

1-124  
R  
DES

15092  
15092

01149

127

DIVISION DEL DOCTORADO DE INGENIERIA U. N. A. M.

*Duplicado*

PERFORADO

INFLUENCIA DEL GRADO DE PRECONSOLIDACION  
EN LA RESISTENCIA Y EN EL DESARROLLO DE LA  
PRESION DE PORO EN UNA ARCILLA REMOLDEADA

48  
49

T E S I S

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN INGENIERIA  
MECANICA DE SUELOS

p r e s e n t a:

TABARE ROSARIO MUSTAFA

BIBLIOTECA DE LA  
DIVISION DEL DOCTORADO

MEXICO, D. F.

1964

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*A mi Madre*

El autor desea expresar su agradecimiento a la Fundación Ingeniería, A. C. cuyo soporte económico permitió su finalización de es tudios así como la realización de este trabajo.

INFLUENCIA DEL GRADO DE PRECONSOLIDACION  
EN LA RESISTENCIA Y EN EL DESARROLLO DE  
LA PRESION DE PORO EN UNA ARCILLA REMOLDEADA.

I N D I C E

Introducción ..... Pág 1

CAPITULO I

Material: Descripción de pruebas..... 2

CAPITULO II

Resultado de las pruebas: Relaciones presión de poro-  
esfuerzo desviador y deformación axial. Relaciones pre-  
sión de poro-esfuerzo desviador..... 2-7

CAPITULO III

Características de resistencia: Estado normalmente con-  
solidado, Estado preconsolidado. Relaciones únicas.. 7-12

CAPITULO IV

Predicción de la presión de poro en suelos cohesivos satu-  
rados: Estado normalmente consolidado, estados precon-  
solidados..... 12-14

CAPITULO V

Conclusiones..... 14

Bibliografía..... ñ.....

## INTRODUCCION

Con objeto de estudiar la influencia del grado de preconsolidación en la resistencia de una arcilla remoldeada así como el desarrollo de la Presión de Poro en la etapa de falla, se realizó en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la División del Doctorado de Ingeniería, de la UNAM, un pequeño programa de ensayos triaxiales consolidados no drenados con medición de presión de poro en la base. Los resultados se presentan en el presente trabajo. También se presenta la comparación de las curvas experimentales de desarrollo de presión de poro en la etapa de falla con valores calculados a partir de los coeficientes  $\alpha$  y  $\beta$ .

## MATERIAL

El material usado, una arcilla inorgánica resultado de la intemperización de depósitos calcareos situada entre los 30 y 40 metros de profundidad, se sujetó a un completo remoldeo. Las propiedades índice de la arcilla remoldeada del río Grijalva son:

L.L . . . . .	83 %
L.P . . . . .	39 %
I.P . . . . .	44 %
Ss . . . . .	2.52

Siendo la humedad de remoldeo de 69 %

## DESCRIPCION DE LAS PRUEBAS

Se labraron muestras de 3.55 de diámetro y 8.52 cm de altura, cuyo peso medio fué de 135 gm. Tanto en las bases como en la superficie lateral, se colocaron drenes de papel filtro saturados, para acelerar el proceso de consolidación, y la igualación de la presión de poro. Las muestras normalmente consolidadas, se sujetaron a una presión de cámara de 4.0 kg/cm<sup>2</sup> durante 2 o 3 días. La preconsolidación se logró, disminuyendo la presión de cámara y permitiendo la expansión de la muestra durante un tiempo igual al necesario para la consolidación.

La etapa de falla se efectuó a esfuerzo controlado, mediante un mínimo de 10 incrementos, siendo los 5 primeros del doble en magnitud de los 5 últimos. La medición de la presión de poro se efectuó en la base.

## RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

Relaciones Esfuerzo desviador - Presión de poro y Deformación axial

1. Estado normalmente consolidado. C.C.R. = 1.

Presión de preconsolidación:  $\sigma_p = 4.0 \text{ kg/cm}^2$ . Presión de cámara:  $\sigma_c = 4.0 \text{ kg/cm}^2$ .

En la fig. 1 la curva  $(\sigma'_1 - \sigma'_3) - \frac{s}{\rho}$  presenta la forma clásica de un material de falla plástica: Creciendo  $(\sigma'_1 - \sigma'_3)$  en forma no lineal para deformaciones que van de 0% al 12.1% y alcanzando un valor constante a partir de ésta deformación unitaria.



La curva  $\Delta u - \frac{\delta}{l}$ , tiene gran semejanza de forma con la curva  $(\sigma'_1 - \sigma'_3) - \frac{\delta}{l}$ , es decir, puede observarse que en el intervalo de 0 % a 12.1 % de crecimiento no lineal del esfuerzo desviador, también crece en forma no lineal la presión de poro. Para deformaciones mayores que el 12.1 % la presión de poro continúa creciendo, pero en forma muy lenta, siendo su incremento a partir del 12.1% menor que el 1% del valor alcanzado para ésa deformación unitaria.

La presión de poro alcanza un valor de 40% del esfuerzo desviador  $(\sigma'_1 - \sigma'_3)_{max}$ , ocurriendo éste a una deformación de 12.1% . La falla se presentó sobre un plano de deslizamiento marcado, pero sin separación de los elementos deslizantes.

## 2. Estado preconsolidado O.C.R. = 1.5

$$\sigma_p = 4.0 \text{ kg/cm}^2. \quad \sigma_c = 2.67 \text{ kg/cm}^2.$$

En la fig. 2 nuevamente la curva  $(\sigma'_1 - \sigma'_3) - \frac{\delta}{l}$  acusa falla de tipo plástico.

En este caso, el desarrollo no lineal del esfuerzo desviador  $(\sigma'_1 - \sigma'_3)$ , ocurre del 0% al 9.6% de deformación axial. El valor del  $(\sigma'_1 - \sigma'_3)$  máximo es de 2.49 kg/cm<sup>2</sup>

La curva  $\Delta u - \frac{\delta}{l}$  presenta un crecimiento prácticamente lineal, teniendo mayor inclinación entre el 0% y el 7% de deformación axial. En adelante, la curva es más tendida. Se nota que el esfuerzo desviador crece más rápidamente en la porción no lineal, precisamente hasta el 7% de deformación axial. Mas interesante aún, es la reducción en la presión de poro, en valor, en relación al esfuerzo desviador máximo. En este caso solo alcanza el 18.9%

No se presentó plano de falla pero sí ensanchamiento de la probeta.

3. Estado preconsolidado O.C.R. = 2.

$$\sigma_p = 4 \text{ kg/cm}^2 \text{ y } \sigma_c = 2 \text{ kg/cm}^2$$

En la fig. 3, la curva  $(\sigma'_1 - \sigma'_3) - \delta/\lambda$  presenta crecimiento rápido no lineal entre 0% y 8.1% alcanzando el esfuerzo desviador un máximo de 2.090 kg/cm<sup>2</sup> para éste 8.1%. Se presenta aquí por vez única en los ensayos, que a partir del  $(\sigma'_1 - \sigma'_3)$  máximo = 2.095 kg/cm<sup>2</sup>, este desciende hasta 2.01 kg/cm<sup>2</sup>, para una deformación de 18%.

La curva  $\Delta u - \delta/\lambda$  tiene una primera porción de crecimiento no lineal, en el mismo intervalo en que  $(\sigma'_1 - \sigma'_3)$  crece en forma semejante. Para deformaciones axiales mayores la presión de poro permanece constante con un valor de 0.373 kg/cm<sup>2</sup>.

