

CARACTERIZACIÓN DE LA FORMACIÓN POSTPAMPEANO

Alejo Oscar Sfriso.

INTRODUCCIÓN

En el lecho y la margen occidental de los ríos Paraná Inferior y Río de la Plata, en la Provincia de Buenos Aires y sur de la Provincia de Santa Fe, y en el Delta del Paraná, existen importantes depósitos recientes de limos y arcillas. A estos depósitos del Holoceno se los denomina genéricamente "Formación Postpampeano". Desde el punto de vista económico la caracterización mecánica de la formación Postpampeano es muy importante. Sin embargo, la atención recibida por la misma es muy inferior a la que se le ha dispensado a la Formación Pampeano. El objetivo de esta contribución es mejorar la sistematización de los datos disponibles del Postpampeano. Nuevos datos, aportados por colegas intervinientes en la zona, posibilitarán completar la información disponible y caracterizar adecuadamente los suelos del Postpampeano desde el punto de vista mecánico.

DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS DE LA CIUDAD DE BUENOS AIRES

La mayor parte de los edificios de la ciudad de Buenos Aires está cimentada sobre la formación Pampeano, consistente en un loess modificado, fuertemente pre-consolidado por desecación y cementado erráticamente con carbonatos y óxidos de (Bolognesi y Moretto, 1959a, 1959b). Este estrato tiene un espesor de unos veinticinco a cuarenta metros, y posee gran competencia mecánica, por lo que admite la cimentación directa de edificios importantes, con presiones admisibles de hasta 600 KPa. En la ribera del Río de la Plata los suelos del Pampeano forman una barranca de unos diez a quince metros de altura, a partir de la cual el depósito pierde rápidamente espesor hacia el interior del río. En un ancho de unos mil a dos mil metros, medidos a partir de la barranca, los suelos de la formación Pampeano son progresivamente cubiertos por limos y arcillas blandos (Núñez, 1986a), producto de sedimentación fluvial (Fig. 1).

Buenos Aires limita al sur con el Riachuelo. Este río posee un amplio valle natural de inundación con relleños fluviales recientes, que es compartido por el sector Sur de la Ciudad y las ciudades de Avellaneda, Lanús, Lomas de Zamora y Valentín Alsina. Los sectores de la ciudad de Buenos Aires donde se presentan los suelos del Postpampeano se muestran en la Figura 2, y corresponden en general a las zonas topográficamente deprimidas de la ciudad (Núñez, 1986a).

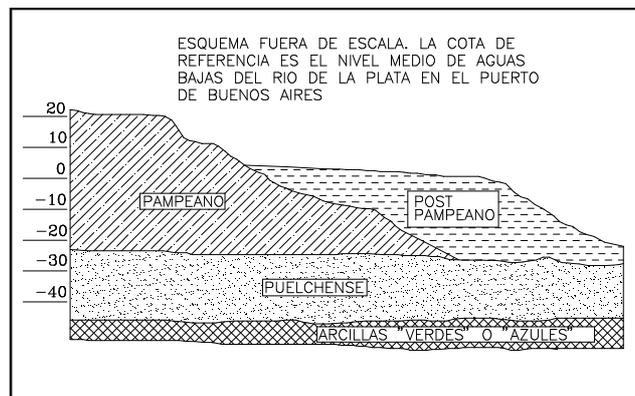


Fig. 1. Esquema simplificado de los suelos de la ribera del Río de La Plata en la Ciudad de Buenos Aires



Fig. 2. Sector ocupado por la formación Postpampeano en la Ciudad de Buenos Aires

PERFILES ESTRATIGRÁFICOS

Se presentan dos perfiles estratigráficos que son característicos de dos sectores distintos de la formación Postpampeano, y que corresponden respectivamente a la zona de Campana y al valle del Riachuelo:

