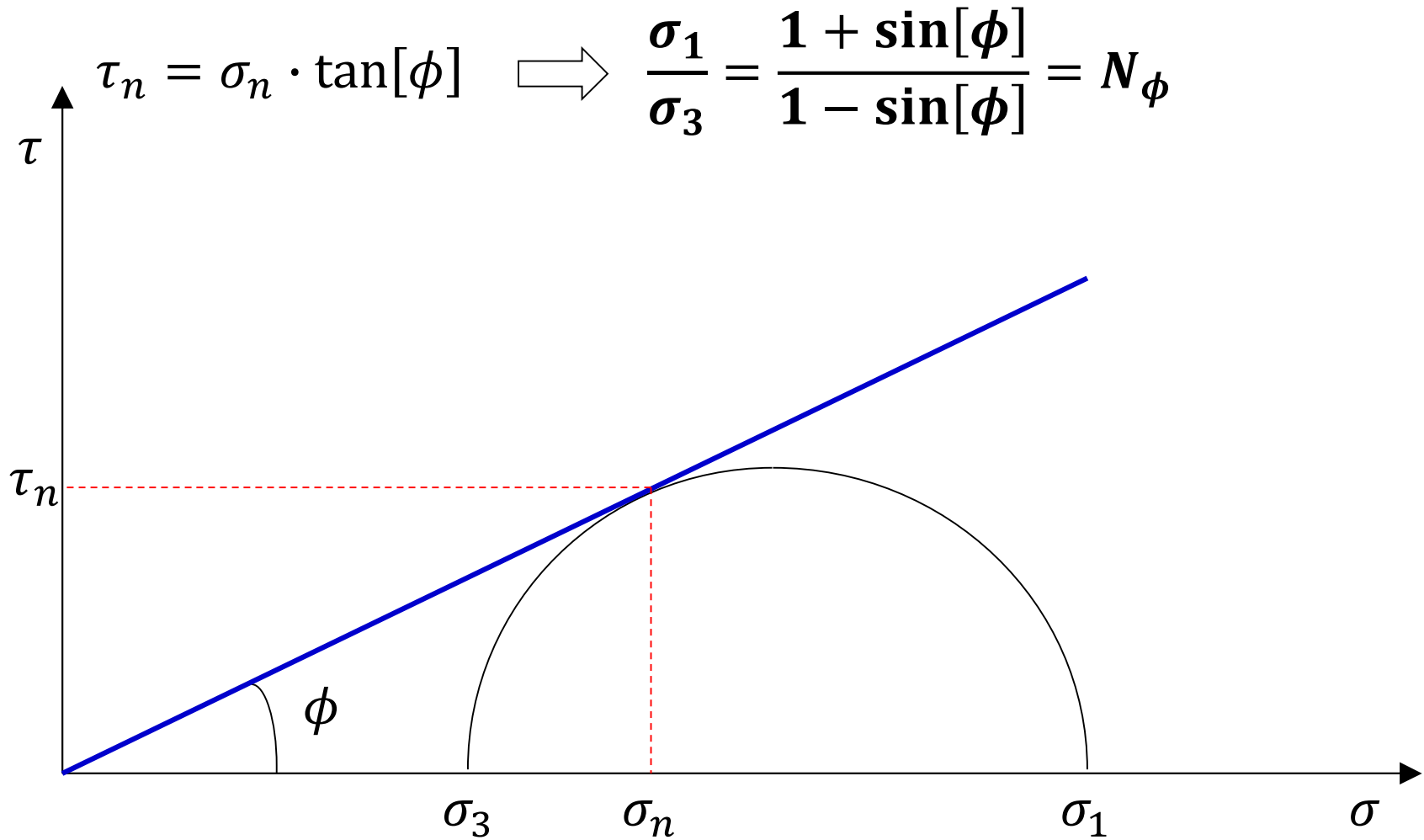


# El criterio de Mohr-Coulomb en tensiones principales: suelos puramente friccionales



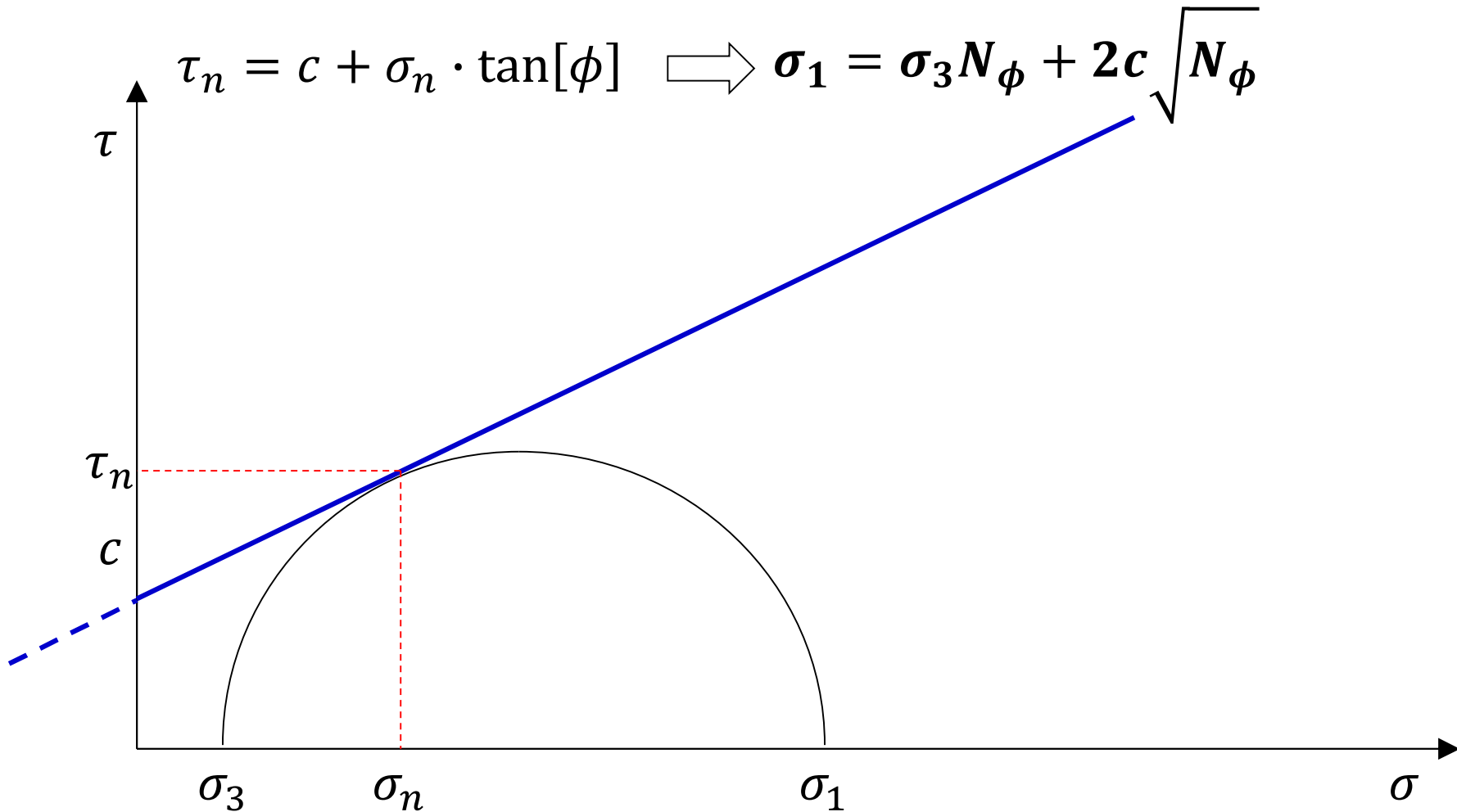


# El criterio de Mohr-Coulomb en tensiones principales: suelos puramente friccionales





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