También aquí la presión de poro experimenta una reducción con relación al esfuerzo desviador máximo, alcanzando solo un 17.8 % de éste.

La falla ocurrió en un plano bien definido presentando una visible separación de las partes deslizantes.

4. Estado de preconsolidación O.C.R. = 3

$$\sigma_p = 4.0 \text{ kg/cm}^2. \quad \sigma_c = 1.33 \text{ kg/cm}^2.$$

En la fig. 4, se muestra éste caso que guarda gran similitud de comportamiento con el comentado anteriormente variando solo ligeramente en los valores alcanzados por:

- a) Valor máximo de  $(\sigma'_1 - \sigma'_3) = 0.835 \text{ kg/cm}^2$ , siendo la deformación en que se alcanza de 12.1%
- b) La presión de poro en éste caso alcanza un 17.6% del valor de  $(\sigma'_1 - \sigma'_3)_{\text{máx.}}$

La falla ocurre en un plano de deslizamiento sin existir una separación de partes deslizantes.

5. Estado preconsolidado. O.C.R. = 4.

$$\sigma_p = 4.0 \text{ kg/cm}^2; \sigma_c = 1 \text{ kg/cm}^2.$$

En éste ensaye fig. 5, la curva  $\sigma - \delta/\rho$  también presenta la forma característica de un material de falla plástica, con una primera porción de crecimiento no lineal de  $(\sigma'_1 - \sigma'_3)$  en relación a  $\delta/\rho$ , alcanzando un valor máximo de  $1.57 \text{ kg/cm}^2$  para una  $\delta/\rho = 8.6\%$ . En la curva  $\Delta u - \delta/\rho$  es donde éste ensaye presenta características diferentes a los anteriores. En la primera porción, cuando la deformación axial va de 0% a 1.6% la presión de poro crece alcanzando un valor máximo de 17.4% del esfuerzo desviador máximo para decrecer luego hasta un valor de 13.6% del  $(\sigma'_1 - \sigma'_3)$  máximo para  $\delta/\rho = 8.6\%$

A partir de la deformación  $\delta/\rho = 8.6\%$  la presión de poro permanece constante e igual a 13.6% del esfuerzo desviador máximo.

La falla ocurre con plano de deslizamiento pero éste es solo visible en una parte, presentando ligeros plegamientos en las demás porciones.

6. Características de conjunto

Teniendo en cuenta que el conjunto de pruebas realizadas, comprenden O.C.R. iguales a 1, 1.5, 2, 3, y 4, podemos decir que la arcilla remoldeada del río Grájalva y para las relaciones de preconsolidación estudiadas, se comporta como un material de falla plástica.

En cuanto a los valores de la deformación axial, a la que ocurre la falla, ya sea por el criterio de esfuerzo desviador

$(\sigma'_1 - \sigma'_3)$  máximo, o bien el de relación máxima de esfuerzos principales  $\sigma'_1/\sigma'_3$  máximo, parece no existir relación simple alguna.

#### RELACION DE PRESION DE PORO-ESFUERZO DESVIADOR

En el párrafo anterior, se ha visto puntualizando datos y características que la presión de poro en relación a la deformación axial  $\delta/\rho$  sigue una secuela bien determinada, siendo ésta en términos generales como sigue:

Para el estado normalmente consolidado, o sea para O.C.R. = 1,  $\Delta u - \delta/\rho$  es siempre creciente, siendo  $\Delta u_f$  un 40 % de  $(\sigma'_1 - \sigma'_3)_f$  para la falla.

Para el estado preconsolidado, con O.C.R. = 1.5,  $\Delta u - \delta/\rho$  permanece siendo creciente, pero  $\Delta u_f$  en la falla sufre una reducción con relación a  $(\sigma'_1 - \sigma'_3)_f$ , alcanzando en éste caso el 18.9 % de éste.

Para los estados preconsolidados, con O.C.R. de 2, y 3, sigue siendo creciente, pero a partir de la deformación en que ocurre  $(\sigma'_1 - \sigma'_3)_f$ , crece con muy poca pendiente, llegando a ser casi horizontal.  $\Delta u_f$  es solo un 17.5 % de  $(\sigma'_1 - \sigma'_3)$  máximo.

Para el estado preconsolidado con O.C.R. = 4,  $\Delta u - \delta/\rho$  inicialmente crece, para descender luego hasta un  $\Delta u_f$ . Para mayores deformaciones continúa descendiendo ligeramente.

Si observamos ahora las figuras 6, 7, 8, 9 y 10, que muestran la relación  $\Delta u - (\sigma'_1 - \sigma'_3)$  expresados en forma adimensional, notaremos en forma más acentuada las características anteriores. Así para O.C.R. = 1,  $\frac{\Delta u}{\sigma'_c}$  crece en forma importante, al crecer  $\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{\sigma'_c}$ .

Para O.C.R. = 1.5, éste crecimiento es menos notable, pero sigue siendo creciente y más suave aún, pero con igual comportamiento para O.C.R. = 2.

En la curva para O.C.R. = 3,  $\frac{\Delta u}{\sigma_c}$  es aún creciente para  $\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{\sigma_c}$  creciente pero en forma señaladamente más suave y tendida que para los casos anteriores, llegando como caso límite puesto que para O.C.R. = 4  $\frac{\Delta u}{\sigma_c}$  crece inicialmente, disminuyendo cuando  $\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{\sigma_c}$  sobrepasa su valor medio

Del anterior conjunto de datos, podemos anunciar para la arcilla en particular tratada que:

1. El desarrollo de la presión de poro durante la etapa de falla sigue un crecimiento positivo, que se hace más suave a medida que crece O.C.R., hasta llegar a tener un desarrollo inicialmente creciente y decreciente al final para el caso límite de O.C.R. = 4.

2. Para el estado normalmente consolidado, O.C.R. = 1,  $\Delta u_f$  es aproximadamente 40 % del  $(\sigma'_1 - \sigma'_3)$  de falla.

Para los estados preconsolidados O.C.R. = 1.5, 2, 3, y 4,  $\Delta u_f$  alcanza distintos valores de  $(\sigma'_1 - \sigma'_3)$  en la falla, siendo estos:

O.C.R.	$\left( \frac{\Delta u}{\sigma'_1 - \sigma'_3} \right)_f$
1	40 %
1.5	18.9 %
2	17.8 %
3	17.6 %
4	13.6 %

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS CARACTERISTICAS DE  
RESISTENCIA DE UNA ARCILLA REMOLDEADA

1. Criterios de Falla.

En Mecánica de Suelos, el estudio de la estabilidad de masas de suelo contra la falla, soportando su peso propio o bajo la acción de cargas aplicadas, puede ser atacado a partir de:

- a) Métodos basados en la teoría de la elasticidad
- b) Métodos basados en el principio del diseño al límite.

En el primer método, la secuela a seguir, es determinar la distribución de esfuerzos motivada por un sistema de cargas determinado y comparar éstos esfuerzos con la resistencia del suelo.

A éste procedimiento, puede señalarse un error; Es ilógico aceptar que los suelos tengan características elásticas.

Y una limitación: para acercarse a la hipótesis de la elasticidad, había que trabajar con factores de seguridad altos que impedirían la existencia de zonas plásticas.