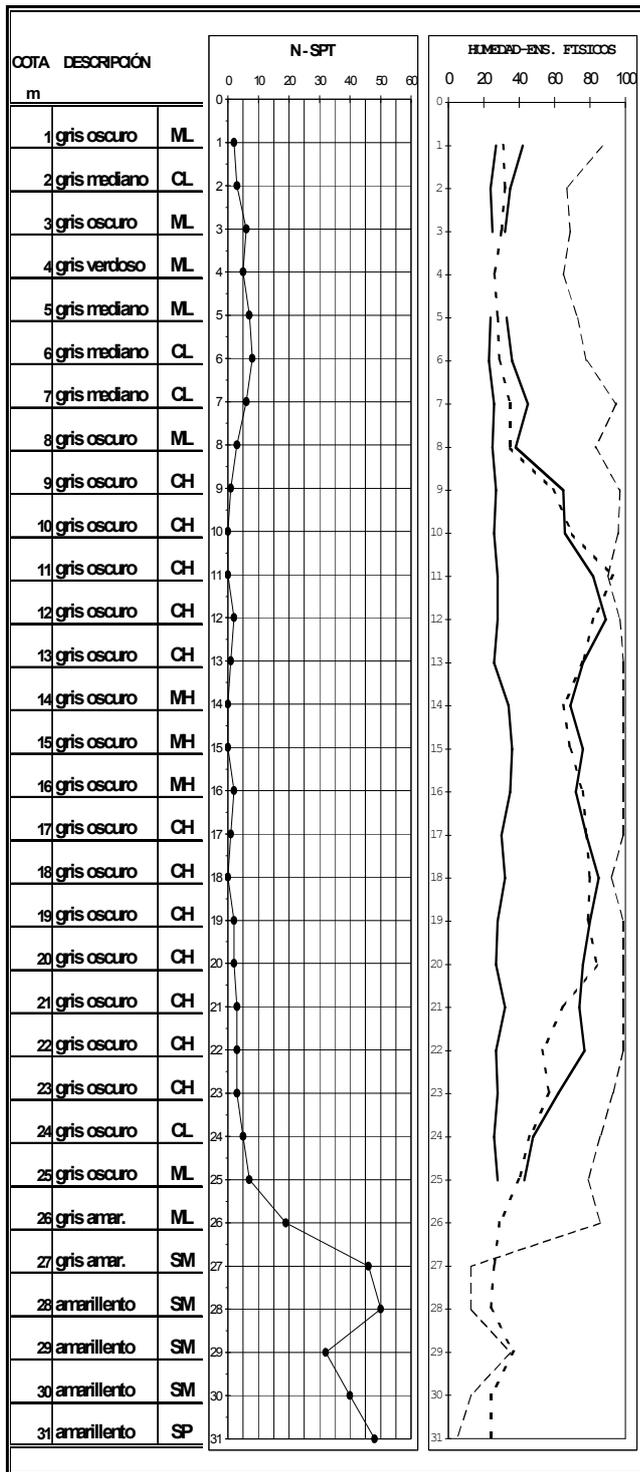


Fig. 3. Perfil estratigráfico en la zona de Campana. Los primeros 25 m pertenecen al Postpampeano. Puede observarse que la transición del Postpampeano al Puelchense transcurre en un espesor de unos pocos metros. La cota del Puelchense es sensiblemente uniforme, desde Campana hasta Buenos Aires.

