

# Mecánica Avanzada de Suelos

## MCieTAT (UPCT)



## Tema 4

# Expansividad y licuefacción

Prof. Gonzalo García Ros



# ÍNDICE

**Suelos con problemáticas especiales**

**Expansividad en suelos**

**Suelos dispersivos**

**Suelos salinos y agresivos**

**Suelos colapsables**

**Permafrost**

**Fangos blandos y sensitivos**

**Suelos licuefactables**

**Referencias**



## **Tipos de suelo con problemática especial**

Los problemas considerados como especiales se pueden poner de manifiesto por la propia naturaleza, o bien a causa del hombre, que con sus obras puede interferir en el equilibrio natural y alterarlo.

En ese sentido cabe distinguir los problemas propios de:

- Las arcillas expansivas.
- Los suelos dispersivos.
- Los suelos salinos y agresivos.
- Los suelos colapsables.
- El permafrost.
- Los fangos y suelos muy blandos y sensitivos.
- Los suelos licuefactables.

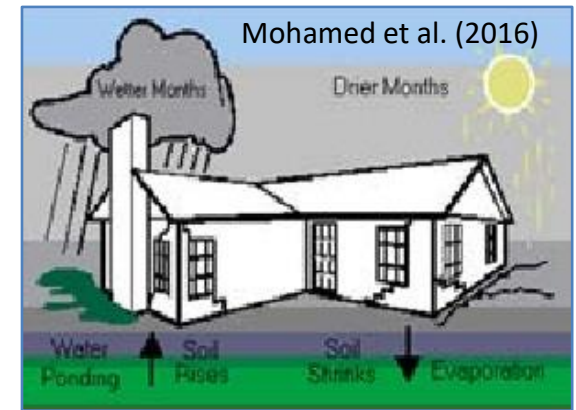
En el comportamiento de algunos de estos suelos influyen, además de su constitución, las variaciones climáticas (como sucede con los suelos expansivos y con el permafrost). Otros, como los suelos licuefactables, se ven influenciados por procesos geológicos como los terremotos.



### Definición y generalidades

Muchas arcillas plásticas se expanden considerablemente cuando aumenta su contenido en agua, contrayéndose cuando la pierden.

Las cimentaciones ejecutadas sobre esas arcillas están sometidas a grandes esfuerzos como consecuencia de esa expansión, **provocando el levantamiento, el agrietamiento e, incluso, la ruptura de la cimentación.**



A priori, son arcillas con alta probabilidad de ser expansivas aquellas con un Límite Líquido (LL) superior a 40 y con un Índice de Plasticidad (IP) superior a 15. Bajo este nombre (**arcillas expansivas**) se incluyen aquellos **suelos arcillosos** (es decir, con predominancia de partículas de tamaño inferior a 2 micras) **cuya estructura mineralógica les permite absorber agua con un cambio de volumen importante.**

**Expansividad es el aumento de volumen por absorción de agua**, y retracción la disminución de volumen por eliminación del agua.

Por otro lado, denominamos **zona activa** a aquella **profundidad del suelo en el que ocurren cambios periódicos de la humedad.** Determinar el espesor de esta zona es clave cuando nos enfrentamos a un suelo formado por arcillas expansivas.

El **cambio de volumen** (expansividad y retracción) puede estar condicionado por uno o varios de siguientes **factores** (además de los geológicos):

- **Variaciones climáticas.** Estacionales o plurianuales (precipitación, evaporación...)
- **Vegetación** (puede cambiar localmente el contenido de humedad del terreno)
- **Alteraciones en la hidrología** superficial y/o subterránea (desviaciones de cursos naturales de ríos, extracciones de agua en acuíferos...)



**Ensayos de laboratorio para evaluar la expansividad**

**- Ensayo de Lambe**

Proporciona la **presión** que ejerce un suelo **remoldeado** al humectarse en el interior de un molde y reaccionar contra un pistón calibrado (ver figura).

**- Ensayo de presión de hinchamiento**

Proporcionado la **máxima presión** que desarrolla una muestra de **suelo inalterado** (dentro de un **molde edométrico**) cuando, al humectarse, **se impide su hinchamiento**.

**- El ensayo de hinchamiento libre**

Proporciona la **máxima variación de espesor** de una **muestra inalterada** en un **molde edométrico**, cuando se humecta y **se permite la expansión**.