En el segundo método, aceptado en Mecánica de Suelos, se estudian los esfuerzos límite que causan la falla del suelo por deformaciones excesivas o fracturas mediante la teoría de Mohr-Coulomb, teoría ésta que considera que la resistencia de un material, puede medirse por el esfuerzo cortante límite que puede soportar dicho material y siendo a su vez éste esfuerzo cortante máximo, función del esfuerzo normal efectivo que actúa en el plano de deslizamiento en el momento en que la falla ocurre.

Dos de los criterios de falla más usados son:

- a) Máximo esfuerzo desviador
- b) Relación máxima de esfuerzos efectivos principales.

Trataremos de aplicar ambos a los ensayos consolidados no drenados efectuados en la arcilla estudiada analizando en forma comparativa los resultados alcanzados.

2.

Características de resistencia en estado normalmente consolidado

- a) Criterio de esfuerzo desviador máximo.

Para este caso, el esfuerzo desviador máximo alcanzó un valor de  $(\sigma'_1 - \sigma'_3) = 3.21 \text{ kg/cm}^2$ , para una  $\delta/\sigma'_3 = 12.1\%$  siendo el ángulo de fricción interna  $\phi'$  de  $21.5^\circ$  con relación a esfuerzos efectivos.

b) Criterio de relación máxima de esfuerzos principales efectivos. La relación  $\frac{\sigma'_1}{\sigma'_3}$ , máxima vale 2.25 y ocurre para  $\delta/\sigma'_3 = 14.6\%$  y el ángulo de fricción interna es  $22.5^\circ$  para el caso estudiado. Este desfase de los puntos en que ocurre la falla, dependiendo del criterio de falla elegido se debe a que en los ensayos consolidados no drenados normalmente consolidados, pudo comprobarse que aún después que el esfuerzo desviador alcanzó su valor máximo, la presión de poro continuó creciendo pudiéndose asegurar ésto por lo siguiente:

- a) El crecimiento de  $\Delta u$  no se debió a retraso en la medición de ésta en la base de la probeta causado por una igualación

entre la presión de poro más alta en la zona central o de falla y aquella en la base o zona de medición, ya que los ensayos se realizaron a esfuerzo controlado y solo se efectuaban incrementos cuando tanto la deformación axial como la presión de poro alcanzaban el equilibrio.

b) La presión de poro no debió su crecimiento a filtraciones del líquido de la cámara hacia la probeta, pues se tuvo el cuidado de usar membranas de latex, dobles y aceite para dar la presión de cámara, y visualmente se comprobó la ausencia de aceite en las paredes de la probeta al efectuarse el desmontado.

#### CARACTERISTICAS DE RESISTENCIA EN EL ESTADO DE PRECONSOLIDACION.

Para los distintos ensayos, con diferentes O.C.R., los  $\psi'$  encontrados a partir de ambos criterios son en todos los casos semejantes. Comparando los  $\psi'$  encontrados para los ensayos con distintos O.C.R., entre sí, estos son muy diferentes, como se observa del siguiente cuadro.

O.C.R.	$\psi'$ a partir de $(\sigma'_1 - \sigma'_3)_{\text{máx}}$	$\psi'$ a partir de $\left(\frac{\sigma'_1}{\sigma'_3}\right)_{\text{máx}}$
1	21.5	22.5 máx.
1.5	21.2	21.3
2.	23.0	23.0
3.	23.0	23.0
4.	30.0	30.0

Esta diferencia puede explicarse, teniendo en cuenta la alteración del manipuleo de laboratorio, y principalmente las variaciones en contenido de agua, que se presentan a continuación:



Probeta	OCR	$\omega$ % remoldeo	$\omega$ % falla
17	1	67.5	36.8
37	1.5	66	36.2
34	2	65	36.4
35	3	66	39.0
36	4	67.5	41.3

En la figura 11 la envolvente promedio de falla tiene una inclinación de  $19^\circ$  en lugar de  $21.5^\circ$  que es la de la normalmente consolidada. Si no se considera el ensaye O.C.R. = 4, la inclinación de la envolvente promedio es  $21.3^\circ$  prácticamente paralela a la normalmente consolidada. Es de señalar que tanto en un caso como en el otro, las envolventes cortan al eje de las ordenadas en los valores de  $0.225 \text{ kg/cm}^2$  y  $0.05 \text{ kg/cm}^2$ .

Aunque ninguna diferencia notable se ha encontrado en los valores calculados a partir de los dos criterios de falla, se presenta en cambio, un desfase en los valores de las deformaciones axiales a las que ocurre la falla según cada criterio, así resumimos a continuación:

O.C.R.	$\delta/\rho$ para $(\sigma'_1 - \tau'_2)_{\text{máx}}$	$\delta/\rho$ para $\left(\frac{\sigma'_1}{\sigma'_3}\right)_{\text{máx}}$
1	12.1	14.6
1.5	9.5	12.0
2.0	8.1	10.1
3.0	12.1	13.1
4.0	8.6	8.6

## RELACIONES UNICAS

En las fig. 13 se muestran las relaciones en la falla de la presión de poros  $\Delta u_f$  y los O.C.R., así como también en la fig 12, las existentes entre el esfuerzo desviador máximo  $(\sigma'_1 - \sigma'_3)_{max}$  con los O.C.R. De ambas graficas se deduce en forma evidente que existen relaciones unicas y simples entre  $\Delta u_f$ ,  $(\sigma'_1 - \sigma'_3)_f$  y los O.C.R.

Relaciones semejantes encontró el Dr. D.J. Henkel para la arcilla de Londres, también en estado remoldeado.

PREDICCIÓN DE PRESION DE PORO EN SUELOS  
COHESIVOS  
COHESIVOS SATURADOS

En esta sección confrontaremos nuestros datos con la teoría de las funciones  $\alpha$  y  $\beta$  del profesor Juarez-Badillo 1963 para suelos cohesivos saturados.

En la teoría  $\alpha$  y  $\beta$  la presión de poro en forma adimensional para suelos normalmente consolidados, se expresa así:

$$\frac{\Delta u}{\sigma_c} = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{3\sigma_c} + \alpha \left( \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{|\sigma'_1 - \sigma'_3|_f} \right)^\beta$$

$\sigma_c$  = Presión de cámara

$(\sigma'_1 - \sigma'_3)$  = Esfuerzo desviador en el instante considerado

$|\sigma'_1 - \sigma'_3|_f$  = Esfuerzo desviador en la falla.

El factor  $\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{3\sigma_c}$  es el aumento en presión de poro motivado por la componente isotrópica del esfuerzo desviador expresado en forma adimensional. El coeficiente  $\alpha$  permite expresar en la fa-

lla la fracción de  $\sigma_c$  que se transforma en  $\Delta u$  por las alteraciones que en la estructura producen los cortantes inducidos. Por ello se debe verificar que  $0 < \alpha < 1$ . El coeficiente  $\beta$  da la forma de crecimiento de  $\Delta u$  durante la etapa de falla, en función de la relación del esfuerzo desviador en un instante cualquiera, al valor de  $(\sigma'_1 - \sigma'_3)$  en la falla.

Para el estado normalmente consolidado, en la figura 6 se muestran los datos experimentales y los puntos teóricos calculados para  $\alpha = 0.047$  y  $\beta = 6$ .