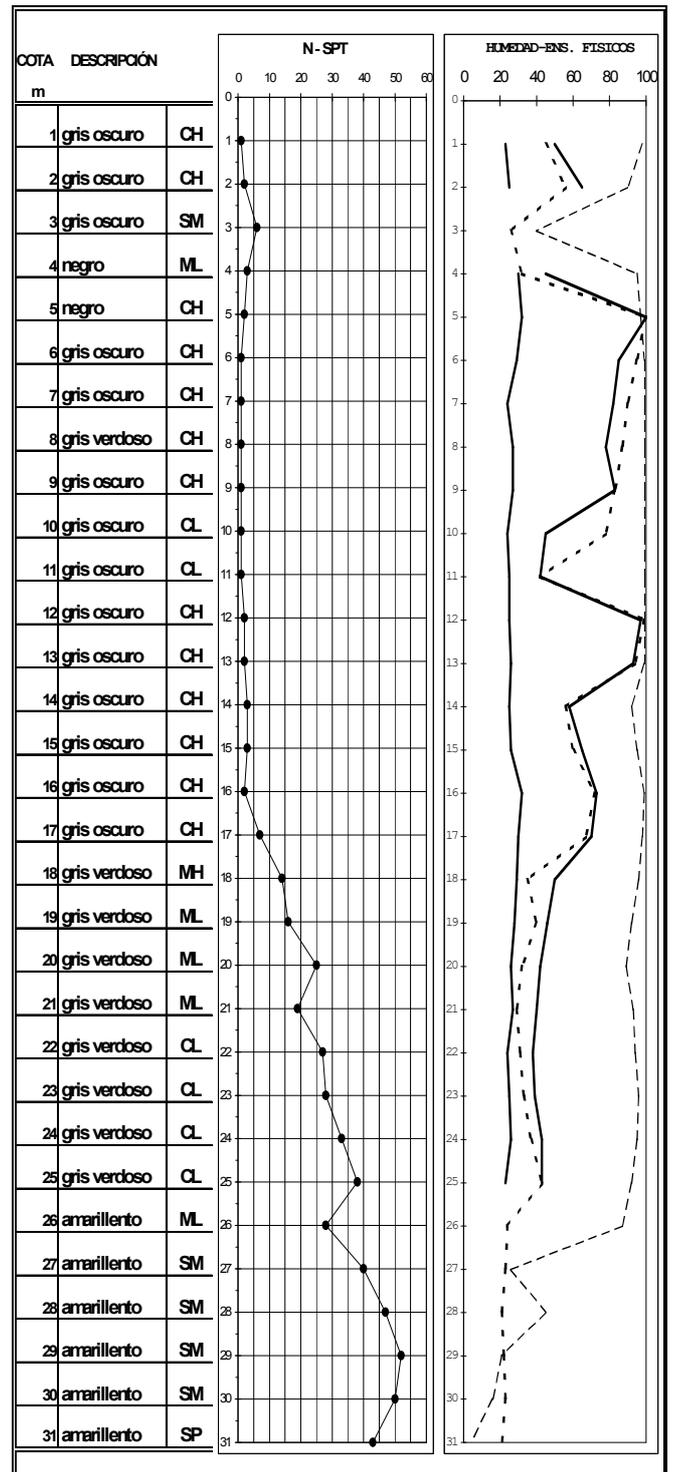


Fig. 4. Perfil estratigráfico en la zona del Riachuelo. Los primeros 16 m pertenecen al Postpampeano. Entre 17 y 25 m se presenta la formación Pampeano. Debajo de los 25 m aparecen las arenas del Puelchense. En la cota 3 m aparece un lente grueso de arena fina. Otras lentes y estratos delgados no son captados en el perfil.

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA E HIDRÁULICA DE LA FORMACIÓN POSTPAMPEANO

Clasificación y caracterización física

El resultado de ensayos de clasificación muestra que el conjunto de puntos, graficados en la carta de plasticidad de Casagrande, se agrupa de manera compacta sobre una línea recta (Fig. 5). La ecuación de ajuste es

$$IP = 0.86(\omega_L - 23)$$

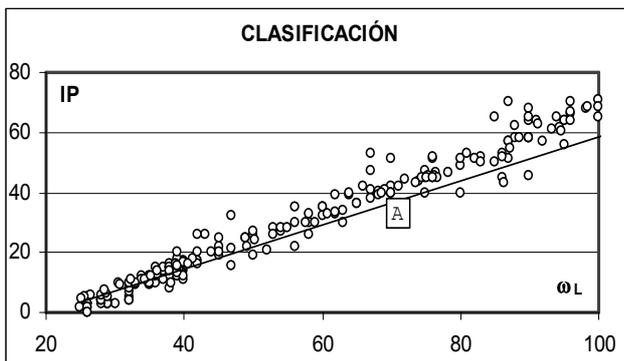


Fig. 5. Clasificación de los suelos del Postpampeano

Se reconocen dos tipos de deposición: i) marítima, para las arcillas de alta plasticidad que se encuentran en la parte inferior de la formación (únicamente donde la misma tiene en el presente espesores mayores a ocho metros); y ii) fluvial, para las arcillas y limos arenosos superficiales. En general, puede observarse que el material superficial tiene muy poca plasticidad, con pasantes por el tamiz #200 del orden del 40% al 80%. La fracción retenida en el tamiz #200 es arena cuarcítica subangular muy fina y uniforme. Las arcillas más profundas no contienen prácticamente partículas tamaño arena.

