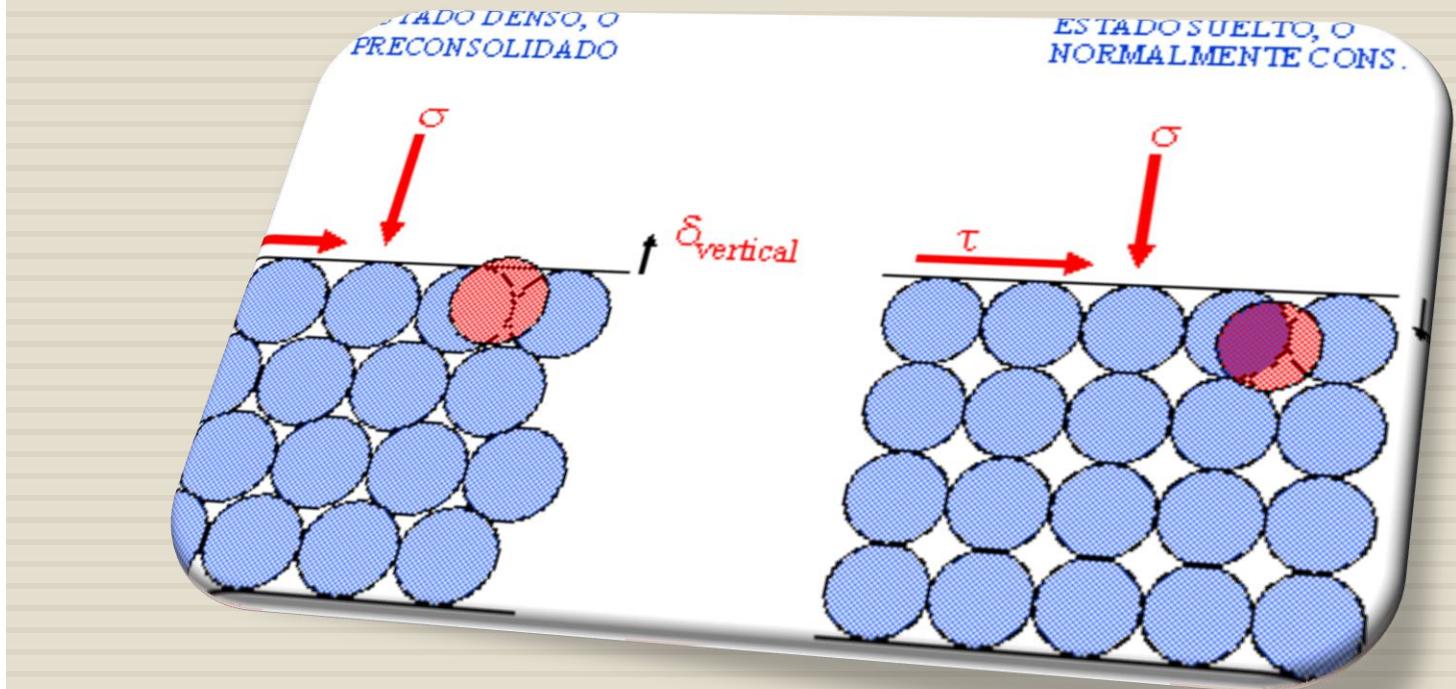


# RESISTENCIA AL CORTE

Clase 3. Respuesta Drenada y  
No-drenada

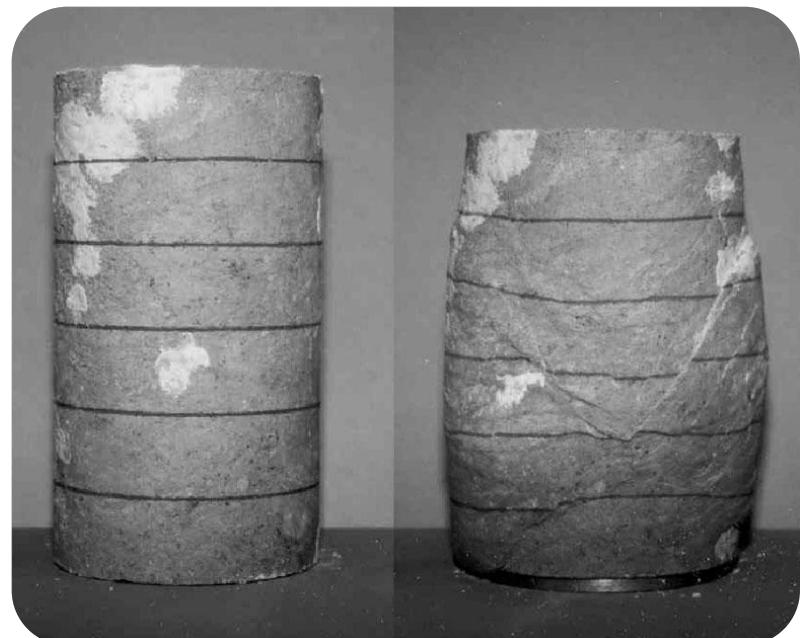


Respuesta Drenada y no Drenada

## Respuesta

# Drenada y no Drenada

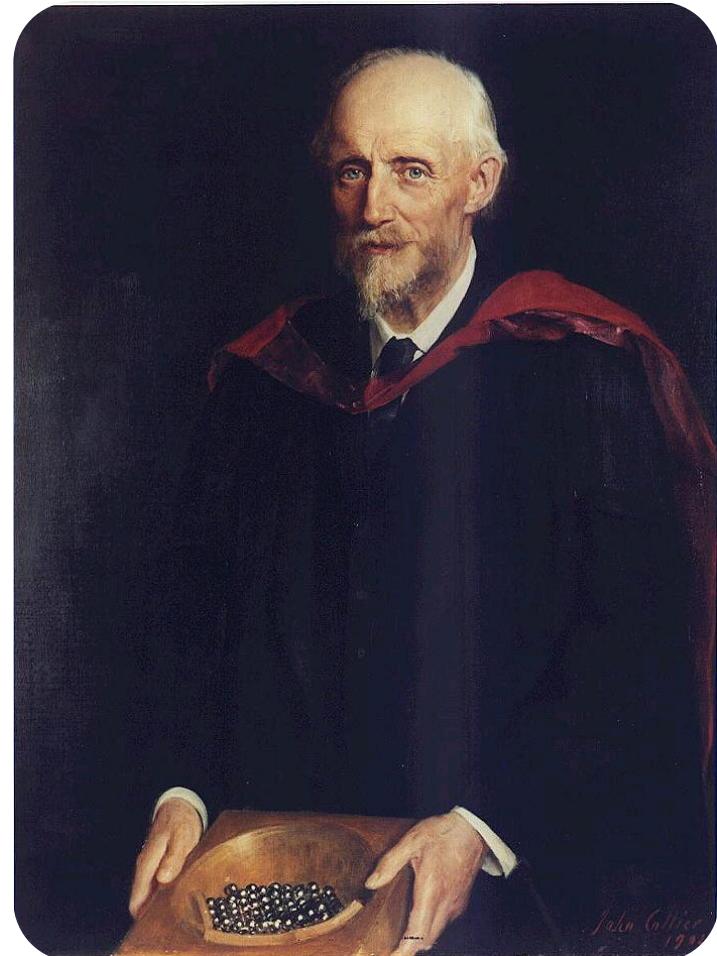
- Al aplicar un **esfuerzo de corte** a una masa de suelos, una de las grandes diferencias con otros materiales de ingeniería, es el desarrollo de **importantes cambios volumétricos**.
- Esta deformación volumétrica es producto del **reacomodo de partículas** y proviene básicamente del cambio de volumen de los vacíos del sistema particulado.



## Respuesta

# Drenada y no Drenada

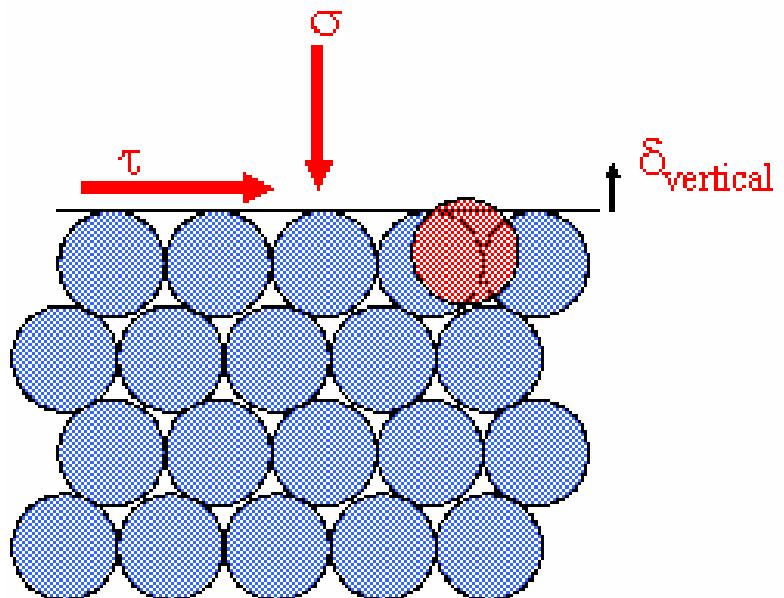
- Reynolds en 1885, mostró que durante la aplicación de corte:
  - arenas densas tienden a expandirse aumentando de volumen,
  - arenas sueltas tienden a contraerse, disminuyendo de volumen.
- Se denomina:
  - Dilatación: como la tendencia al cambio volumétrico que induce un aumento del volumen de la masa de suelos.
  - Contracción: como la tendencia al cambio volumétrico que induce una disminución del volumen de la masa de suelos.



# Conjunto de esferas sometidas a un esfuerzo cortante

- **Arreglo denso** de esferas (volumen inicial de huecos reducido) se puede apreciar que la deformación asociada al esfuerzo de corte tiende a producir un aumento del volumen de huecos.