De esta comparación, podemos deducir que la aproximación de la predicción para éste caso es muy buena.

Estados Preconsolidados. Casos O.C.R. = 1.5, y 2.

Para éstos, un término más interviene en la ecuación 1, este término es negativo e igual a:

$$- \alpha_p \frac{\sigma_e - \sigma_c}{\sigma_c} \left( \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{|\sigma'_1 - \sigma'_3|_f} \right)^{\beta_p}$$

$\alpha_p$  y  $\beta_p$  tienen significados análogos a los anteriores.

$\sigma_c =$  es la presión de cámara, que éstos casos está ubicada en la rama de descarga de la curva de compresibilidad.

$\sigma_p =$  Presión correspondiente en la rama virgen en la curva de compresibilidad a  $\sigma_c$ , teniendo por tanto ambas una misma  $e$ . En la figura 14 mostramos gráficas y datos de la curva de compresibilidad y expansión para la arcilla estudiada de la que se tomaron los datos necesarios para las siguientes comparaciones:

En la figura 7 se presenta la curva experimental y los puntos teóricos para el caso O.C.R. = 1.5 para valores de:

$$\begin{aligned}\alpha &= 0.047 & \beta &= 6 \\ \alpha_p &= 0.5 & \beta_p &= 1.75\end{aligned}$$

Para O.C.R. = 2, la comparación se muestra en la figura 8  
Para los siguientes valores de los parámetros:

$$\begin{aligned}\alpha &= 0.047 & \beta &= 6 \\ \alpha_p &= 0.28 & \beta_p &= 1.75\end{aligned}$$

Para O.C.R. = 3, la comparación se muestra en la figura 9  
Siendo los valores de los parámetros:

$$\begin{aligned}\alpha &= 0.047 & \beta &= 6 \\ \alpha_p &= 0.24 & \beta_p &= 3\end{aligned}$$

Para O.C.R. = 4, la comparación se muestra en la figura 10  
y los valores de los parámetros:

$$\begin{aligned}\alpha &= 0.047 & \beta &= 6 \\ \alpha_p &= 0.28 & \beta_p &= 4\end{aligned}$$

Nótese que en los puntos cercanos al origen, las discrepancias podrían explicarse basándose en que las mediciones se efectuaron partiendo de un valor determinado en el aparato de presión de poro y no de cero. Los ensayos se realizaron así ya que dada la forma en que está construido el aparato de presión de poros que se usó, se gana comodidad y seguridad en ello.

#### CONCLUSIONES

Para la arcilla remoldeada del río Grijalva, en los estados

de preconsolidación, con O.C.R. = 1, 1.5, 2, 3, y 4 se verifica que:

- a) Se comporta como un material de falla plástica.
- b) No parece existir relación simple alguna entre los valores de la deformación axial a la que ocurre la falla, cualquiera que sea el criterio de falla empleado.
- c) El desarrollo de la presión de poro durante la etapa de falla sigue un crecimiento positivo, muy rápido, que se hace más suave a medida que crece el O.C.R. hasta llegar a tener un desarrollo inicialmente creciente y decreciente para el caso límite de O.C.R. = 4.
- d) Para el estado normalmente consolidado, O.C.R. = 1, es aproximadamente 40 % de  $(\sigma'_1 - \sigma'_3)_f$  falla. Para los estados preconsolidados, O.C.R. = 1.5, 2, 3, 4,  $\Delta u_f$  alcanza 18.9, 17.8, 17.6 y 13.6 % de  $(\sigma'_1 - \sigma'_3)_f$  respectivamente.
- e) Para el estado normalmente consolidado, existe discrepancia para los valores de  $\varphi'$  según se calcula con uno u otro criterios de falla. Para los estados preconsolidados, los valores de  $\varphi'$  calculados según ambos criterios, son semejantes.
- f) Existen relaciones simples y únicas entre los valores de:  $\Delta u_f - (\sigma'_1 - \sigma'_3)_f$  y O.C.R.
- g) Para los estados O.C.R. = 1, 1.5, 2, 3 y 4, los valores dados por la teoría de los coeficientes  $\alpha$  y  $\beta$  para la presión de poro en la etapa de falla, caen sensiblemente

sobre la curva experimental.

Para los puntos cercanos al origen existen discrepancias entre los datos teóricos con los experimentales, ya que las pruebas se efectuaron partiendo de un valor inicial en el aparato de presión de poro, y no de cero.