El peso específico de las partículas sólidas de las arcillas marinas puede estimarse en

$$\gamma_s = 27.4 \pm 0.4 \text{ KN} / \text{m}^3$$

mientras que para los materiales de origen fluvial puede tomarse

$$\gamma_s = 26.2 \pm 0.4 \text{ KN} / \text{m}^3$$

La cantidad de mediciones disponibles para la determinación de este parámetro es relativamente reducida, lo que se refleja en la incertidumbre de los valores presentados.

La granulometría de la fracción fina muestra los dos modos distintos de deposición asumidos. Las arcillas marítimas poseen una granulometría muy fina y uniforme. En cambio, los limos y arcillas de origen fluvial

presentan cantidades variables de arena fina y limos no plásticos, junto con fracciones arcillosas en el rango 10% a 30% (Fig. 6).

Los resultados obtenidos en la permeabilidad medida en ensayos de consolidación unidimensional están en el rango

$$k = 10^{-7} \text{ a } 10^{-10} \text{ m/s}$$

Estos valores deben ser utilizados con mucha prudencia. Sistemáticamente los ensayos de consolidación unidimensional se realizan sobre las partes de los testigos que presentan menores signos de alteración. En este tipo de suelos, los materiales que se presentan a la vista como menos alterados por las operaciones de muestreo son las arcillas con contenido de arena reducido. Parcialmente por este motivo y parcialmente por el remoldeo superficial que sufren las muestras al ser enrasadas en el anillo del edómetro, la permeabilidad medida en laboratorio es muy inferior a la que debe utilizarse en los cálculos si se desea efectuar una predicción acertada.

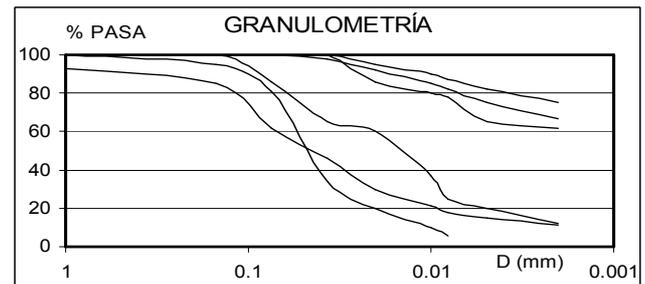


Fig. 6. Granulometría por vía húmeda. Se observan los dos tipos diferentes de material: arcillas plásticas marítimas y arcillas arenosas fluviales.

Consolidación

Los limos y arcillas del Postpampeano son materiales blandos, normalmente consolidados anisotrópicamente bajo condiciones de reposo. En los suelos de origen marino es apreciable el desarrollo de estructuración por envejecimiento.

Los resultados experimentales obtenidos en ensayos de consolidación unidimensional muestran una buena concordancia con la correlación presentada por Terzaghi (Terzaghi y Peck, 1973)

$$C_c = 0.009(\omega_L - 10) \pm 30\%$$

Si se grafican los resultados de ensayos de rutina (Fig. 7) junto con la correlación de Terzaghi y la ecuación de Skempton, válida para arcillas amasadas (Terzaghi y Peck, 1973)

$$C_c = 0.007(\omega_L - 10) \pm 30\%$$

puede observarse que estos últimos se encuentran aproximadamente comprendidos entre ambas líneas. Los valores del índice de compresión informados para las arcillas plásticas corresponden a la parte de la curva $e - \log p'$ correspondiente a las mayores presiones efectivas, cuando el proceso de colapso de estructura se ha completado (Fig. 8) (Núñez, 1986b).

