

PROBLEMAS DE GEOLOGIA PARA EL INGENIERO EN LAS CIMENTACIONES SOBRE SUELOS

JOSE A. JIMENEZ SALAS
Universidad Politécnica de Madrid

En Octubre del pasado año 1986, se ha celebrado en Buenos Aires el 5º Congreso de la Asociación Internacional de Geología del Ingeniero.

En dos de las Sesiones, han actuado como Ponentes Generales tres ingenieros españoles: D. Angel García Yagüe en la Sección 5: "Engineering Geology in the development of road, railroad, coastal and offshore projects" y D. José A. Jiménez Salas y D. José Luis Justo Alpañés en la 3ª, cuyo tema se titulaba: "Engineering Geological aspects of foundations in soils".

Al estar tan ligado este último tema con la Mecánica del Suelo, pensamos que el conocimiento de la Ponencia General puede ser de interés para nuestros lectores. Sin embargo, no nos resulta posible publicar el texto íntegro (más de 80 páginas) por lo que reproducimos aquí tan sólo la versión leída por el Sr. Jiménez Salas al principio de la mencionada Sesión, que es tan sólo un resumen. Pero incluimos también la Bibliografía de la versión completa, que puede ser de utilidad para quienes tengan que ocuparse de estas cuestiones.

El tema de esta Sesión, si nos dejamos guiar por su enunciado, es de una amplitud extrema. Pero queda mucho mejor delimitado por los títulos de los cinco puntos en los que ha sido dividido, según propuesta del Comité Organizador, que son los siguientes:

- Suelos colapsables y expansivos.
- Suelos lateríticos y residuales.
- Licuación y Problemas dinámicos de los suelos.
- Estabilización de suelos.
- Suelos coherentes, orgánicos y salinos.

Aún concretándonos a estos cinco puntos, el tema sigue siendo muy amplio, y ha dado origen a 48 trabajos que han sido presentados a esta Sesión. De ellos, 19 lo han sido al primero de los subtemas, que ha sido, así, el más favorecido. A los tres siguientes se han presentado 7, 6 y 3, respec-

tivamente y, finalmente, el último punto ha reunido 13 trabajos, pero hay que tener en cuenta que este subtema reúne, en realidad, problemas diferentes con poca conexión entre sí.

Estos 48 trabajos han venido de 15 países, y es digno de señalar que 19 de ellos, es decir el 40%, proceden de China, lo cual es explicable por el hecho de que una gran área, dentro de su territorio, está cubierta por el típico suelo colapsable: el loess; pero también porque los grandes terremotos que ha sufrido en años recientes, han producido numerosas licuaciones.

Es claramente imposible, por supuesto, el hacer un comentario individual de cada uno de estos trabajos en el tiempo que me ha sido asignado para la presentación oral de esta Ponencia General; estos comentarios serán publicados en el último tomo de las Memorias del Congreso.

Resulta incluso muy difícil el agruparlos, con el fin de hacer una presentación sintética de cada grupo, ya que los mismos subtemas son extensos, y los trabajos incluidos en ellos resultan heterogéneos. Pero, si profundizamos en los **problemas específicos** presentados por los distintos terrenos de que dichos trabajos tratan, podemos llegar a la conclusión de que, dentro de su gran variedad, todos se refieren a una cuestión básica, que es la **inestabilidad interna**.

Este es el caso de lo que llamamos **colapso**. No todos los autores tienen el mismo concepto acerca del significado que debemos asignar a este término, pero podemos definirlo como una rápida e irreversible disminución de volumen, correspondiendo a la destrucción de la estructura metaestable de un suelo, causada por una aportación de energía fuera de proporción con la deformación producida.

El colapso puede ser desencadenado por causas mecánicas pero el caso más típico es el producido por un aumento en el contenido de hume-

dad, razón por la cual ciertos autores le dan el nombre de "hidrocompactación".

El interés por el estudio de este fenómeno se ha ido incrementando en las últimas décadas, debido a la puesta en marcha de grandes proyectos de riego en áreas de clima semidesértico, donde el grado de saturación del suelo era muy bajo. Por ejemplo, en el Valle de San Joaquín, en California, la puesta en riego ha llegado a ocasionar subsidencias hasta de cuatro metros y medio. Igualmente, en las áreas en donde se instalan nuevas industrias es frecuente que los vertidos incontrolados de las mismas produzcan aumentos permanentes u ocasionales de la humedad del suelo, con las correspondientes subsidencias si el suelo es colapsable, tal como podemos leer en el trabajo de Wang Bu Yun, presentado a esta Sesión.

Los suelos expansivos forman un grupo diferente del de los colapsables, separados de estos últimos por las característica esencial de que, aunque sus deformaciones sean igualmente causadas por el agua, son, en su mayor parte, reversibles, lo cual indica que las características principales de su estructura se conservan. Por esta razón, los suelos expansivos van a ser tratados separadamente por el otro Ponente, el Profesor Justo Alpañés, de Sevilla, ciudad que podemos decir que es la capital de las arcillas expansivas españolas.

No tenemos que separar, en cambio, a los suelos lateríticos y residuales. Ciertamente son suelos con una gran personalidad, pero, desde el punto de vista de las cimentaciones (cosa distinta sería si tratásemos de estabilidad de taludes) el

problema específico con respecto a los suelos normales es que suelen contener horizontes colapsables. Sólo determinados horizontes, al contrario de lo que ocurre, por ejemplo, con el loess. Porque otra de las características distintivas de estos suelos es su perfil muy diferenciado, que pasa por grados diversos de meteorización, desde el suelo maduro a la roca sana, con todos los grados de saprolitización intermedios.