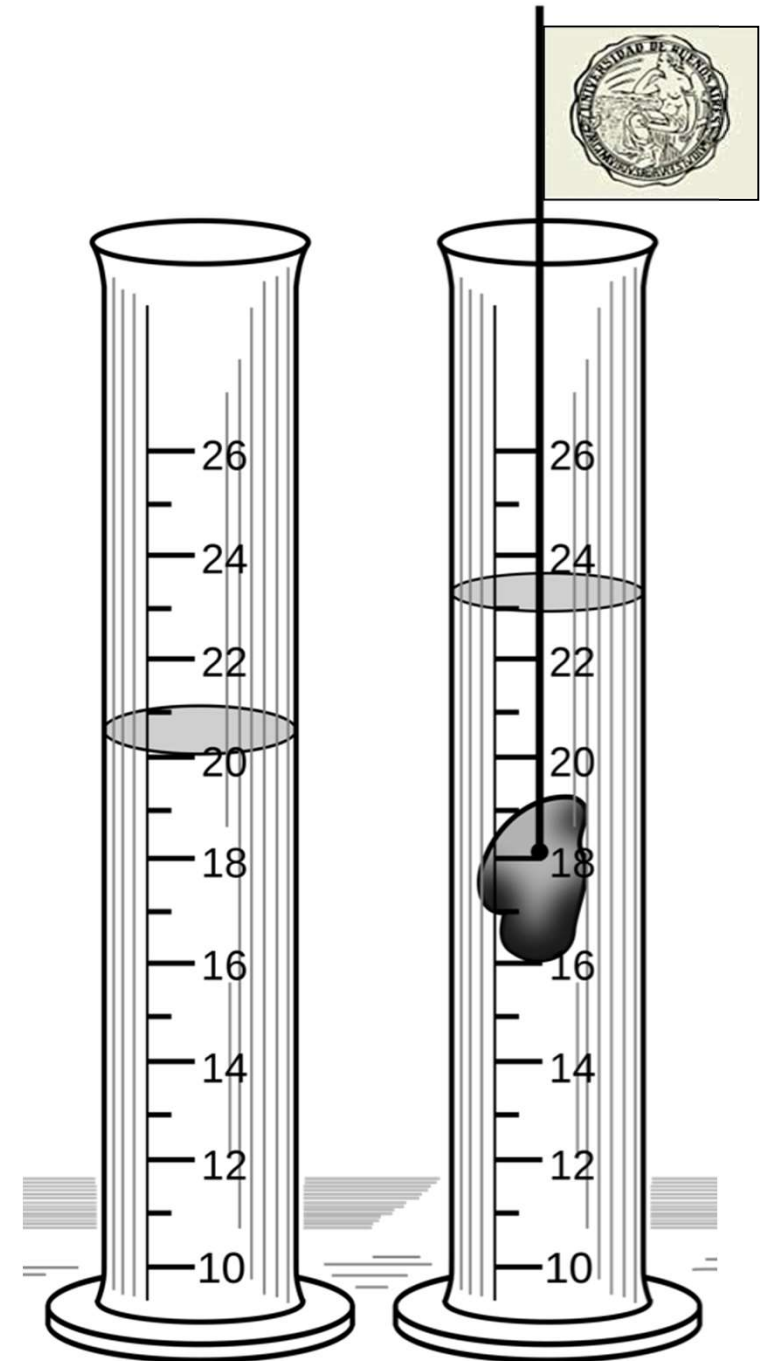
# Principio de Arquímedes

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

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

$$\sigma' = \sigma - u$$



(Michael Malak, Wikipedia)

# Definición de medio poroso



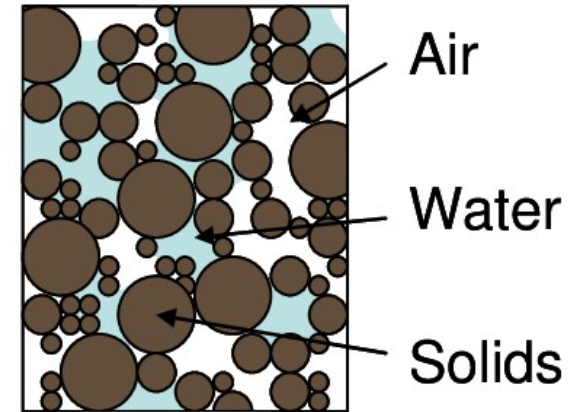
Un medio poroso es un sólido con poros de diferentes tamaños, interconectados o aislados

- 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,  $\text{CO}_2$ , hidrocarburos

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





¿ Se puede  
caminar por  
arriba?