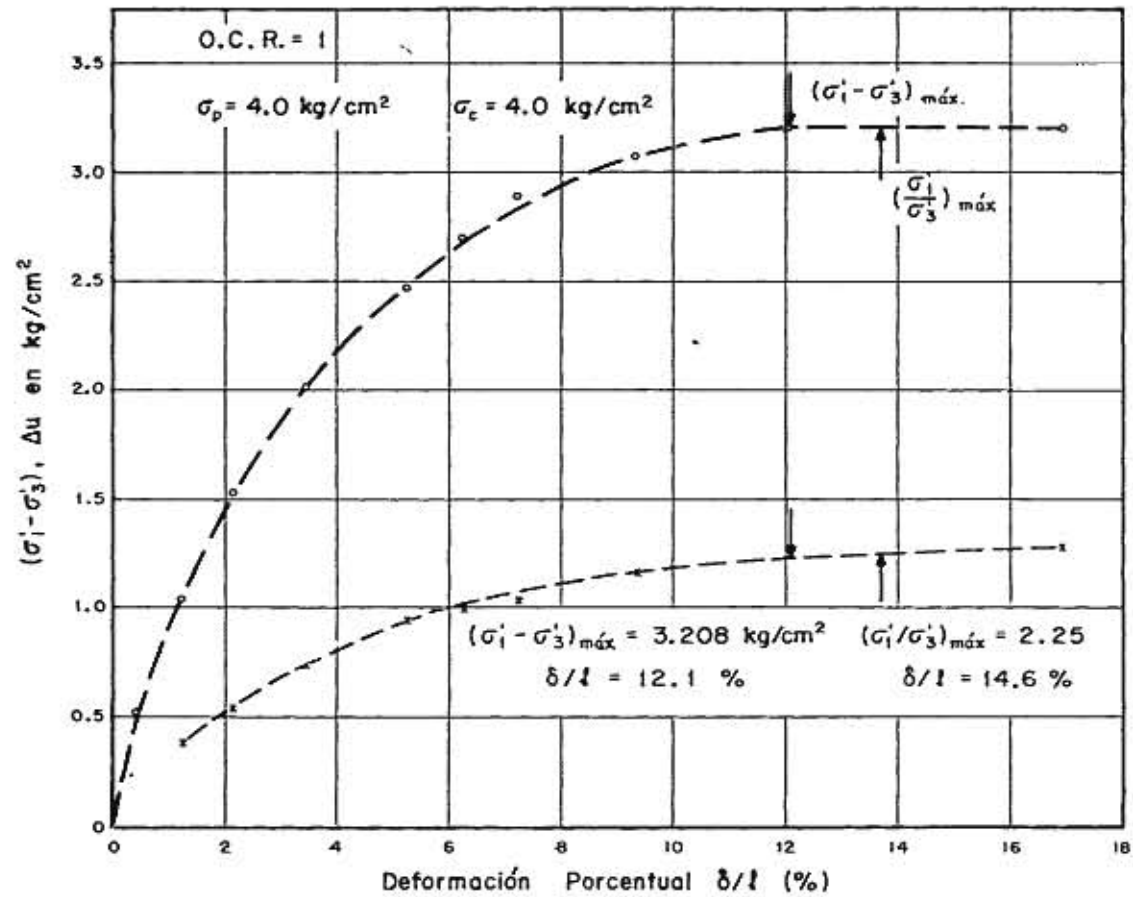


FIG.1 RELACIONES ESFUERZO DESVIADOR - PRESION DE PORO Y DEFORMACION AXIAL

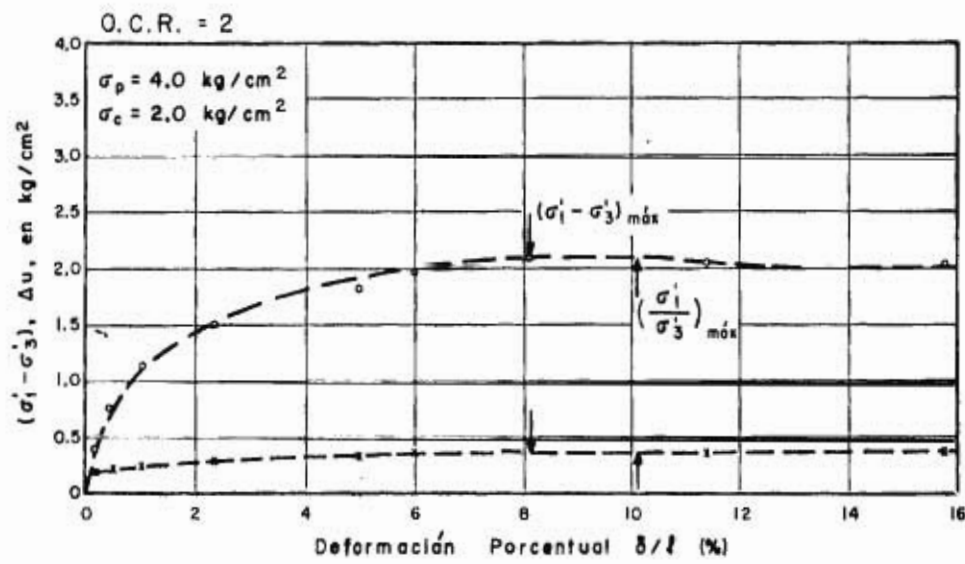
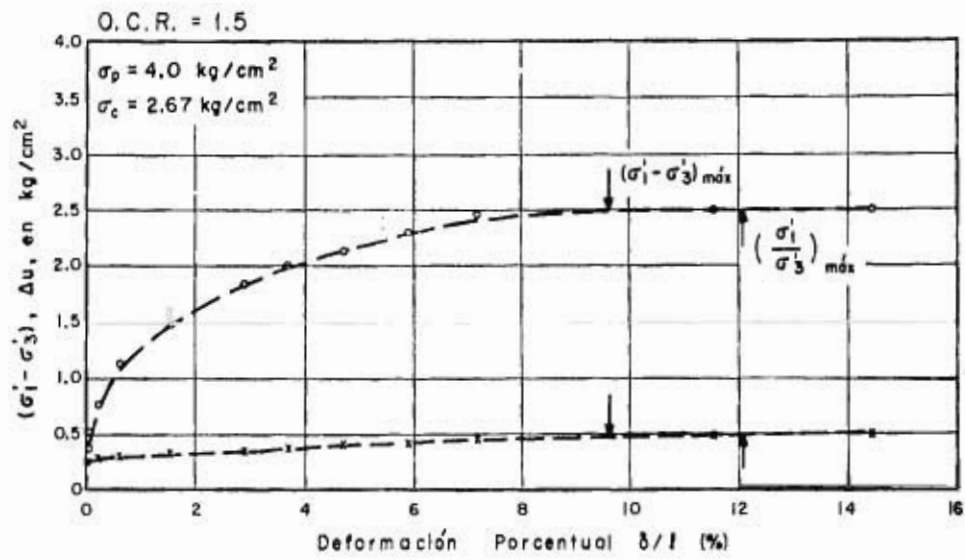


FIG. 2 Y 3 RELACIONES ESFUERZO DESVIADOR - PRESION DE PORO Y DEFORMACION AXIAL



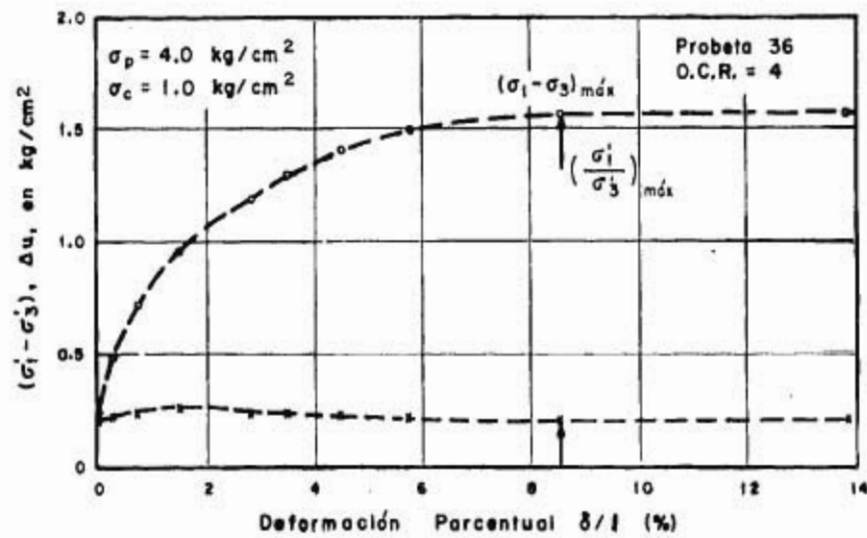
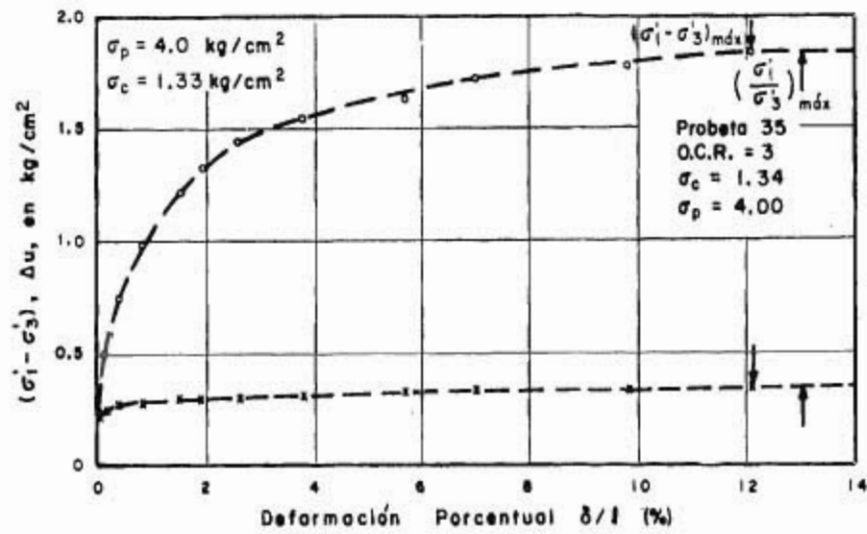
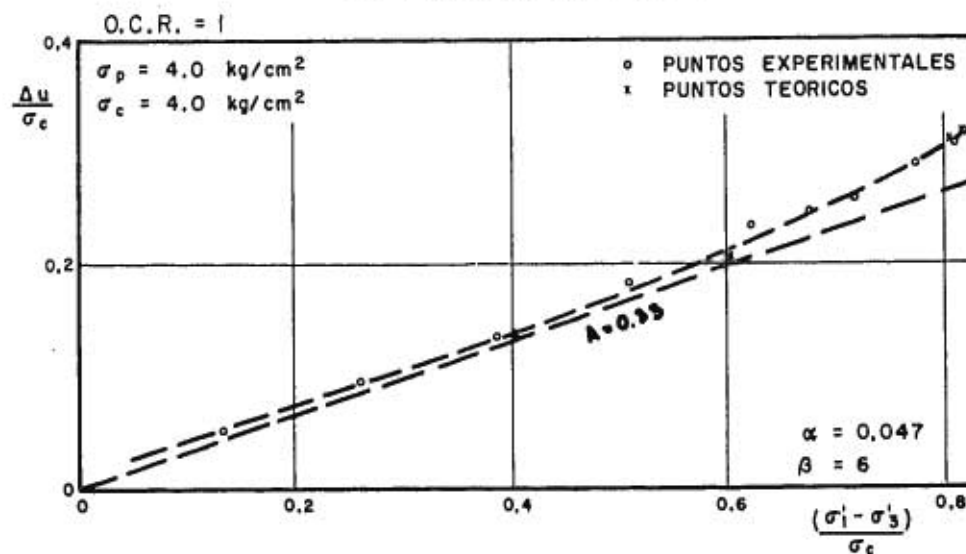