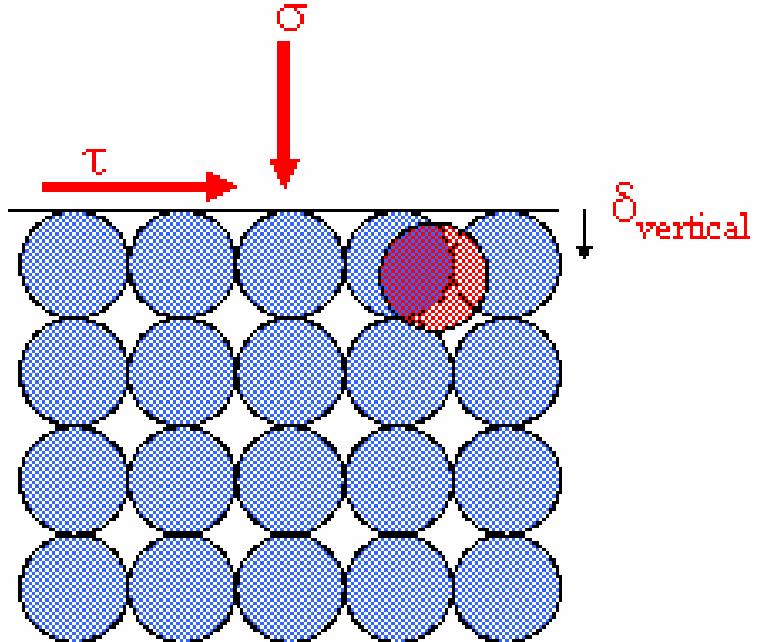
ESTADO DENSO, O PRECONSOLIDADO



# Conjunto de esferas sometidas a un esfuerzo cortante

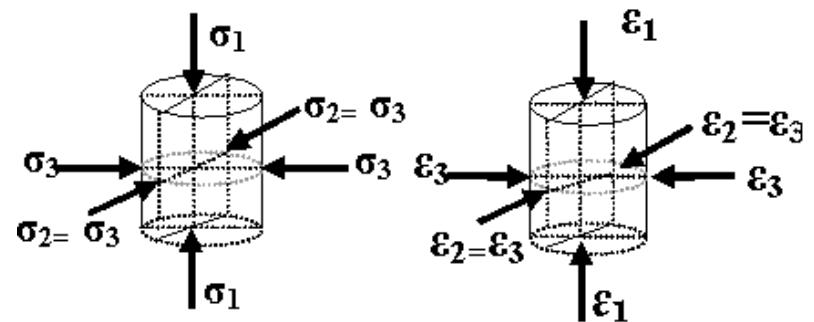
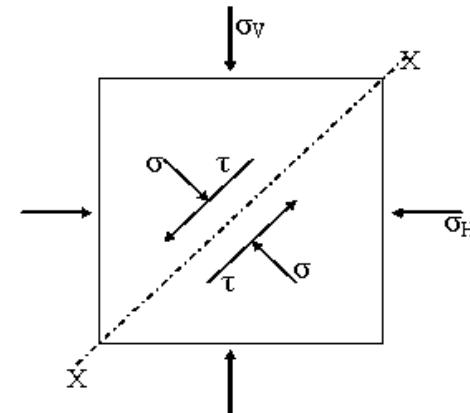
- **Arreglo suelto** de esferas (volumen inicial de huecos significativo) se puede apreciar que la deformación asociada al esfuerzo de corte tiende a inducir una disminución del volumen de huecos.

ESTADO SUELTO, O  
NORMALMENTE CONS.



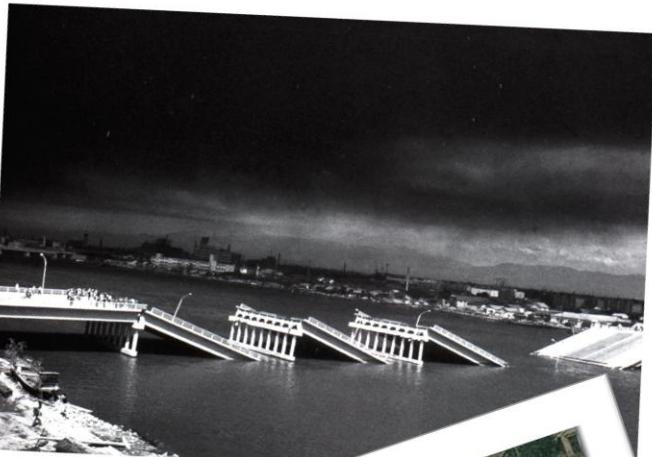
# Resistencia movilizada

- La tendencia al cambio de volumen de una masa de suelos es de gran importancia en la **resistencia movilizada**, especialmente si esta tendencia es impedida de desarrollarse.
- Por ejemplo, solicitudes suficientemente rápidas en suelos saturados pueden impedir que el proceso de cambio de volumen logre desarrollarse, esto debido a que no existe suficiente tiempo para que el agua que ocupa los intersticios pueda fluir y así permitir la ocurrencia del cambio volumétrico.



# Respuesta no-drenada

- Solicitaciones **rápidas**, como la acción de un **sismo**, producen, en general, condiciones donde el drenaje del agua de los intersticios es prácticamente nulo, con lo cual se está en presencia de lo que se denomina: **carga no-drenada**, o una **respuesta no-drenada**.
- Suelos muy finos, como arcillas de alta plasticidad, responden esencialmente en una condición no-drenada, produciéndose el drenaje al cabo de muchos años.



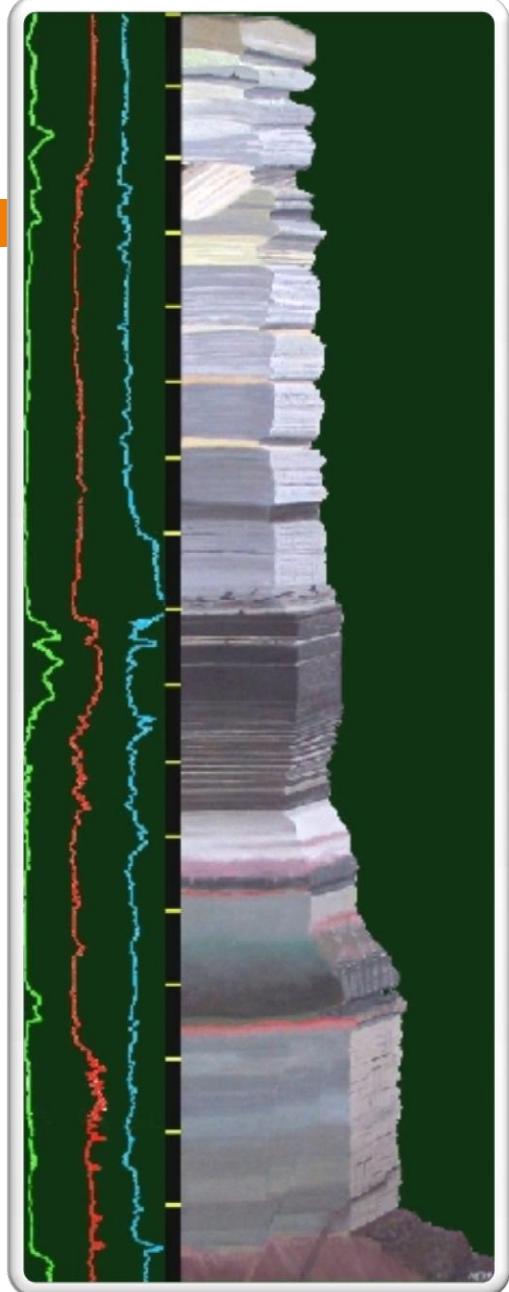
# Respuesta drenada

- En el otro extremo se sitúa una **carga lenta**, como por ejemplo, la respuesta en el largo plazo de cualquier peso de estructura que está permanentemente en el tiempo y por tanto permite la disipación de cualquier incremento de presión de poros que se produzca. En este caso se habla de **respuesta drenada del suelo o carga drenada**.
- Materiales muy permeables, como gravas gruesas y limpias, presentan una respuesta drenada, inclusive para cargas rápidas.



# Y en suelos reales?

- Suelos de **permeabilidades intermedias** pueden responder bajo condiciones más cercanas a drenadas o no-drenadas, dependiendo de la rapidez de la solicitud, permeabilidad del terreno y condiciones de bordes.
- En una gran mayoría de situaciones, la respuesta real del suelo ocurre en condiciones de **drenaje parcial**, pero el análisis resulta bastante complejo y no se justifica, salvo en proyectos de gran envergadura.
- Luego, en la práctica se adopta como criterio de análisis la posibilidad de sólo dos condiciones extremas: totalmente drenado o totalmente no-drenado.



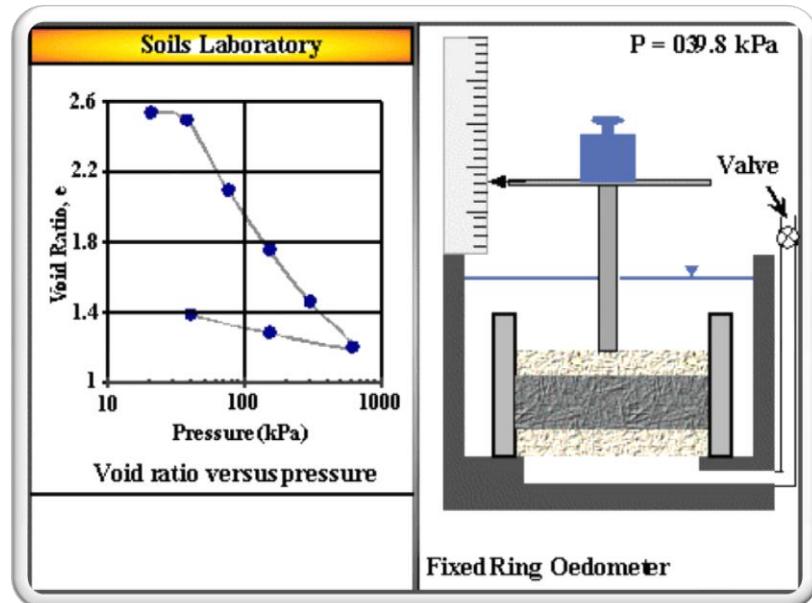
# Comportamiento en suelos finos saturados

- La respuesta tensión-deformación-cambio volumétrico de suelos arcillosos y limosos de plasticidad media a alta, está fuertemente controlada por el **historial de solicitudes** que haya sufrido la masa de suelos fino.



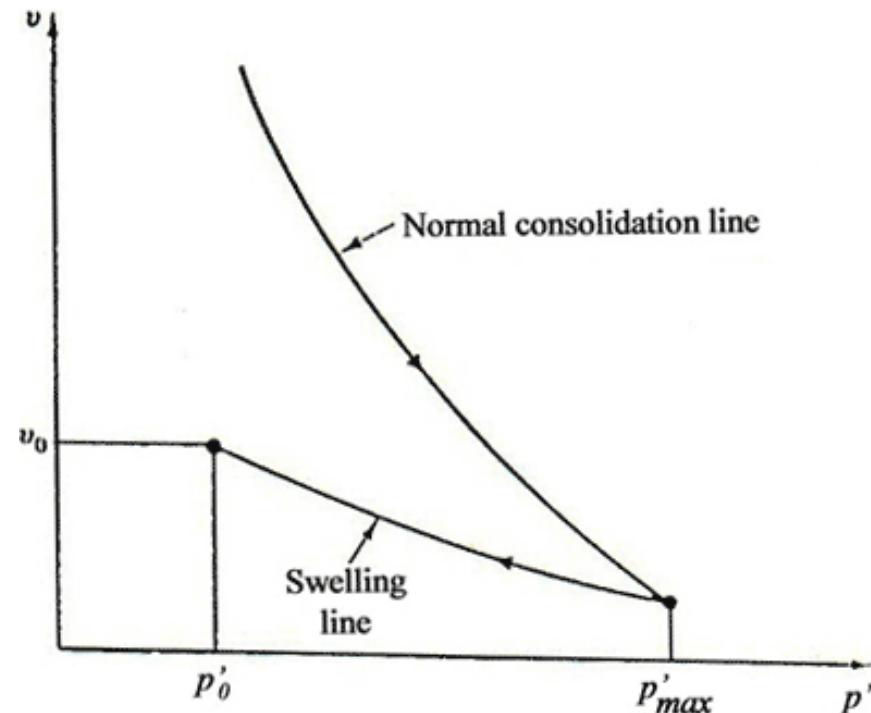
# Comportamiento en suelos finos saturados

- En este tipo de suelos es muy importante el nivel de pre-consolidación que existe en la masa de suelos, principalmente por dos hechos:
  - Un suelo fino saturado se densifica muy poco, o nada, por vibración
  - Para el estado normalmente consolidado, existe prácticamente una curva única que relaciona la densidad (índice de huecos) con la tensión efectiva.