**Aparato de Lambe**





**Grado de expansividad potencial**

Los valores índice de estos tres ensayos, que sirven para fijar el **grado de expansividad potencial** de un suelo, se incluyen en la siguiente tabla:

**Grados de expansividad y valores medios de parámetros geotécnicos**

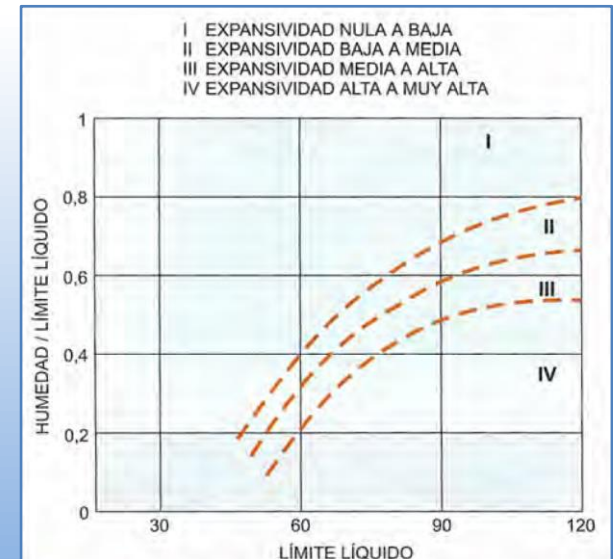
Grado	Expansividad	Finos (%)	Límite líquido	Índice Lambe (kPa)	Presión de hinchamiento (kPa)	Hinchamiento libre (%)
I	Baja	< 30	< 35	< 80	< 25	< 1
II	Baja a media	30-60	35-50	80-150	25-125	1-4
III	Media a alta	60-95	50-65	150-230	125-300	4-10
IV	Muy alta	> 95	> 65	> 230	> 300	> 10

González de Vallejo et al. (2002)

**Criterio de peligrosidad a partir de la expansividad**

En el mapa de arcillas expansivas de España se señalan las zonas donde aparecen estos suelos, sin que ello evite realizar estudios de detalle sobre la expansividad concreta en cada zona.

Uno de los **criterios** (Oteo 1986) utilizados se **basa en la relación entre el límite líquido y el cociente entre la humedad y el propio límite líquido** (figura de la derecha)





## Floculación - dispersión

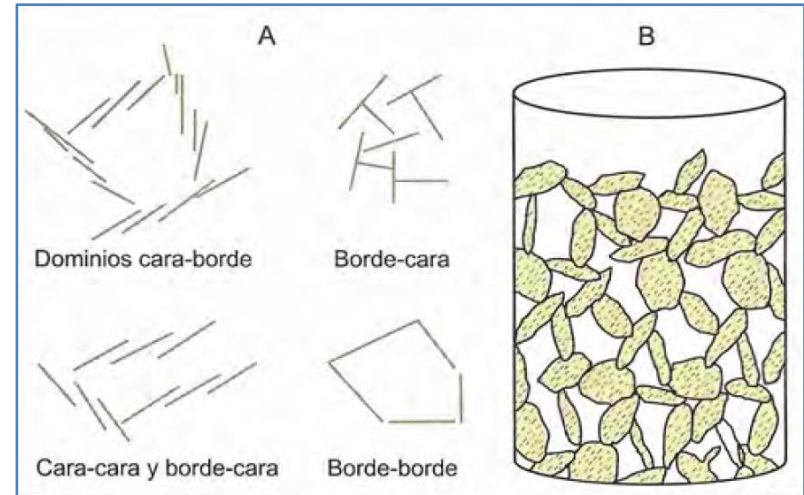
Los **suelos dispersivos** son aquellos cuya constitución mineralógica y fábrica es tal, que las **fuerzas repulsivas** entre las partículas finas (arcillas) **exceden a las fuerzas de atracción** de esas partículas.

Debido a ello, **en presencia de agua, los suelos flocculan**, es decir, **se separan los agregados de partículas** y quedan partículas de menor tamaño que son más **fácilmente arrastradas por el agua** con cierta velocidad, produciéndose la erosión interna de estos suelos. **Aún así, estos suelos pueden alcanzar una cierta resistencia** debido a los enlaces formados en los contactos borde-cara, o incluso por procesos de cementación del propio suelo.