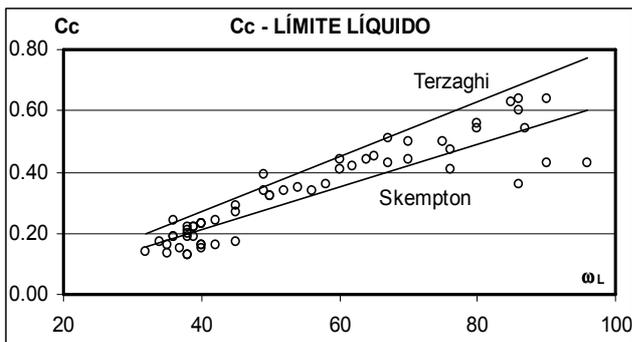


Fig. 7. Índice de compresión vs. límite líquido.

Existen diferentes causas que pueden explicar la tendencia de los resultados experimentales a ubicarse entre ambas correlaciones: i) las muestras recuperadas con técnicas no muy perfeccionadas sufren alteración de su estructura; ii) para las arcillas y limos de baja plasticidad la escasa edad geológica los acerca más al comportamiento de un material desestructurado que al de los suelos utilizados por Terzaghi para calibrar su correlación; iii) para las arcillas plásticas la elección del índice de compresión "residual" es representativa del comportamiento del material una vez completado el colapso, y por lo tanto también refleja pérdida de estructura (Núñez, 1986b).

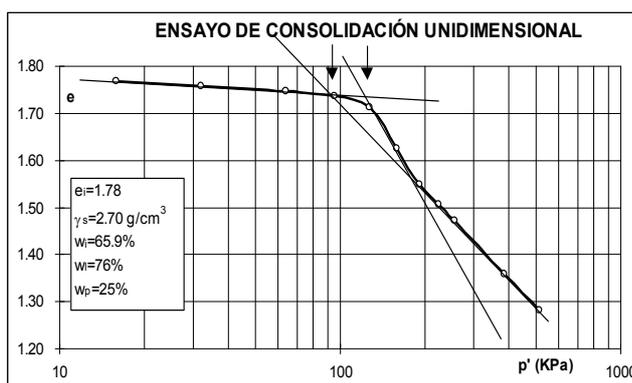


Fig. 8. Resultado de un ensayo de consolidación sobre una muestra de arcilla plástica.

El resultado típico de ensayos efectuados sobre testigos no muy alterados de arcilla plástica se muestra en la Figura 8. Puede observarse que la relación de sobreconsolidación equivalente es del orden de $OCR =$

1.3. Se aprecia asimismo que el índice de compresión en el rango de presiones para el que se verifica el colapso es un 50% superior al residual.

Para una estimación grosera del coeficiente de consolidación puede recurrirse a la expresión, basada en una veintena de ensayos sobre las arcillas plásticas y arcillas arenosas (C_v en cm^2/seg)

$$\log(C_v) = -\omega_l / 20$$

Como se ha señalado, la existencia de delgadas lentes continuas de arenas finas y limos arenosos otorgan al depósito una permeabilidad horizontal media muy superior a la permeabilidad vertical. La anisotropía hidráulica es un factor determinante del comportamiento global. La distribución de lentes permeables es errática, por lo que la altura efectiva de consolidación varía entre amplios límites. Sin embargo, la observación de los asentamientos desarrollados por estructuras reales indica que no es conveniente emplear en los cálculos espesores efectivos superiores a dos o tres metros.

Resistencia y rigidez del depósito

En la Argentina se utiliza comúnmente el ensayo de penetración para la valoración cuantitativa de la resistencia mecánica de los depósitos naturales. Es muy extendida la utilización de un sacamuestras de $2\frac{1}{2}$ " de diámetro exterior con zapatos intercambiables de pared delgada (Moretto, 1967). En los suelos de la formación Postpampeano, donde la resistencia a la penetración está en el rango 0 - 5, se utiliza un zapato que tiene un índice de áreas del 12%, con hinca estática del sacamuestras.