FIG. 4 Y 5 RELACIONES ESFUERZO DESVIADOR - PRESION DE PORO  
 Y DEFORMACION AXIAL

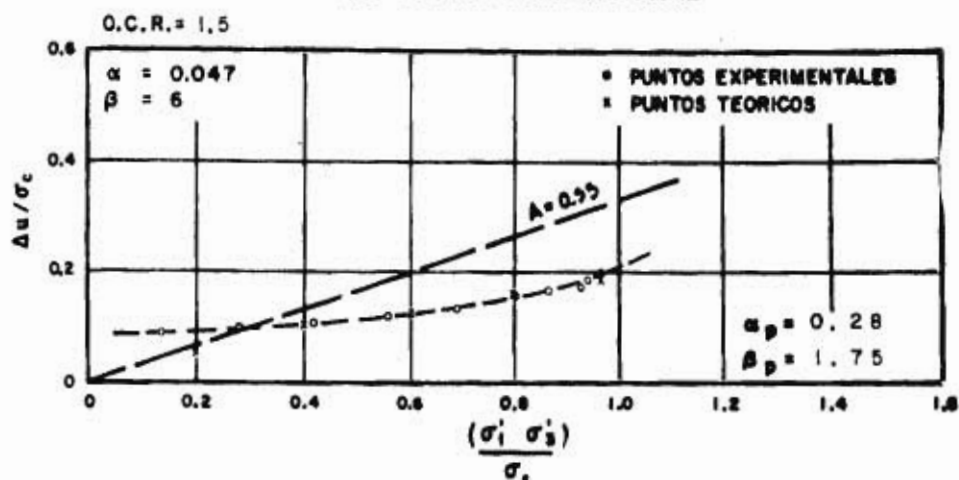
FIG.6 RELACIONES PRESION DE PORO - ESFUERZO DESVIADOR EN FORMA ADIMENSIONAL



T A B L A

TIEMPO ACUMULADO (MIN.)	DEF. PORCENTUAL $\delta/l$ en (%)	ESF. DESVIADOR ( $\sigma_1' - \sigma_3'$ ) en $\text{kg/cm}^2$	PRESION DE PORO $\Delta u$ en $\text{kg/cm}^2$	$\frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{\sigma_c}$	$\frac{\Delta u}{\sigma_c}$
140	0.412	0.521	0.309	0.130	0.052
450	1.220	1.035	0.374	0.258	0.094
650	2.153	1.533	0.551	0.383	0.138
840	3.455	2.472	0.739	0.505	0.185
1020	5.235	2.472	0.943	0.619	0.236
1160	6.266	2.689	0.988	0.672	0.247
1250	7.227	2.904	1.033	0.728	0.258
1370	9.374	3.072	1.160	0.769	0.290
1480	12.092	3.208	1.230	0.802	0.307
1530	16.903	3.208	1.270	0.811	0.317

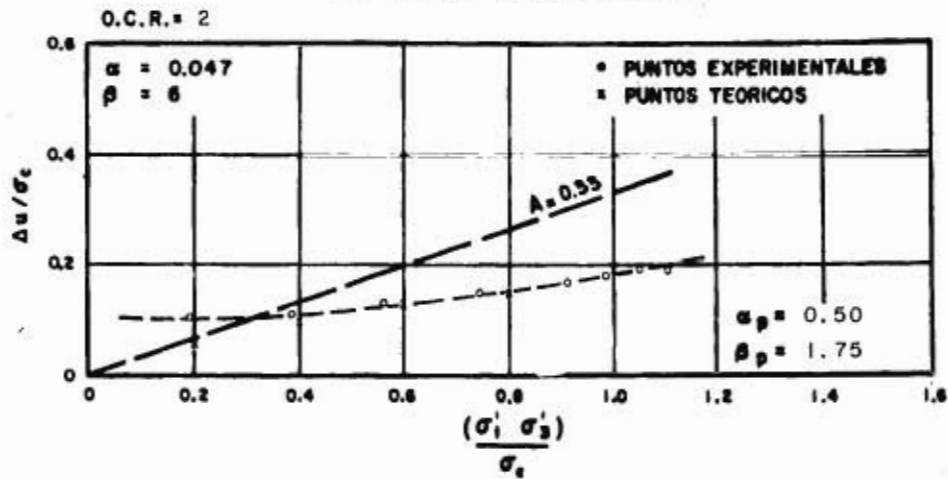
FIG. 7 RELACIONES PRESION DE PORO - ESFUERZO DESVIADOR EN FORMA ADIMENSIONAL



TABLA

TIEMPO ACUMULADO (MIN.)	DEF. PORCENTUAL $\delta/l$ en (%)	ESF. DESVIADOR $(\sigma_1 - \sigma_3)$ en kg/cm <sup>2</sup>	PRESION DE PORO $\Delta u$ en kg/cm <sup>2</sup>	$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_c}$	$\frac{\Delta u}{\sigma_c}$
130	0.056	0.374	0.246	0.140	0.093
260	0.222	0.746	0.264	0.280	0.099
410	0.627	1.118	0.288	0.420	0.108
550	1.559	1.472	0.316	0.552	0.119
700	2.885	1.814	0.344	0.681	0.129
840	3.661	1.982	0.366	0.746	0.138
990	4.738	2.138	0.394	0.801	0.148
1140	5.899	2.296	0.424	0.861	0.160
1270	7.150	2.442	0.454	0.918	0.170
1360	11.542	2.481	0.476	0.931	0.179
1440	14.465	2.481	0.495	0.965	0.186