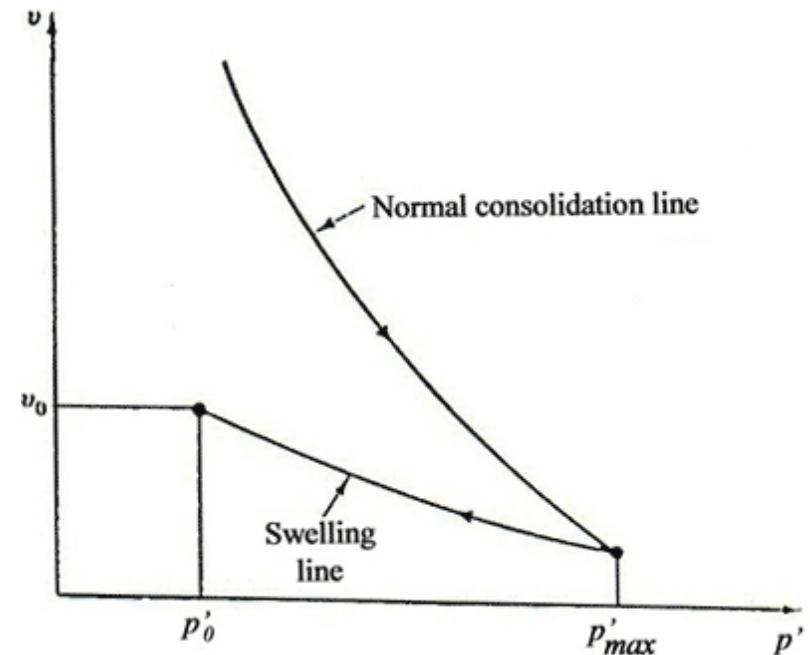
# Relación típica entre el índice de vacíos y tensión efectiva vertical en un suelo arcilloso

- La rama de carga, o curva de consolidación, (curva del suelo normalmente consolidado) es única, en el sentido que sólo existe una relación entre índice de huecos y tensión efectiva aplicada.
- Entonces, si se conoce el nivel de presión solicitante, inmediatamente se conoce el índice de huecos y viceversa.
- Esta curva también puede ser entendida como una frontera sobre la cual no existen estados posibles de la masa de suelos finos.



# Curva de consolidación con rama de carga y descarga

- Por otra parte, la fase de descarga comenzada desde cualquier punto de la curva de consolidación, corresponde a un estado de preconsolidación.
- Entonces, para que un suelo fino esté más denso de lo que corresponde de acuerdo a su curva de consolidación y nivel de tensión solicitante, debe haber sido sobrecargado previamente y estar por ende, en una condición de preconsolidación.



# OCR

- Para clasificar el comportamiento de suelos finos, resulta muy conveniente la definición del término, la razón de preconsolidación, OCR (over consolidation ratio), como:

$$OCR = \frac{\sigma' v_{max}}{\sigma' v_{actual}}$$

donde,  $\sigma' v_{max}$ : Máxima tensión efectiva vertical a la cual ha estado sometida la masa de suelos en el pasado.

$\sigma' v_{actual}$ : Tensión efectiva vertical actualmente existente en la masa de suelos.

# OCR

- La experiencia indica que, dependiendo del valor de OCR, se puede clasificar la respuesta de suelos finos en tres grupos:

$OCR = 1$  Suelo normalmente consolidado

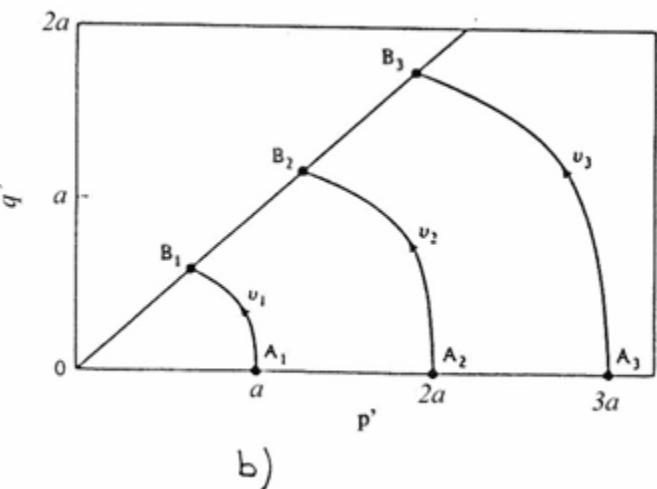
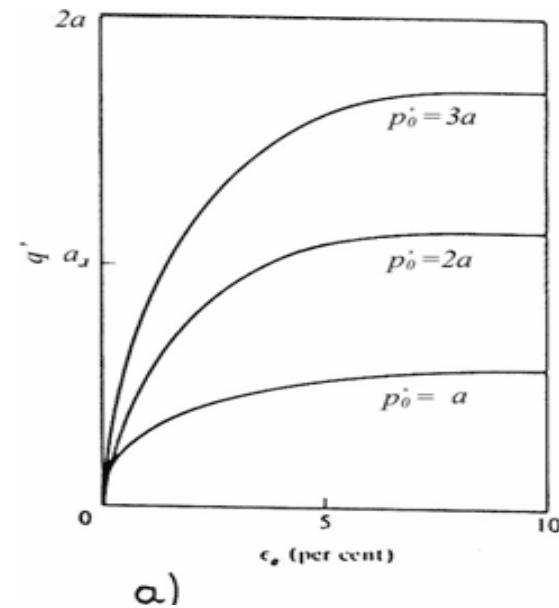
$1 < OCR \leq 3$  Suelo levemente preconsolidado

$OCR > 3$  Suelo preconsolidado

# Suelos cohesivos

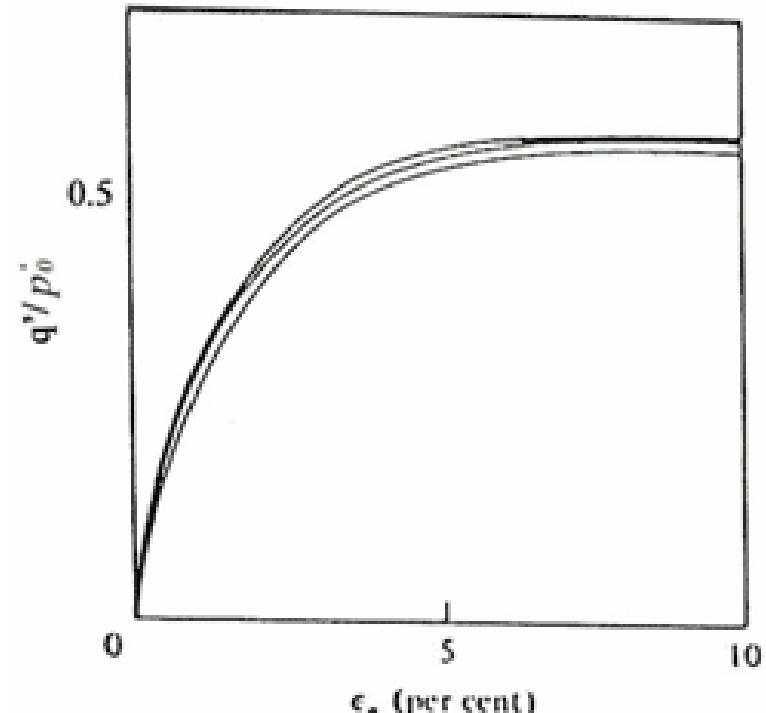
# Suelos normalmente consolidados, solicitudón no-drenada

- Al ser sometidos a una solicitudón **no-drenada** en el equipo triaxial:
  - En la figura a) se ilustra la típica respuesta tensión-deformación para tres presiones diferentes de confinamiento efectivo
  - En la figura b) se ilustra la forma general de las trayectorias de tensiones efectivas.



# Observaciones

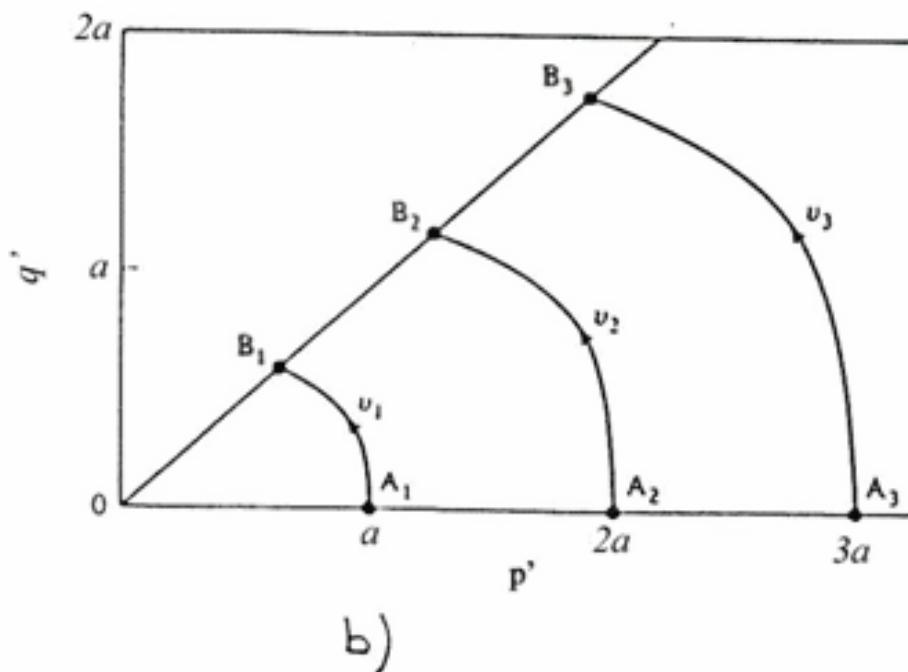
- La resistencia última es directamente proporcional a la presión confinante inicial aplicada.
- Por ejemplo, si la tensión desviatórica,  $q$ , se normaliza por la presión confinante inicial, para los tres ensayos representados anteriormente se obtiene una gráfica como la ilustrada en la c).



c)

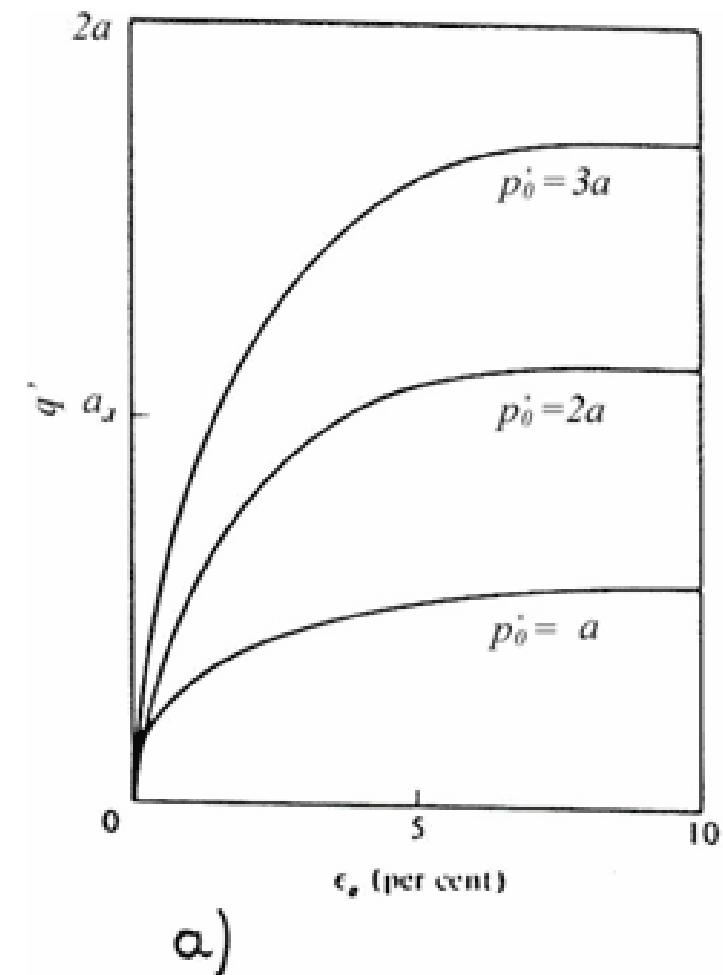
# Observaciones

- Las trayectorias de tensiones efectivas son geométricamente similares, con una franca curvatura hacia la izquierda, indicando que la carga no-drenada estaría asociada con incrementos de presión de poros positiva.