Las muestras así obtenidas son sometidas a ensayos triaxiales no drenados, y los parámetros de resistencia derivados de los mismos son aplicados en el diseño de estructuras. A pesar del método, relativamente crudo, utilizado para la toma de muestras, los resultados obtenidos de las mismas son representativos en general del comportamiento en ruptura del depósito (Fig. 9). La alteración de las muestras redonda en una reducción de la resistencia en condiciones no drenadas del orden del 20%. La rigidez, sin embargo, sufre una alteración muy importante, por lo que los módulos de deformación medidos en los ensayos triaxiales sobre muestras obtenidas con el sacamuestras de $2\frac{1}{2}$ " no pueden utilizarse para la predicción de deformaciones *in situ*.

Arcillas y limos arenosos superficiales

Los suelos superficiales exhiben un comportamiento global correspondiente a un material desestructurado blando, no dilatante (Fig. 10). El ángulo de fricción interna efectiva está en el rango $25^\circ - 30^\circ$, dependiendo de la granulometría. Las deformaciones necesarias para movilizar la resistencia al corte total son superiores a

8% - 10% para muestras obtenidas con sacamuestras de pistón fijo.

La rigidez elástica inicial puede expresarse en términos de presiones efectivas a partir de la expresión (Janbu, 1963, Duncan y Chang, 1970),

$$E = C \left(\frac{\sigma_3}{p_a} \right)^n p_a$$

C puede estimarse en función del límite líquido como (Núñez, 1997)

$$C = \frac{2000}{\omega_L - 10}$$

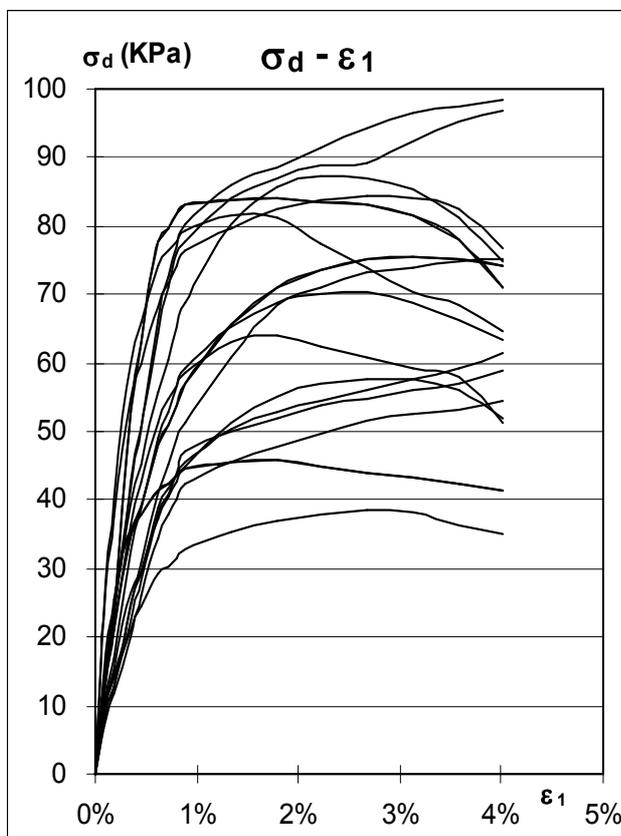


Fig. 9. Resultados de ensayos triaxiales no drenados sobre muestras del Postpampeano superior obtenidas con penetración estática de un sacamuestras de 2 1/2".

La elección de $n = 1$ representa adecuadamente la respuesta de los suelos desestructurados y simplifica notablemente los cálculos, al permitir la utilización de soluciones analíticas disponibles para una variedad de problemas prácticos. La medición en laboratorio del exponente n presenta dificultades prácticas en el rango de presiones de confinamiento reducidas, debido a la

inevitable alteración que las muestras blandas sufren durante su extracción y posterior manipulación en campo y laboratorio (Núñez y Vardé, 1968).