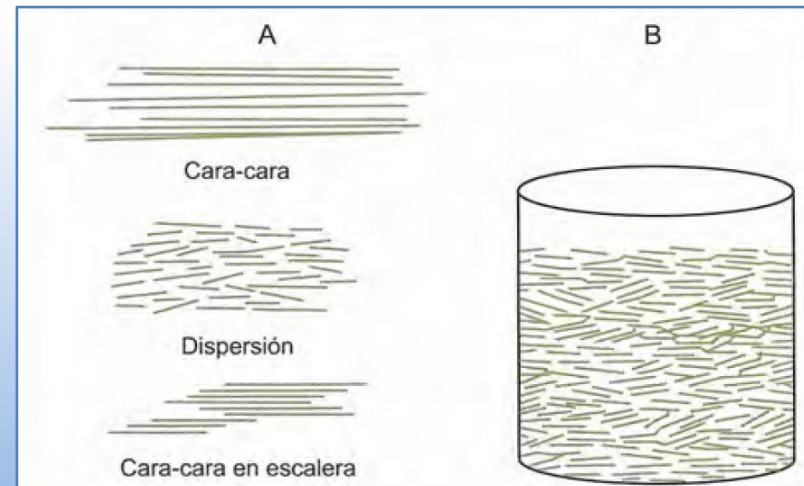
Sin embargo, cuando una arcilla que se haya en estado flocculado sufre una **perturbación** que supera un determinado umbral, ésta puede **pasar súbitamente a un estado disperso, perdiendo toda su resistencia** (resistencia a corte prácticamente nula).

Se emplean **dos criterios para reconocer el riesgo de dispersión**, que en terraplenes y presas con agua puede dar lugar a erosiones internas: **uno de tipo físico (ensayo doble granulométrico por sedimentación, con o sin dispersante de partículas), y otro de tipo químico, determinando el contenido de iones de Na, Ca, Mg y K.**

### Floculación



### Dispersión





## Suelos salinos y agresivos

Químicamente, los **suelos salinos** suelen contener más del 15 % de su capacidad iónica de cambio saturada de **iones de sodio**, además de contener cantidades apreciables de sales solubles.

En **suelos salinos asociados a altos grados de evaporación** y, por lo tanto, de concentración de sales, se pueden dar también **características de expansión**. Pero, **también**, pequeños cambios en la constitución salina pueden cambiar el riesgo de expansividad al riesgo de **colapso**, en función de la densidad inicial de las arcillas que contienen.

**Muchos de estos suelos salinos son agresivos al hormigón de las cimentaciones**, sobre todo si hay agua de circulación en el subsuelo. Normalmente se considera que por debajo de un 0,02 % de sulfatos (medido en contenido de  $\text{SO}_4$ ) no existen problemas de este tipo. En la siguiente tabla se indican valores de referencia para suelos y aguas en relación al grado de ataque al hormigón.

**Grados de ataque al hormigón de agua y suelos  
en función de su contenido en  $\text{SO}_4$**

Grado de ataque	Agua $\text{mg SO}_4^-/\text{l}$	Suelo $\text{mg SO}_4^-/\text{kg}$ suelo seco
Débil	200-600	2.000-3.000
Moderado	600-3.000	3.000-12.000
Fuerte	> 3.000	> 12.000

González de Vallejo et al. (2002)





### Suelos colapsables

Estos suelos se caracterizan por tener una **estructura muy abierta y floja**.

Aún así, mantienen su estabilidad por el estado de sequedad de la atmósfera. **Inicialmente**, al ser depositados (por vía acuosa o eólica) **no tienen ninguna cohesión, pero** acaban **cementándose ligeramente** por cristales de sulfatos o por rellenarse sus huecos con partículas más finas, lo que les da una **resistencia apreciable en seco**.

Sin embargo, **al aumentar la humedad**, la **estructura inicial puede ser destruida**, produciéndose una **importante disminución de volumen aparente (colapso) y el consiguiente asiento** (además de un posible arrastre de partículas por agua con cierta velocidad). Así, por ejemplo, en el Valle Central de California se han medido subsidencias de más de 4 m, al poner en riego suelos de este tipo e infiltrarse el agua poco a poco.

**A veces**, si las zonas superficiales se han encostrado (por depósitos de carbonatos, por ejemplo, o por colapsos antiguos), el **colapso y arrastre se dan por debajo de la superficie, formándose cuevas o simas que acaban cediendo** al romperse las costras superficiales.

Para caracterizar la peligrosidad de estos suelos realizan **ensayos de colapso** (utilizando también como referencia el peso específico seco aparente), ver tabla. Estos ensayos **se realizan en el edómetro sometiendo** a las muestras **a una carga determinada y midiendo el asiento tras la inundación** de dicha muestra.

Muy conocidos como suelos colapsables son los «**loess**», **sedimentados eólicamente** y que aparecen entre los paralelos 30 y 55 de cada hemisferio (Siberia, Ucrania, Rumania Australia, Argentina, Uruguay, Medio Oeste norteamericano...).