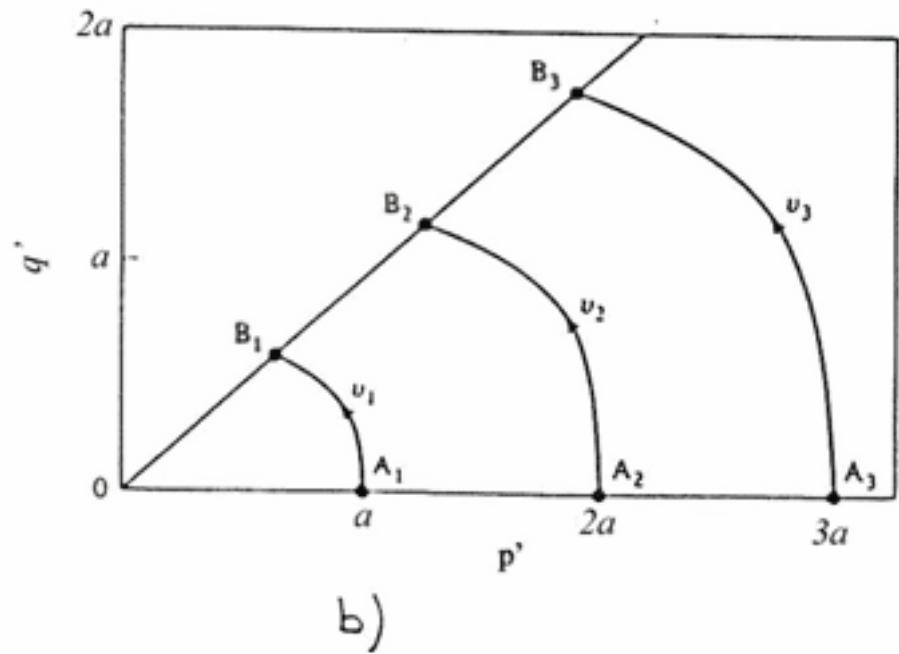
# Observaciones

- La respuesta tensión-deformación es del tipo monótono creciente, desarrollándose una resistencia última que es alcanzada en forma asintótica a grandes deformaciones.



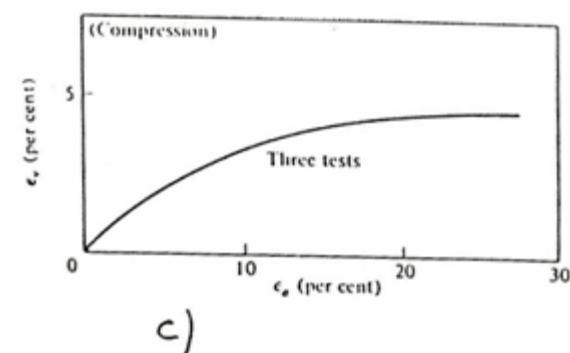
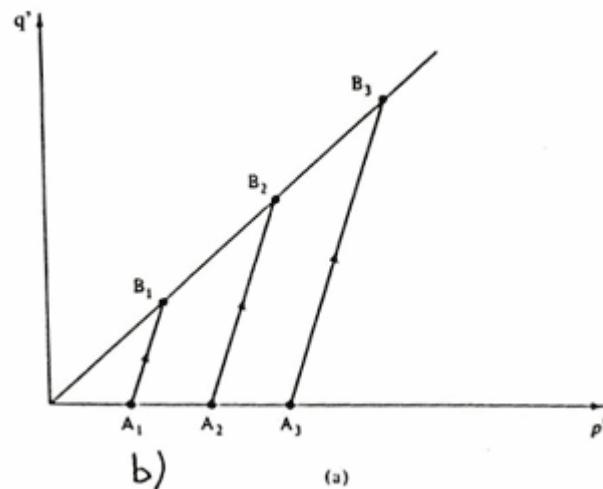
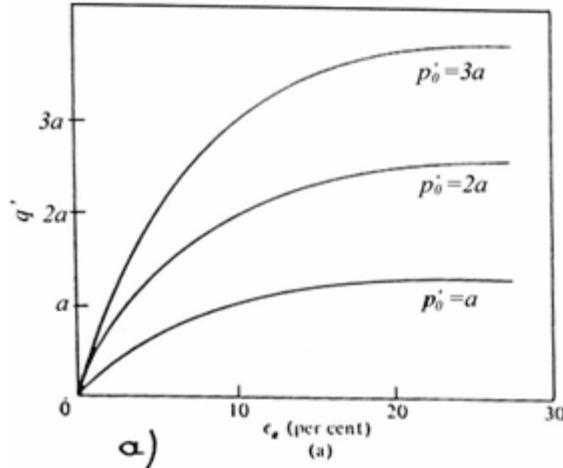
# Observaciones

- La envolvente de falla, ilustrada en el plano  $q-p'$ , se aproxima a una recta que pasa por el origen, indicando que la cohesión es nula.
- Luego, suelos arcillosos normalmente consolidados no presentan cohesión (entendida ésta como el intercepto de la envolvente de falla con el eje de la tensión de corte).



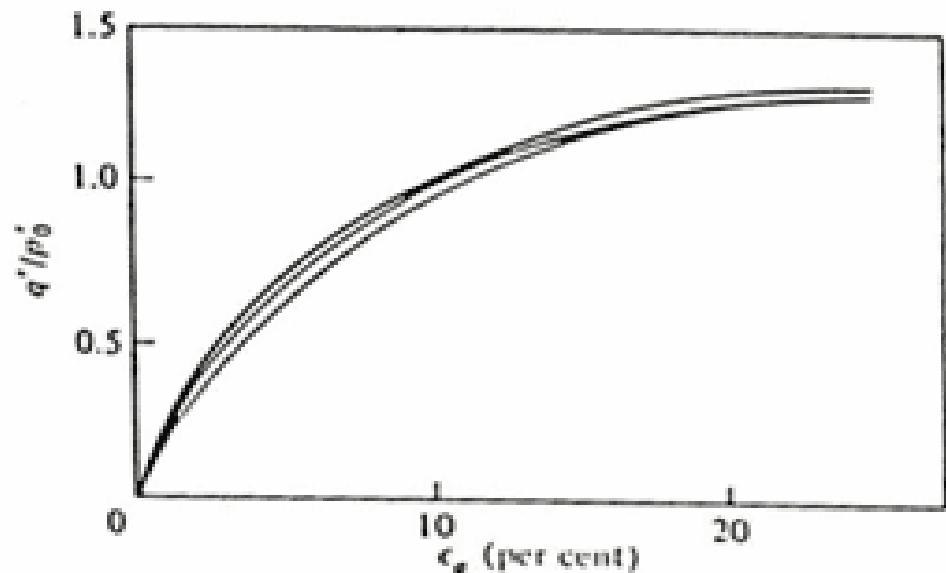
# Suelos normalmente consolidados, solicitud drenada

- Para tres presiones diferentes de confinamiento efectivo,
  - A) se ilustra la típica respuesta tensión-deformación,
  - B) se ilustran las trayectorias de tensiones
  - C) las curvas de deformación volumétricas correspondientes a cada ensayo.



# Observaciones

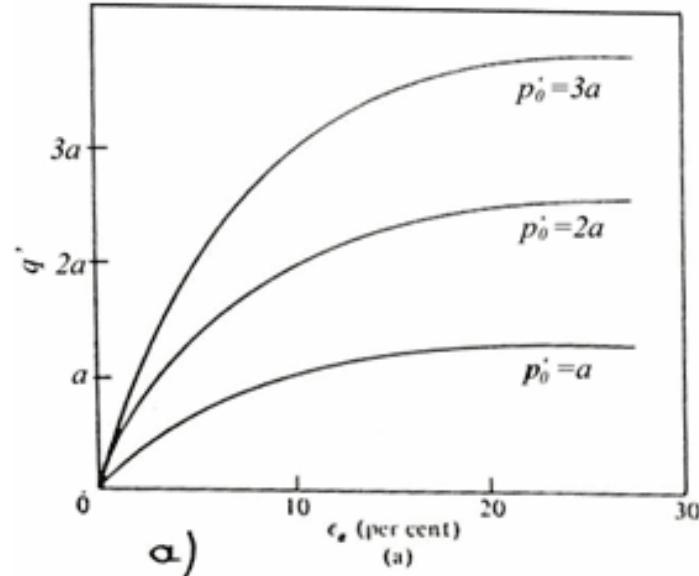
- Al igual que en el caso no-drenado, la resistencia última es directamente proporcional a la presión confinante inicial aplicada.
- Nuevamente, si la tensión deviatorica,  $q$ , se normaliza por la presión confinante inicial, se obtiene una gráfica única como la ilustrada en la d).



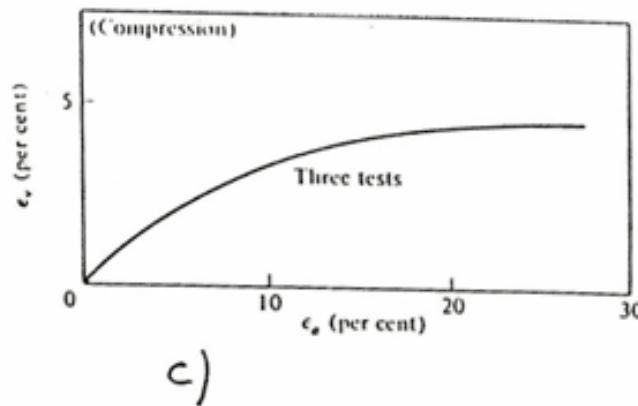
d)

# Observaciones

- La respuesta tensión-deformación es del tipo monótono creciente, desarrollándose una resistencia última que es alcanzada en forma asintótica a grandes deformaciones a).
- Las curvas de deformación volumétricas son coincidentes en una sola y están asociadas a una contracción del material d).