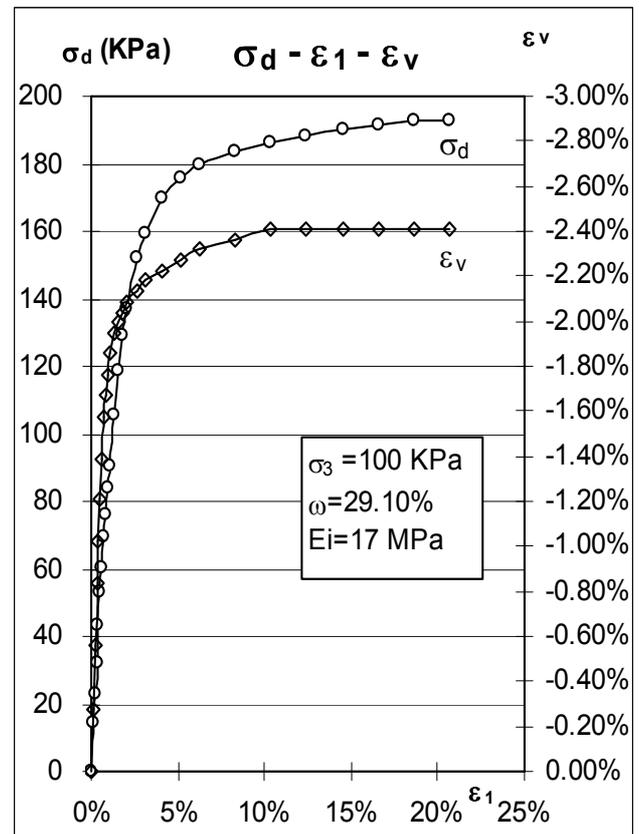


Fig. 10. Ensayo triaxial drenado sobre muestra de limo arenoso. La reducida contracción volumétrica puede deberse a alteraciones durante el muestreo y manipulación posterior.

Arcillas plásticas

Las arcillas profundas de la formación Postpampeano tienen una estructura relativamente importante, que se refleja en sensibilidades en el orden $S=2$ a 4. Del análisis del comportamiento de estructuras construidas e instrumentadas puede admitirse un módulo de deformación elástica global en condiciones no drenadas en el rango $E_u=15 - 30$ MPa. A partir de estos datos es posible estimar módulos de deformación medios efectivos en condiciones no drenadas entre $E_u'=12$ y 25 MPa. Estos módulos, utilizados con procedimientos numéricos de cálculo que emplean la elasticidad lineal y el criterio de Mohr - Coulomb, permiten predicciones cuantitativas razonables del comportamiento global del depósito frente a cargas estáticas monótonamente crecientes. Los módulos de deformación tangente que

se emplean en los modelos hipoelásticos como el hiperbólico son sensiblemente menores a los anteriormente citados.

El resultado de ensayos triaxiales no drenados con medición de presiones neutras en estos suelos muestran un comportamiento típico de arcillas ligeramente preconsolidadas o envejecidas, con $A_f \sim 0.85 - 1.40$. Si se acepta para el índice de compresión valores entre $C_c=0.45$ y 0.80 y para el índice de compresión secundaria $C_{\alpha}=0.02$ a 0.04 , los valores medidos de $OCR \sim 1.20$ a 1.40 resultan en edades para el depósito entre cuatro mil y veinte mil años.

CONCLUSIONES

La caracterización mecánica e hidráulica de los suelos de la formación Postpampeano tiene gran importancia técnica y económica para la Argentina. El depósito está compuesto por limos y arcillas de mediana y alta plasticidad depositados bajo agua en ambientes marítimos y fluviales, y se extiende en el lecho y márgenes del Paraná Inferior y Río de La Plata. El comportamiento mecánico corresponde al de las arcillas blandas no estructuradas o con una estructuración moderada.