#### Criterios de colapsabilidad

Grado de colapso	Peso específico seco (kN/m <sup>3</sup> )	Potencial de colapso (%) (*)
Bajo	> 14,0	< 0,25
Bajo a medio	12,0-14,0	0,25-1,0
Medio a alto	10,0-12,0	1,0-5,0
Alto a muy alto	< 10,0	> 5,0

González de Vallejo et al. (2002)

\*Asiento producido por colapso bajo inundación, referido a la altura inicial de la muestra



## La acción del hielo y el permafrost

La **formación de hielo en el terreno** va acompañada, entre otros fenómenos físicos, del **aumento de volumen del agua del suelo al congelarse**, lo que puede destruir la estructura del suelo o de la roca. El efecto más significativo suele ser la acumulación de lentejones de hielo, ocasionando **expansiones en invierno y reblandecimientos en verano**.

En áreas muy grandes de Canadá, Alaska y Siberia existen **suelos permanentemente congelados (permafrost)** que alcanzan profundidades que dependen de la conductividad térmica del terreno y del clima. **Por debajo de la superficie**, generalmente muy dura, **el suelo puede tener una estructura floja, ya que el agua congelada, al aumentar de volumen, destruye la unión y cementación entre partículas**. **Mientras exista el hielo, el conjunto es resistente pero, si por algún motivo, sube la temperatura en el terreno** (por ejemplo, al construir un edificio con calefacción) **se licúa el hielo de los poros y el terreno, flojo, se convierte en un barro poco resistente**, con los consiguientes problemas de apoyo para el edificio (lo que en estas zonas lleva a cimentar sobre pilotes profundos).

## *Fangos blandos y sensitivos*

La **desembocadura de los ríos** (y algunas zonas costeras con roca blanda) está cubierta por **depósitos finos** (limos y arcillas), **saturados, muy blandos** y que suelen contener **materia orgánica (5%)**. Estos suelos **se denominan fangos**, y pueden alcanzar grandes espesores (25 m en la costa andaluza de Cádiz y Huelva)

En estos materiales el **contenido de agua es muy elevado (60-140%)** y la **estructura muy floja** (peso específico seco entre 7-14 kN/m<sup>3</sup>), lo que conlleva a que sean **muy deformables**, con índices de compresión  $C_c$  incluso mayores que 1.

Esta gran deformabilidad supone, además, que la **resistencia al esfuerzo cortante sin drenaje sea muy baja**, en el rango de 15 a 50 kPa (aunque en superficie pueden hallarse algo encostradas, pudiendo esta resistencia duplicarse).

**Estos fangos, además, pueden tener susceptibilidad tixotrópica**, llegando a perder gran parte de su resistencia inicial por procesos **remoldeo** (por ejemplo, al producirse deslizamientos, hincas de pilotes próximos...).



### Suelos licuefactables (o licuables)

Se denominan así aquellos **suelos que** (con un contenido predominantemente areno-limoso y con baja permeabilidad) **en estado saturado**, al **experimentar esfuerzos cortantes anómalos y rápidos** permiten el **aumento de la presión intersticial (por falta de drenaje)** hasta valores del orden de la presión total existente. En esta situación, **la presión efectiva se anula** prácticamente, los granos dejan de estar en contacto y, por tanto, la **resistencia al corte desaparece y el material se comporta como un líquido**, dando lugar a movimientos importantes, que se traducen en **deslizamientos** (en caso de taludes), o en **grandes asientos**.

Este fenómeno ha dado lugar, ante la **aparición de eventos sísmicos** (con la repetición cíclica y rápida de esfuerzos tangenciales llegan a anularse las presiones efectivas), a **grandes desastres**, como fue el caso de la ciudad de Niigata (Japón) en 1964.

### Hundimiento de edificios por licuefacción producida por un seísmo (Niigata, Japón 1964)



Los edificios bien se hallaban bien preparados para la respuesta estructural (cajones rígidos), pero se encontraban apoyados en depósitos flojos licuables, lo que llevó a asientos de varios metros y al vuelco de los edificios.

matiascallone.blogspot.com



<https://estudiosgeotecnicos.info/index.php/suelos-expansivos-colapsables/>

Mohamed, A. A., Jun-Ping, Y., Osman, B. H., & Mokhtar, M. (2016). Numerical Analysis of Concrete Pile on expansive soil slope. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7(8).

<https://estudiosgeotecnicos.info/index.php/ensayos-laboratorio-suelos-expansivos/>

González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería geológica*. Pearson Educación.

<http://matiascallone.blogspot.com/2008/03/un-terremoto-donde-el-suelo-se-comporta.html>

# Mecánica Avanzada de Suelos

## MCieTAT (UPCT)



**Gracias por su  
atención**

## Tema 4

# Expansividad y licuefacción

Prof. Gonzalo García Ros