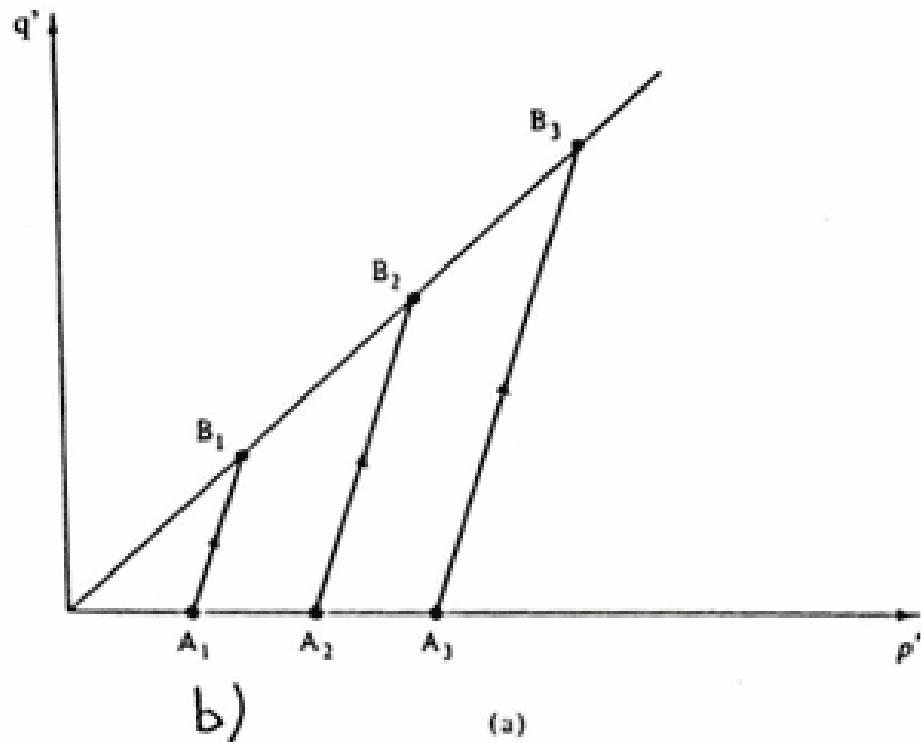
a)



c)

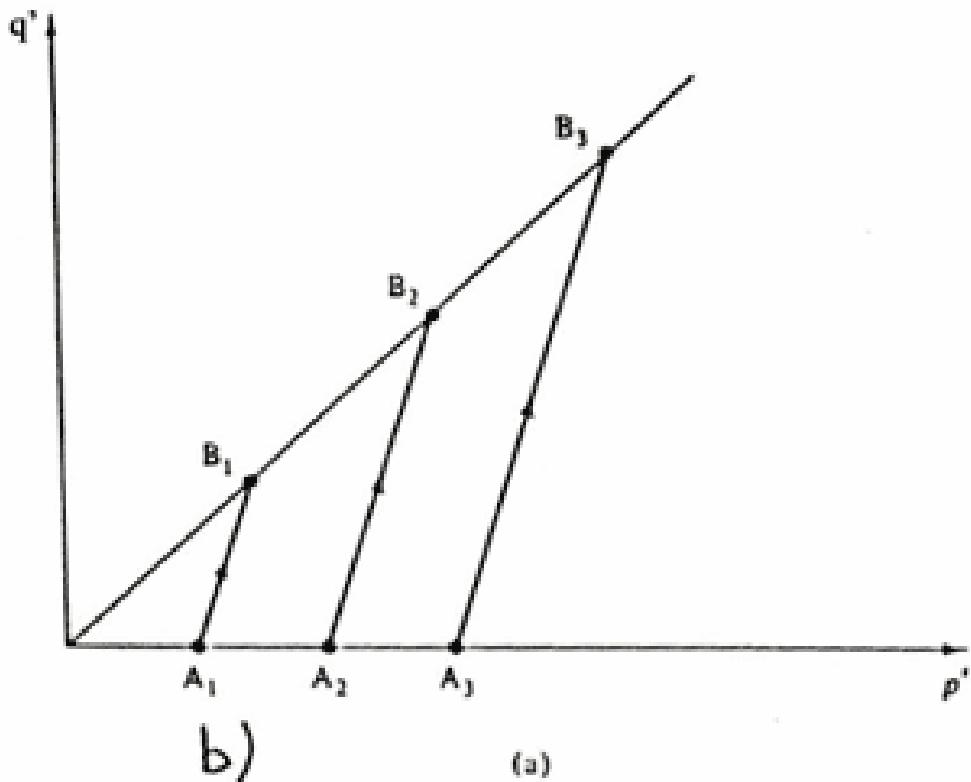
# Observaciones

- Por tratarse de una solicitudación drenada, las trayectorias de tensiones efectivas coinciden con las trayectorias de tensiones totales, siendo en este caso las correspondientes al ensayo triaxial tradicional de compresión.



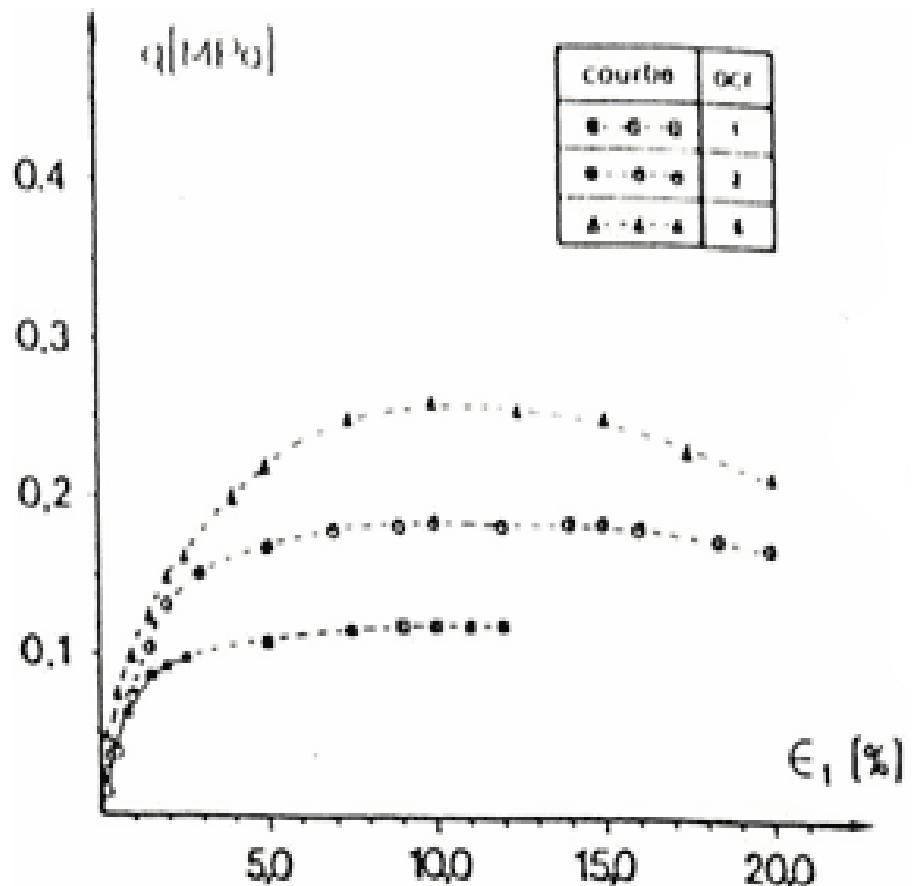
# Observaciones

- La envolvente de falla, ilustrada en el plano  $q-p'$ , se aproxima a una recta que pasa por el origen, indicando que la cohesión es nula. Luego, suelos arcillosos normalmente consolidados no presentan cohesión (entendida ésta como el intercepto de la envolvente de falla con el eje de la tensión de corte).



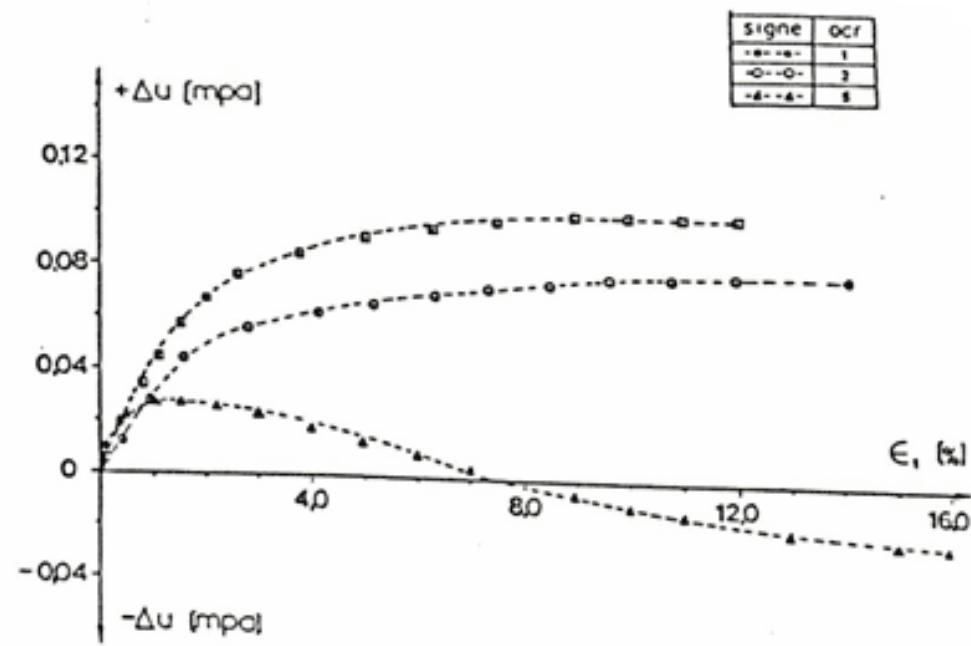
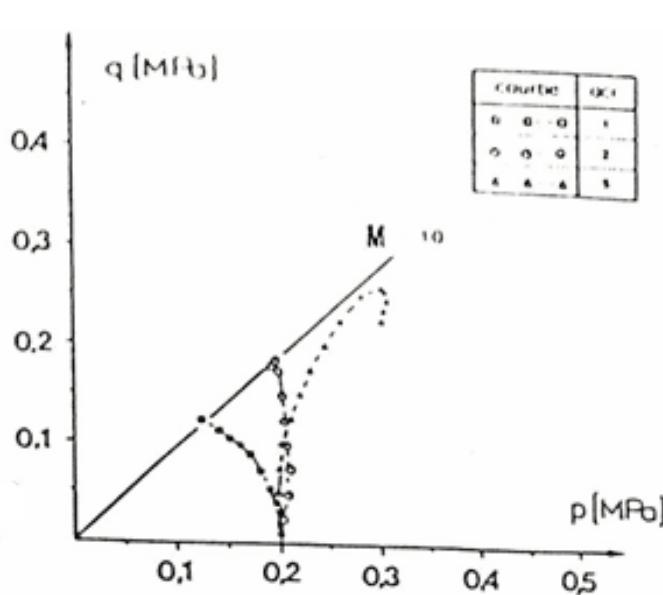
# Suelos finos preconsolidados (OCR 3) carga no-drenada

- Presentan ciertas diferencias respecto de los normalmente consolidados.
- Observaciones:
  - Se produce una resistencia peak a un nivel de deformación relativamente bajo.