Para una predicción acertada de la relación cargas – tiempo, debe incluirse el efecto de la anisotropía hidráulica y mecánica provocada por la existencia de lentes arenosas horizontales de alta permeabilidad relativa. Si se dispone de parámetros de anisotropía, obtenidos a partir de mediciones directas de campo, los modelos anisotrópicos pueden ser utilizados de manera directa. En el caso mas frecuente en que únicamente se dispone de parámetros medios del depósito, pueden utilizarse algunas de las correlaciones presentadas, útiles para una evaluación preliminar.

Las arcillas plásticas que componen la parte inferior de la formación Postpampeano han desarrollado una moderada estructuración por envejecimiento. Este último fenómeno redundante en comportamientos típicos de materiales estructurados, con el desarrollo de importantes asentamientos para cargas que superen ligeramente la presión de preconsolidación aparente, lo que debe ser considerado en el diseño de estructuras que descansen sobre estos suelos. Los métodos de muestreo tradicionalmente utilizados en la Argentina no permiten captar la estructuración de depósitos blandos, por lo que es importante la observación del funcionamiento de estructuras durante y luego de su construcción, para la adecuada estimación de parámetros globales de comportamiento del depósito.

BIBLIOGRAFÍA

Arce, C., J. Médici y M. Salles (1968). "Condiciones geotécnicas y fundaciones adoptadas en algunas obras del bañado de Flores". *1^{ra} RAMSIF, La Plata, 347-380*.

Bolognesi, A. y O. Moretto (1959). "Propiedades del subsuelo del Gran Buenos Aires". *1^{er} CPMSC, I, 303-314*.

Bolognesi, A. y O. Moretto (1959). "Cimentaciones con pilotes solicitados por fricción negativa". *1^{er} CPMSC, I, 315-325*.

Duncan, J. y C. Chang (1970). "Nonlinear analysis of stress and strain in soils". *Proc. ASCE Soil Mech. Found. Div. 96, 1629-1654*.

Janbu, N. (1963). "Soil compressibility as determined by oedometer and triaxial tests". *Proc. Eur. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Wiesbaden, I, 19-25*.

Moretto, O. (1967). "Minimum requirements for a subsoil investigation for foundation purposes". *Symp. on site investigation for foundation, Cen. Buil. Res. Inst., Roorkee, India, 120-136*.

Morgenstern, N. (1975). "Stress strain relations for soils in practice". *V CPMSIF, Buenos Aires, IV, 1-41*.

Núñez, E., O. Vardé, A. Bolognesi y O. Moretto (1967). "Algunas relaciones entre los métodos de cálculo de la carga permisible y el comportamiento de pilotes de hormigón". *III CPMSIF, Caracas, II, 673-704*.

Núñez, E. y O. Vardé (1968). "La compresibilidad de los suelos como fenómeno asociado al desarrollo de su resistencia". *1^{ra} RAMSIF, La Plata, 155, 199*.

Núñez, E. (1986) "Geotechnical conditions in Buenos Aires City". *V Intern. Congress IAEG, IV, 2623-2630*.

Núñez, E. (1986) "Comportamiento mecánico de suelos loésicos". *En: Simposio Arg. de suelos colapsables, SAMS, 82-96*.

Núñez, E. (1994). "Propiedades mecánicas de materiales granulares incoherentes". *En: Anales Acad. Nac. Cs. Ex. Fís. Nat., Buenos Aires, 46, 71-89*.

Núñez, E. (1997). "Interacción suelo – estructura: Predicción, Comportamiento e instrumentación de campo". *En: 1er Congreso Paraguayo de Ingeniería Geotécnica, Asunción, 1-19*.

Sfriso, A. (1997). "Formación Postpampeano: Predicción de su comportamiento mecánico". *En: III Conferencia Latinoamericana de Ingenieros geotécnicos jóvenes, Caracas, A1-A10*.

Terzaghi, K., y R. Peck (1996). *Mecánica de suelos en la ingeniería práctica*. 2^{da} Ed., El Ateneo, Buenos Aires, 722 p. 3^{ra} Ed., Wiley, 1996.

Travisán, S. (1968). "Predicción de asentamientos de terraplenes en el tramo VI de la autopista La Plata – Buenos Aires". *1^{ra} RAMSIF, La Plata, 191, 202*.