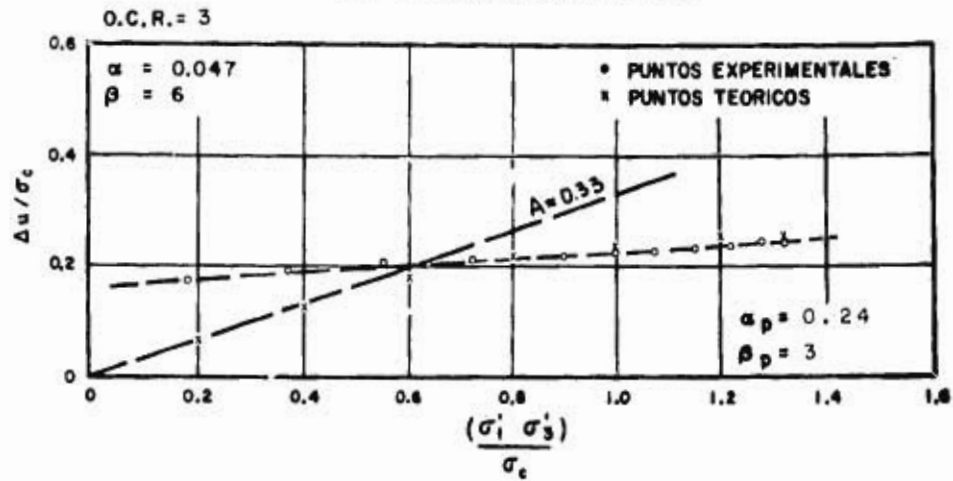
FIG. 8 RELACIONES PRESION DE PORO - ESFUERZO DESVIADOR EN FORMA ADIMENSIONAL



T A B L A

TIEMPO ACUMULADO (MIN.)	DEF. PORCENTUAL δ/l en (%)	ESF. DESVIADOR (σ <sub>1</sub> - σ <sub>2</sub> ) en kg/cm <sup>2</sup>	PRESION DE PORO Δu en kg/cm <sup>2</sup>	$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_c}$	$\frac{\Delta u}{\sigma_c}$
80	0.193	0.380	0.194	0.190	0.097
200	0.458	0.758	0.213	0.379	0.107
340	1.025	1.125	0.243	0.562	0.122
510	2.339	1.492	0.281	0.716	0.141
720	4.950	1.808	0.329	0.901	0.165
870	5.985	1.965	0.351	0.982	0.176
1020	8.130	2.095	0.373	1.047	0.187
1100	18.603	2.010	0.373	1.005	0.187

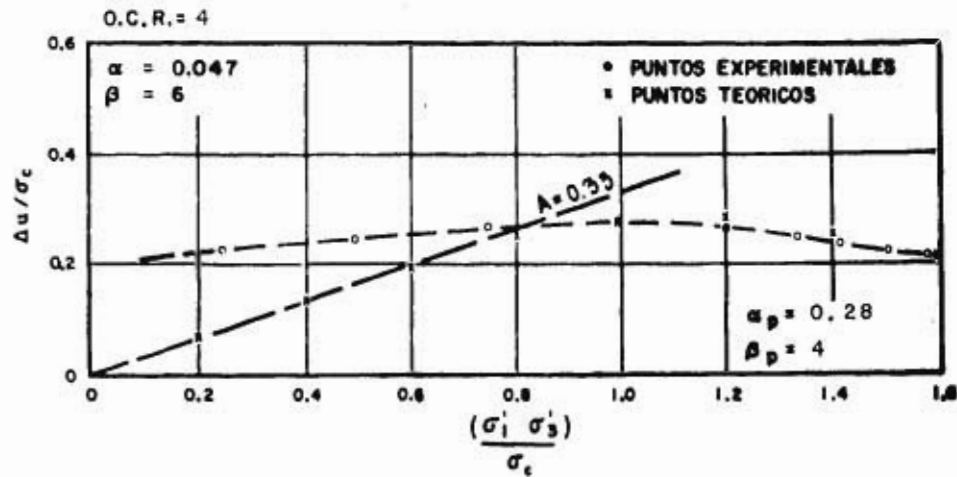
FIG. 9 RELACIONES PRESION DE PORO - ESFUERZO DESVIADOR EN FORMA ADIMENSIONAL



T A B L A

TIEMPO ACUMULADO (MIN.)	DEF. PORCENTUAL $\delta/\delta$ en (%)	ESF. DESVIADOR $(\sigma_1' - \sigma_3')$ en kg/cm <sup>2</sup>	PRESION DE PORO $\Delta u$ en kg/cm <sup>2</sup>	$\frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{\sigma_c}$	$\Delta u / \sigma_c$
130	0.036	0.246	0.230	0.184	0.173
260	0.183	0.491	0.254	0.370	0.191
390	0.419	0.735	0.270	0.551	0.203
520	0.853	0.976	0.282	0.731	0.212
650	1.570	1.210	0.290	0.909	0.218
750	1.979	1.326	0.297	0.996	0.223
850	2.642	1.437	0.305	1.078	0.229
950	3.832	1.538	0.312	1.152	0.234
1050	5.769	1.622	0.319	1.219	0.239
1150	7.083	1.714	0.323	1.283	0.243
1260	9.862	1.773	0.328	1.328	0.246
1275	12.197	1.835	0.330	1.376	0.247

FIG.10 RELACIONES PRESION DE PORO - ESFUERZO DESVIADOR EN FORMA ADIMENSIONAL



T A B L A

TIEMPO ACUMULADO (MIN.)	DEF. PORCENTUAL $\delta/l$ en (%)	ESF. DESVIADOR $(\sigma_1 - \sigma_3)$ en kg/cm <sup>2</sup>	PRESION DE PORO $\Delta u$ en kg/cm <sup>2</sup>	$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_c}$	$\frac{\Delta u}{\sigma_c}$
130	0.076	0.246	0.220	0.246	0.220
260	0.334	0.490	0.240	0.490	0.240
390	0.778	0.732	0.258	0.732	0.258
590	1.519	0.970	0.273	0.970	0.273
650	2.886	1.195	0.258	1.195	0.258
780	3.580	1.305	0.245	1.305	0.245
890	4.578	1.412	0.236	1.412	0.236
1000	5.840	1.505	0.224	1.505	0.224
1110	8.618	1.572	0.213	1.572	0.213
1150	13.911	1.572	0.208	1.572	0.208