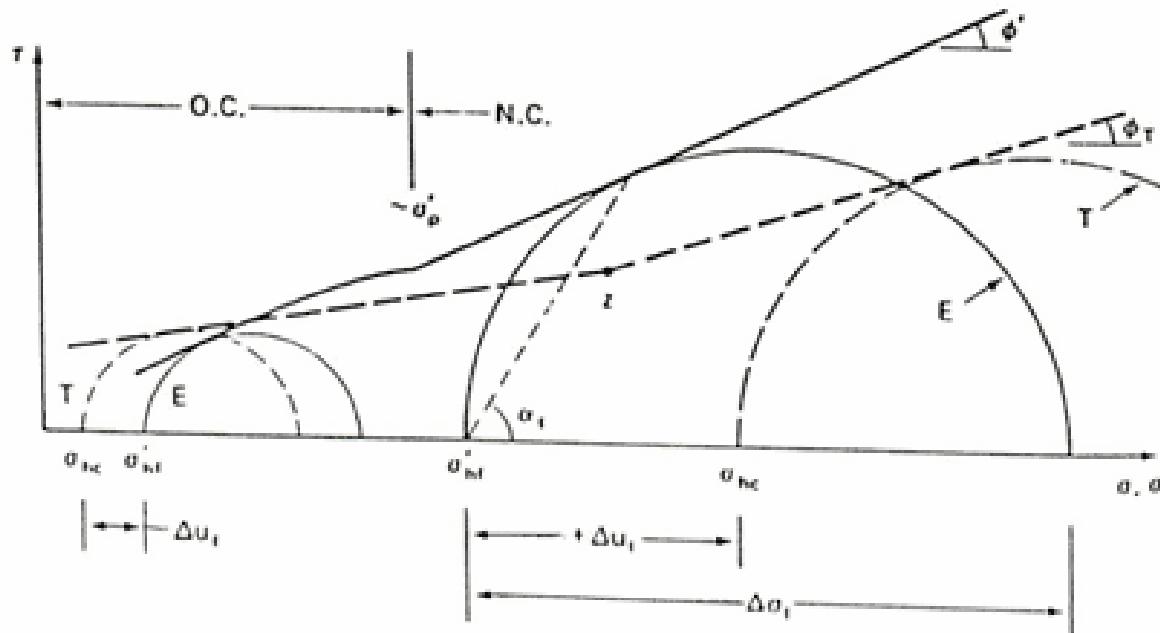
# Observaciones

- Las trayectorias de tensiones efectivas son curvadas hacia la derecha, indicando que la carga no-drenada estaría asociada con incrementos negativos de presión de poros.



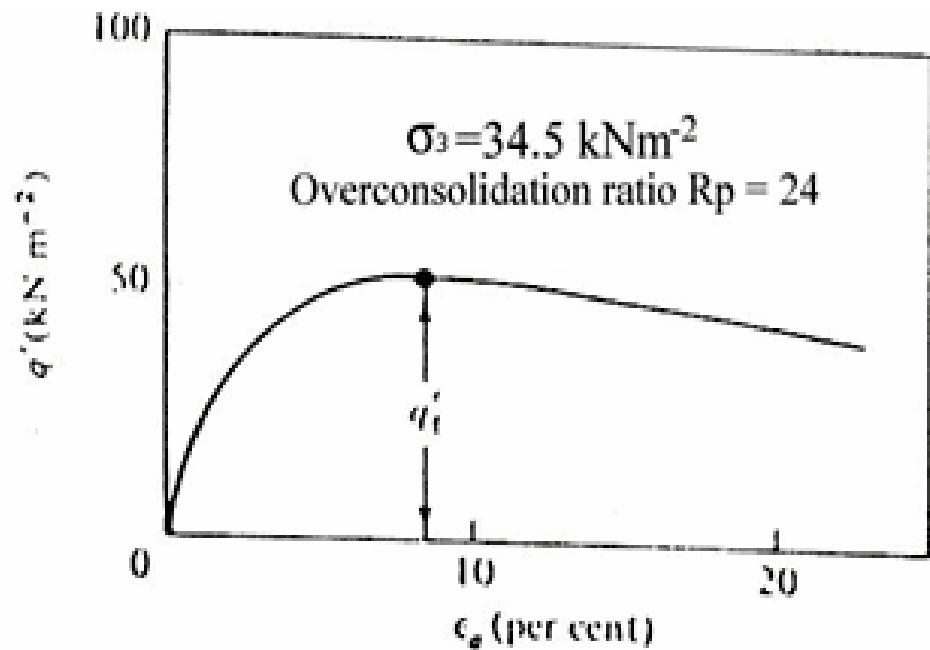
# Observaciones

- La envolvente de falla, ilustrada en el plano  $\tau-\sigma$ , es francamente curva y se puede aproximar a dos rectas.
- La primera, para la zona de preconsolidación, presenta un claro intercepto con el eje vertical, con lo cual se habla de cohesión.
- Luego, suelos arcillosos preconsolidados evidencian cohesión (entendida ésta como el intercepto de la envolvente de falla con el eje de la tensión de corte).



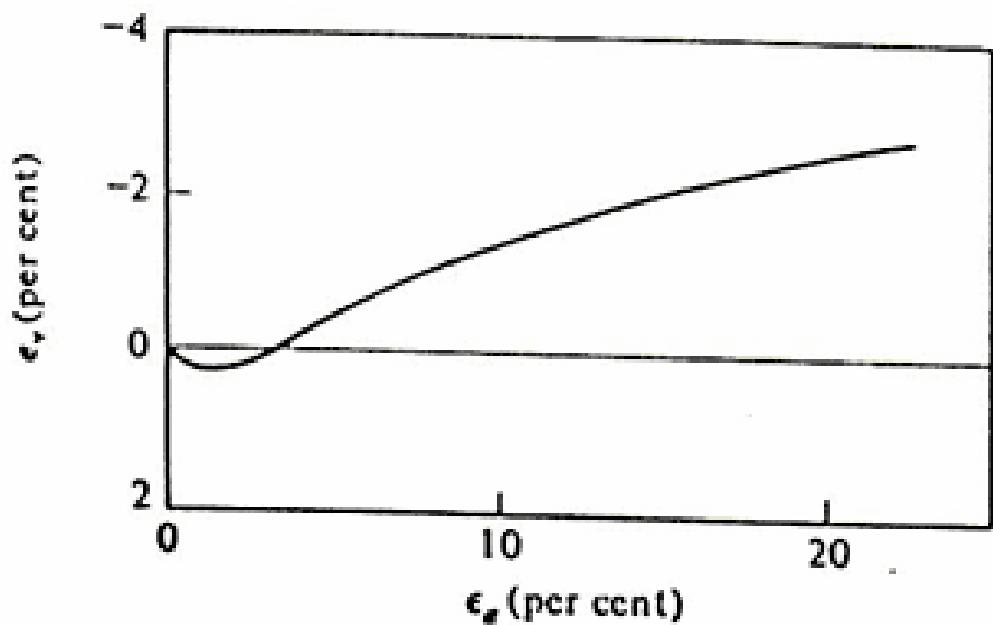
# Suelo preconsolidado sometido a una carga drenada

- Se presenta un resultado típico de una arcilla fuertemente preconsolidada ( $OCR = 24$ ), de donde se observa que:
- La curva tensión deformación presenta una peak de resistencia.



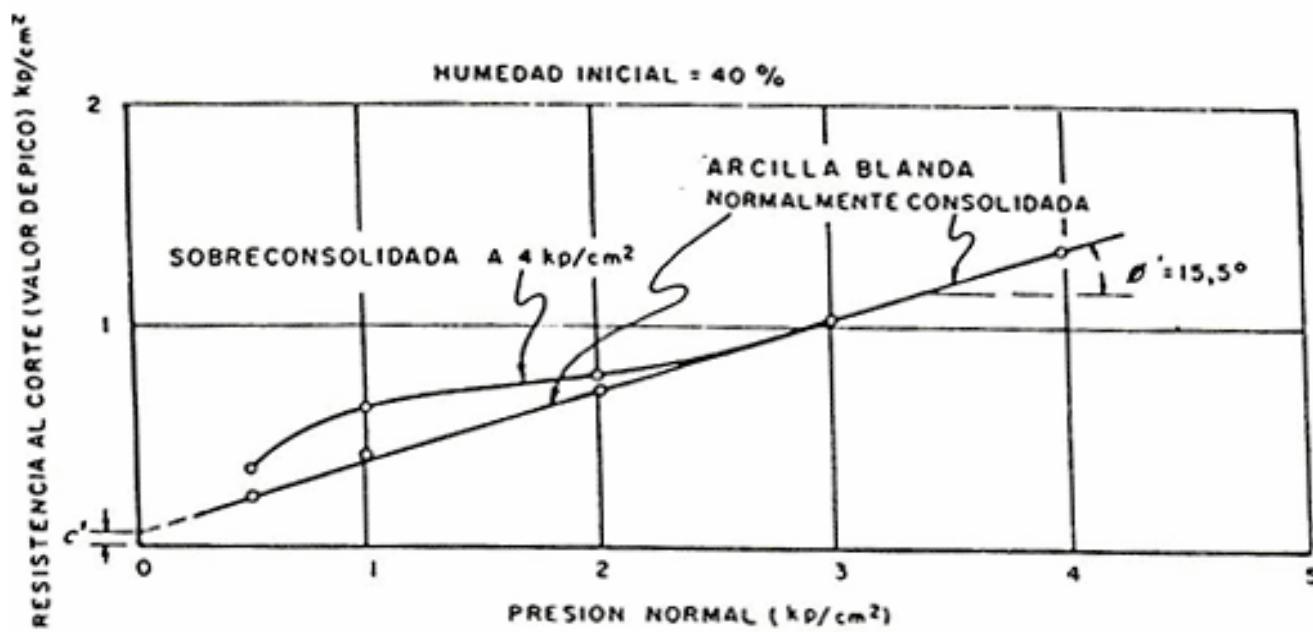
# Suelo preconsolidado sometido a una carga drenada

- La deformación volumétrica es inicialmente del tipo contractiva, transformándose muy rápidamente en dilatante. Es decir la masa de suelo inicialmente disminuye de volumen, pero en definitiva aumenta significativamente de volumen.



# Suelo preconsolidado sometido a una carga drenada

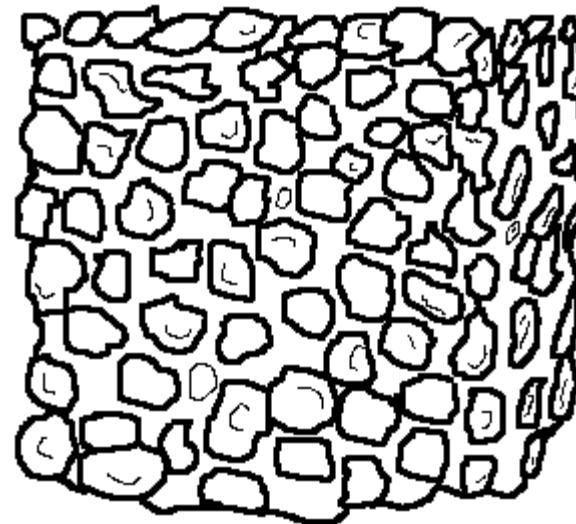
- La envolvente de falla en este caso presenta una fuerte curvatura inicial y corta al eje de la tensión de corte en un valor distinto de cero. La envolvente global puede ser modelada por dos rectas de distinta pendiente.