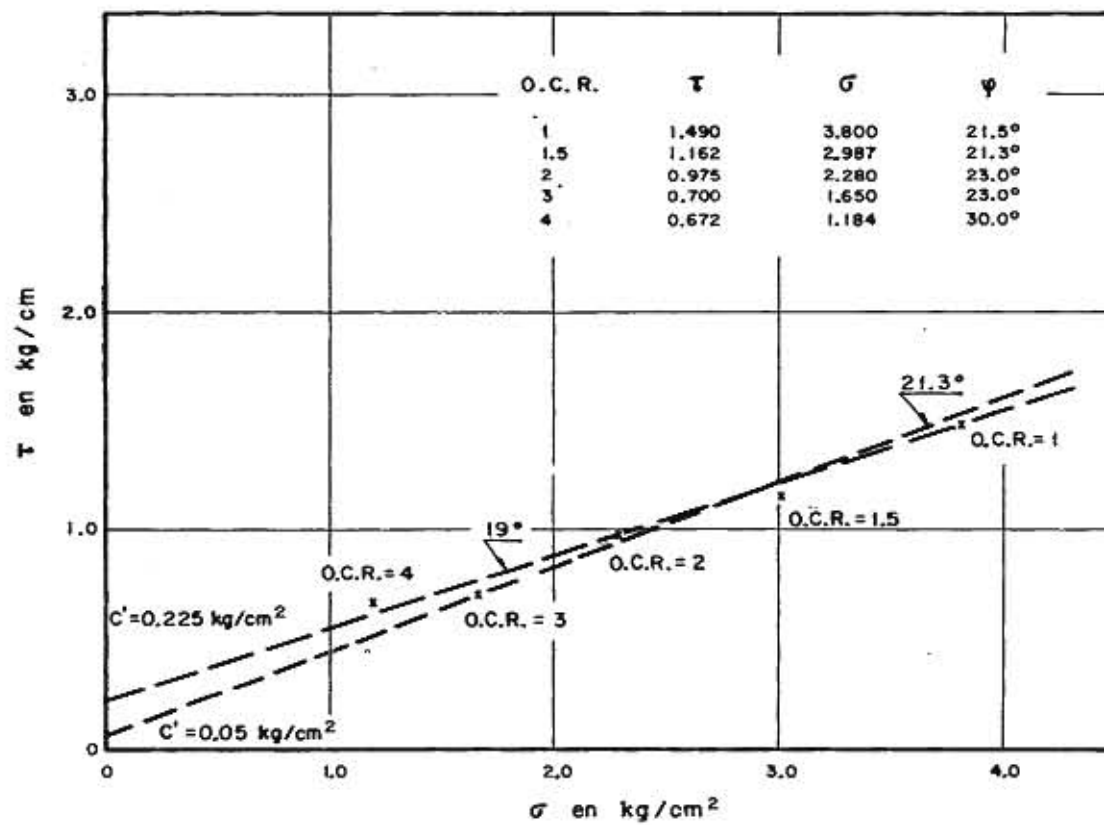


FIG. 11 ENVOLVENTES DE FALLA

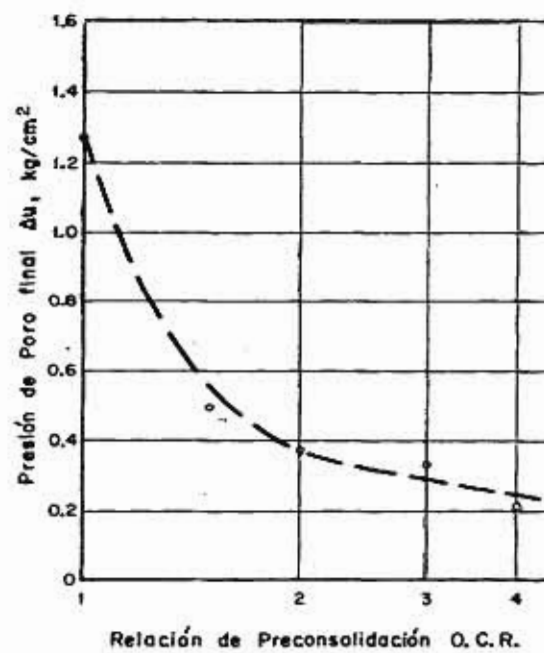
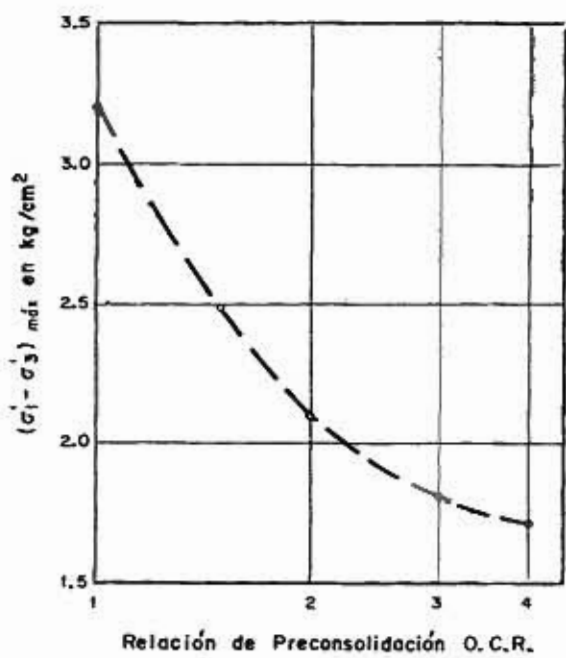


FIG. 12 Y 13 RELACIONES UNICAS



## AGRADECIMIENTO

El trabajo aquí presentado forma parte de un pequeño programa de investigación realizado por el autor, conjuntamente con el Sr. Ing. R. Sánchez Bringas bajo la dirección del Sr. Dr. E. Juárez Badillo, para ellos, nuestro agradecimiento.

El autor desea dar también las gracias al Instituto de Ingeniería y a la División del Doctorado por las facilidades prestadas para la realización de este trabajo y en especial a los investigadores Ing. Raúl J. Marsal, Ing. D. Reséndiz e Ing. J. Schmitter por sus oportunos consejos.

Gracias al amigo y compañero de estudios Sr. Ing. Ricardo Dobry, F. cuyas observaciones fueron muy útiles en la orientación de este trabajo.

### Bibliografía

1. Bishop A.W. (1960) The Measurement of Pore Pressure in the Triaxial Test. Butterworths.
2. Bishop A.W. and Henkel D.J. (1957) The Measurement of Soil Properties in the Triaxial Test. Arnold.
3. Bishop A.W. and Bjerrum L. (1960) The relevance of the Triaxial Test to the solution of Stability Problems. Shear Conference. Boulder Colorado.
4. Bjerrum L. and Simmons N.E. (1960) Comparison of Shear Strength Characteristics of Normally Consolidated Clays. Shear Conference. Boulder Colorado.
5. Henkel D.J. (1960) The Shear Strength of Saturated Remoulded Clays. Shear Conference. Boulder Colorado.
6. Henkel D.J. (1960) The relationships between the Strength, Pore-Water Pressure, and Volumen Change characteristics of Saturated Clays. Geotechnique Vol. 9, No. 3, pp. 143-147
7. Henkel D.J. (1956) The effect of Overconsolidation on the behaviour. II Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos y Fundaciones. Brasil.
10. Juarez-Badillo E. (1963) Pore Pressure Functions in Saturated Soils. Symposium on Laboratory Shear Testing of Soils. Ottawa, Canada.
11. Juarez-Badillo E. y Rico R. (1963) Mecánica de Suelos. Tomo 1. México.
12. Lo K.Y. (1961) Stress-Strain Relationship and Pore Water

Pressure characteristics of a Normally Consolidated Clay.

Norwegian Geotechnical Institute. Publications 45. pp 37-44

13. Marsal R. J. y Salazar R. Pore Pressure and Volumetric Measurements on triaxial Compression tests. Shear Conference, Boulder Colorado, 1960.
14. Sánchez B.R. (1964) Relación presión de poro-tiempo en una arcilla normalmente consolidada. Tesis de Maestría, UNAM
15. Simons N.E. (1960) The effect of overconsolidation on the Shear Strength characteristics of an undisturbed Oslo Clay. Shear Conference. Boulder Colorado.
16. Whitman V.R. (1960) Some considerations and data regarding the Shear Strength of Clays. Shear Conference, Boulder Colorado.