# Suelos granulares

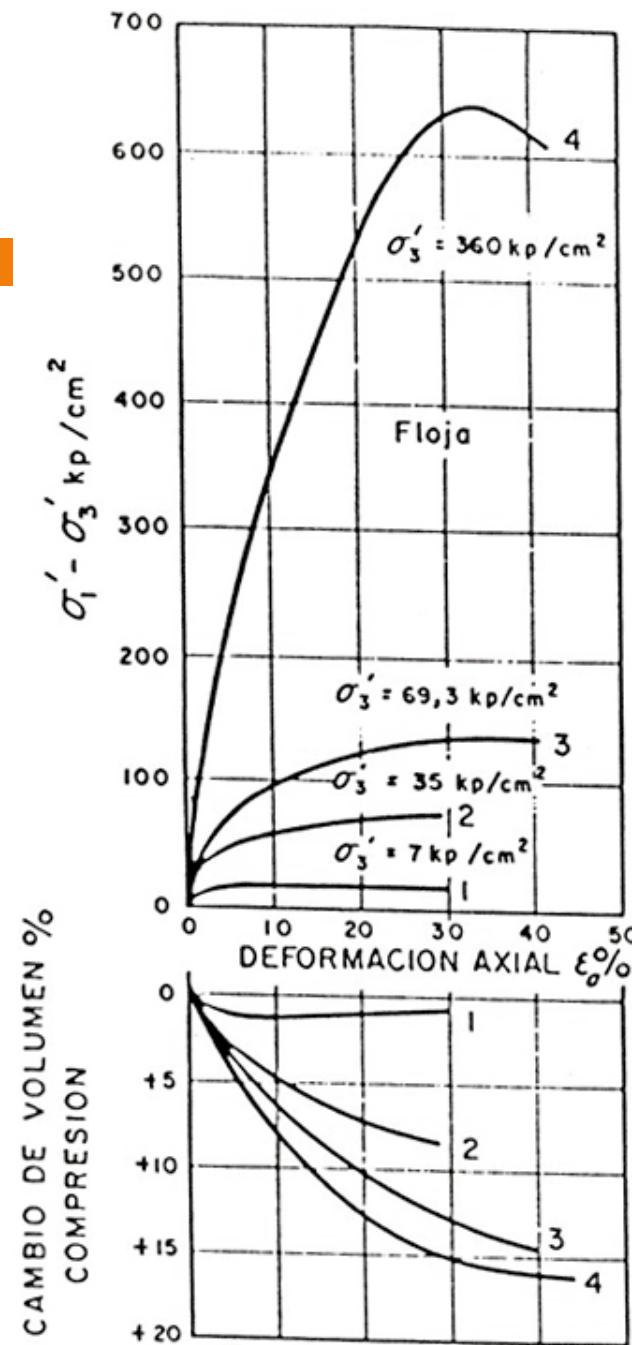
# Comportamiento de suelos gruesos saturados

- A diferencia de los suelos finos, en arenas y gravas, no se aplica el concepto de normalmente consolidados, o preconsolidado, simplemente se utiliza la idea de un material denso, o suelto.
- Una de las razones de esto, es que en suelos granulares no existe una curva única de consolidación, debido a que por vibración un suelo granular puede variar su estado de densidad de muy suelto a muy denso, independientemente del nivel de tensiones solicitante.



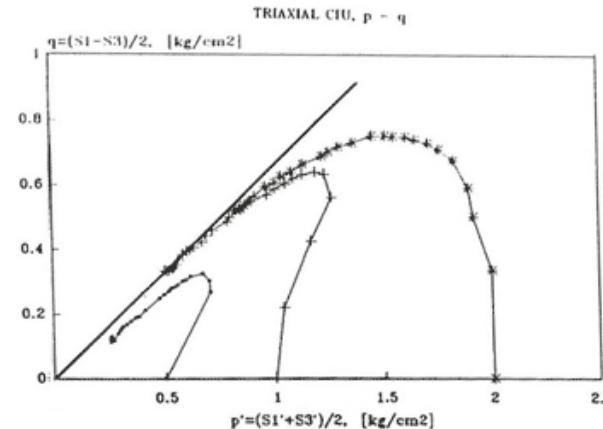
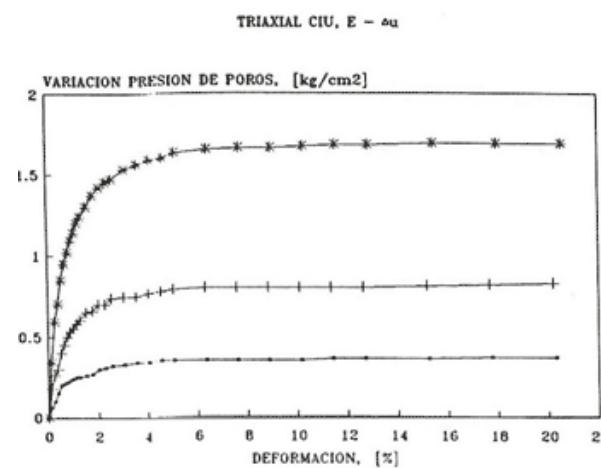
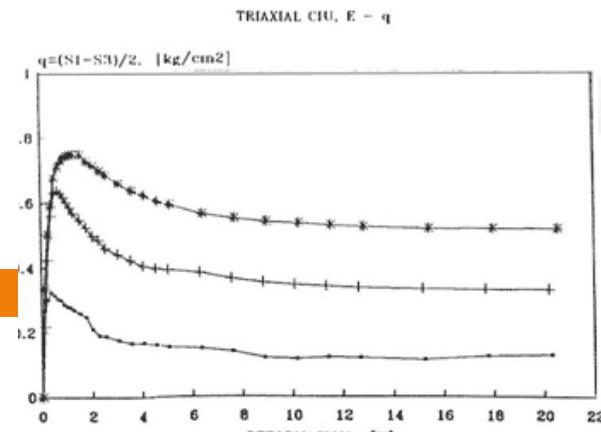
# Comportamiento de suelos gruesos saturados

- En la Figura se presentan resultados de un suelo **arenoso suelto** sometido a un ensayo triaxial, bajo **carga drenada**.
- Se puede observar que, en términos generales, la respuesta tensión-deformación es muy similar a la expuesta para suelos finos normalmente consolidados.
- Las curvas de variación de volumen son también de forma similar a las de suelos finos normalmente consolidados, pero con la salvedad que existen diferentes curvas de acuerdo al nivel de presión confinante



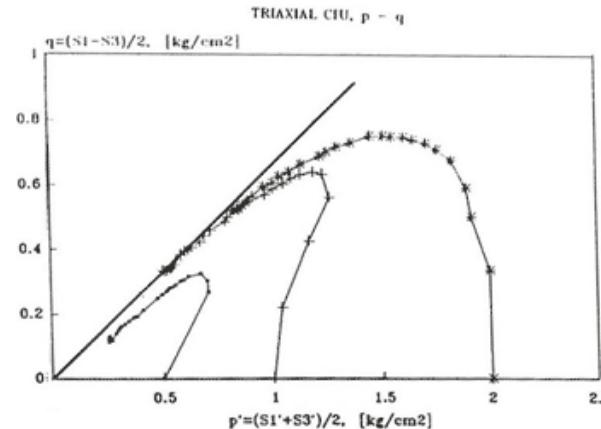
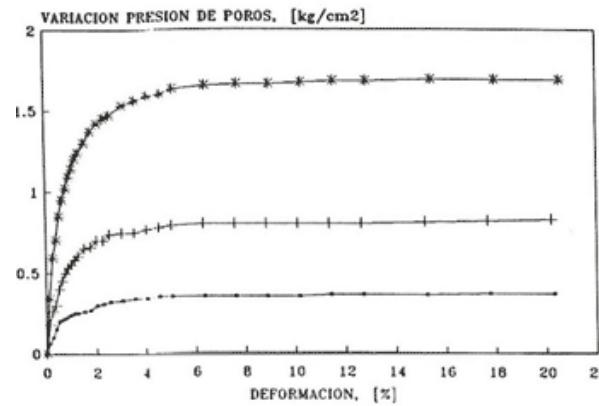
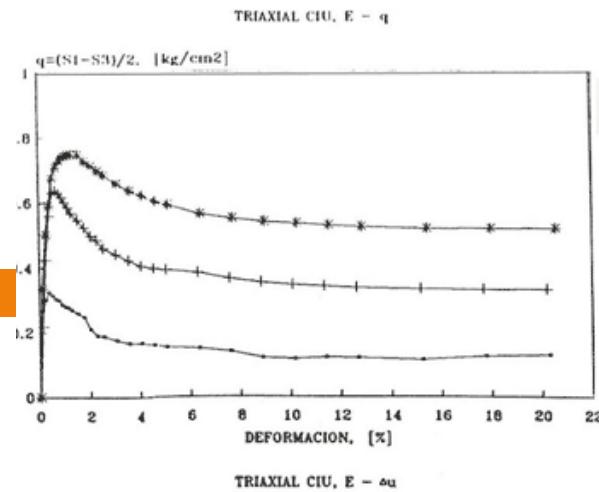
# Carga No-Drenada

- En la figura se presentan resultados de un suelo arenoso **suelto** sometido a un ensayo triaxial, pero ahora con una carga en condiciones **no-drenadas**.
- Se observa una significativa diferencia con relación a los suelos finos normalmente consolidados. En este caso se pueden destacar los siguientes aspectos:



# Carga No-Drenada

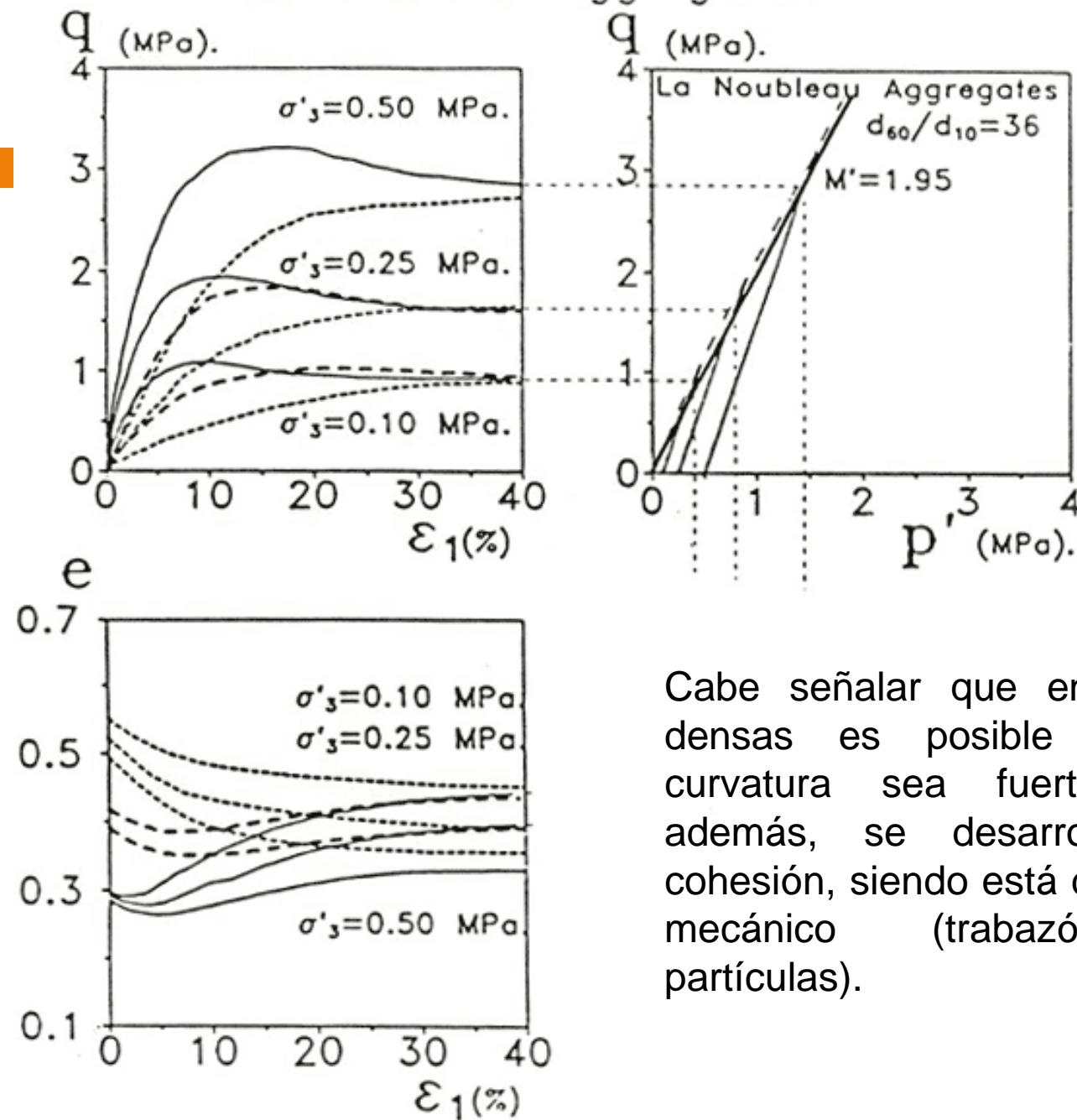
- Las curvas tensión-deformación presentan un marcado peak a un nivel de deformación reducido, para luego exhibir una significativa pérdida de resistencia.
- Las trayectorias de tensiones efectivas se movilizan hacia la izquierda y hacia el origen, indicando un significativo aumento en la presión de poros.
- La resistencia peak no está asociada con el ángulo de fricción máximo movilizado.
- Aun cuando exista una marcada pérdida de resistencia al corte, el ángulo de fricción máximo movilizado ocurre a grandes deformaciones.



# Suelo arenoso en un estado denso, carga drenada

- En la Figura siguiente se presentan resultados de un ensayo triaxial, bajo carga drenada.
- Se puede observar que la respuesta tensión-deformación es similar a la expuesta para suelos finos preconsolidados.
- Algo similar ocurre con las curvas de variación de volumen las cuales también presentan una forma similar a las de suelos finos preconsolidados.
- Sin embargo, la envolvente de falla en el plano  $q-p'$ , se observa curva, pero igual pasa por el origen, indicando una variación del ángulo de fricción máximo movilizado con el nivel de presión y una cohesión nula.

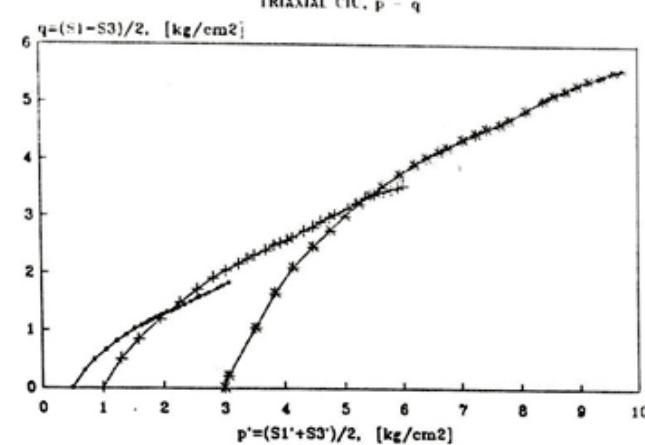
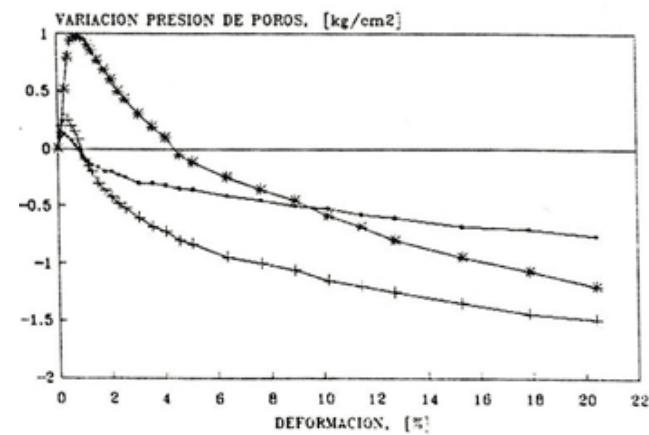
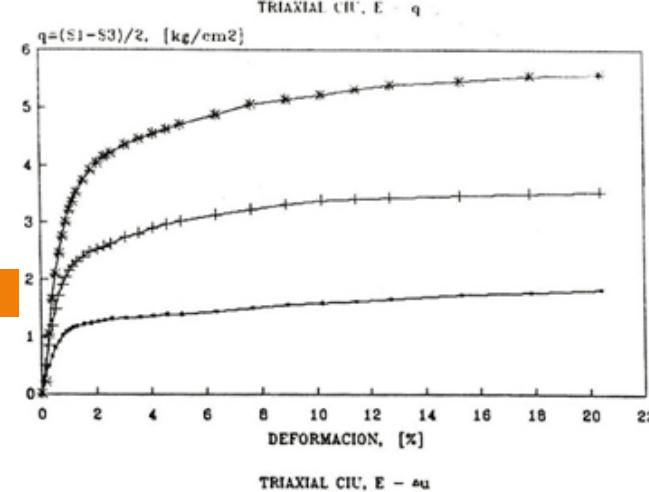
## La Noubleau Aggregates.



Cabe señalar que en gravas densas es posible que la curvatura sea fuerte, pero además, se desarrolle una cohesión, siendo ésta de origen mecánico (trabazón de partículas).

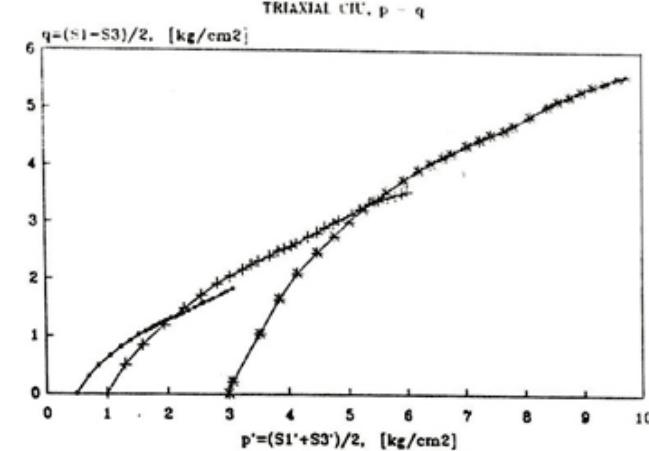
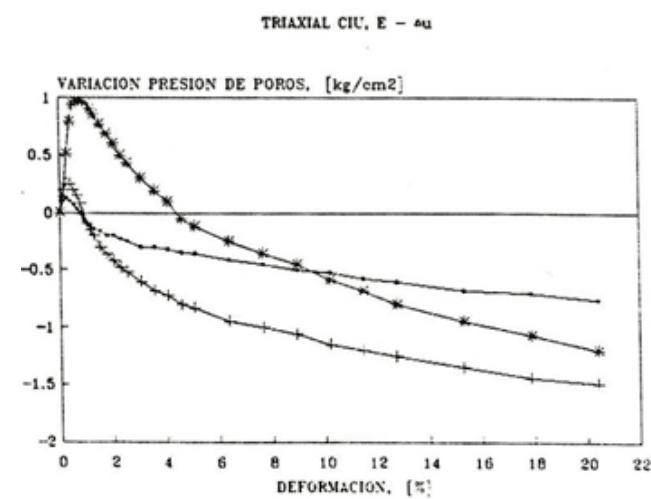
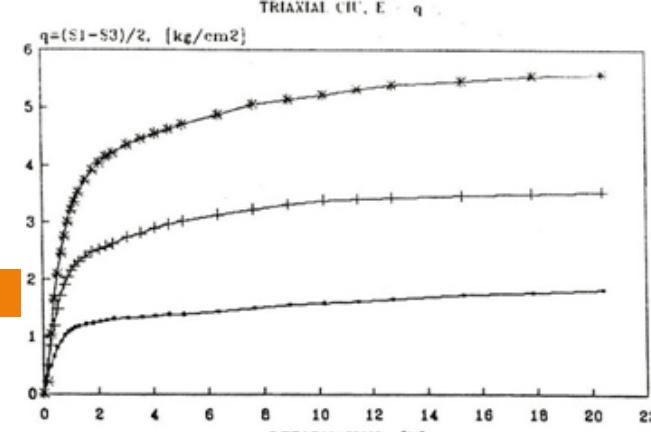
# Suelo denso carga no-drenada

- En la figura se presentan resultados de un suelo arenoso **denso** sometido a un ensayo triaxial, pero ahora con una carga en condiciones **no-drenadas**. Se observa una significativa diferencia, tanto en las curvas tensión-deformación como en las trayectorias de tensiones efectivas respecto de los suelos finos preconsolidados.
- De los resultados expuestos se pueden destacar los siguientes aspectos:



# Suelo denso carga no-drenada

- Las curvas tensión-deformación presentan una pequeña pérdida de rigidez a un nivel de deformación bajo.
- Las trayectorias de tensiones efectivas se movilizan inicialmente hacia la izquierda y bruscamente hacia la derecha, indicando un cambio de comportamiento contractivo a dilatante, o de incrementos positivos de presión de poros a negativos. Este punto particular, denominado transformación de fase, coincide con la pérdida de rigidez observada en la curva tensión-deformación. El fenómeno de dilatancia sólo puede ser observado mientras no exista cavitación en el agua intersticial.



# Suelo denso carga no-drenada

- La resistencia última desarrollada a grandes deformaciones no está asociada con el máximo ángulo de fricción movilizado.
- El máximo ángulo de fricción movilizado se produce a un nivel medio de deformación.
- Suelos granulares con grados de densificación medios poseen un comportamiento intermedio entre lo observado para estados densos y sueltos.