Los suelos residuales sobre rocas volcánicas jóvenes, tales como las cenizas volcánicas y los lapilli, son, muchas veces, extremadamente compresibles y blandos, pero no son colapsables en sentido estricto. Las especies mineralógicas que los constituyen son frecuentemente, hidróxidos en estado amorfo, alofana y algunos tipos particulares de arcilla, como por ejemplo, la haloisita. Su comportamiento respecto a los límites de Atterberg es peculiar. Los suelos haloisíticos experimentan una disminución del límite líquido y del índice de plasticidad con la desecación (figura 1). Los ricos en hidróxido, que ordinariamente quedan representados por puntos situados muy por debajo de la línea A en el gráfico de Casagrande, ascienden hasta colocarse prácticamente sobre ella si, antes de determinar el límite líquido, se amasa enérgica y prolongadamente la muestra de suelo. Esto se debe a que así se destruyen los microagregados de partículas cementadas por los mencionados hidróxidos (figura 2).

El paradigma de los suelos colapsables "strictu sensu" es el loess, que cubre una parte importante de la superficie terrestre. Pero hay otros muchos

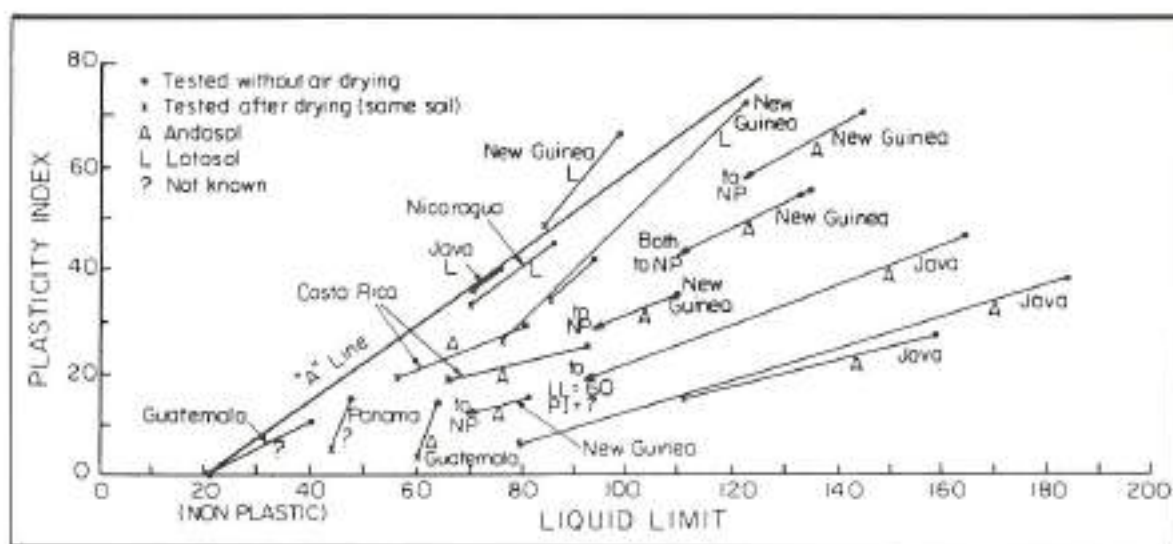


FIGURA 1. Efecto del secado sobre los límites de Atterberg de algunos suelos tropicales (Según Marin y Tudor, 1975. Figura tomada de Mitchell y Sitar, 1982).

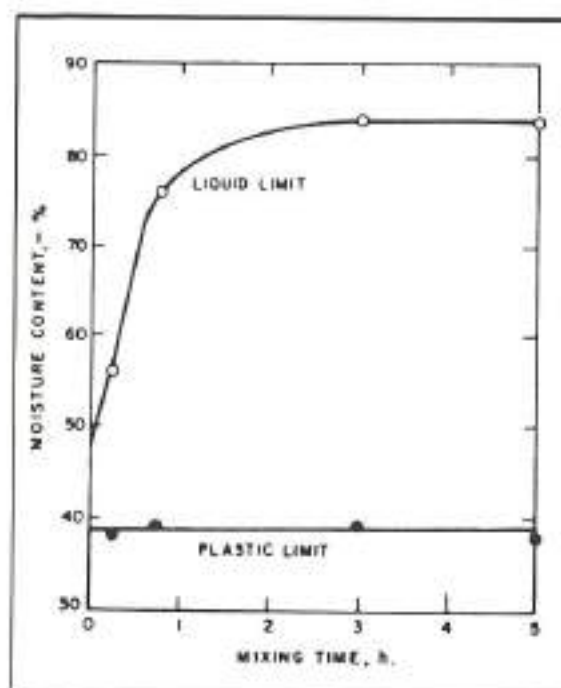


FIGURA 2. Efecto del tiempo de amasado sobre los límites de Atterberg de una arcilla roja de Kenia. (Según Millard, 1962, Figura tomada de Gidigasu, 1971).

suelos también típicamente colapsables. Lo son los suelos salinos, y particularmente muchos de los suelos yesosos que tenemos en España, especialmente ciertos espesores de estos materiales, depositados por el viento en barrancos y al pie de las pendientes. Muchas cenizas volcánicas también lo son, pero debemos recordar de modo principal los coluviones, los conos de deyección y las antiguas coladas de barro, así como muchos depósitos sedimentarios de las llanuras de inundación.

Los rellenos artificiales son frecuentemente colapsables, incluso si han sido compactados con el mayor cuidado. Esto ocurre principalmente con los que han sido compactados del lado seco. Pero citemos también las escolleras compactadas de los espaldones de aguas arriba de las presas de materiales sueltos; se cuenta con que sufrirán un cierto colapso con el primer llenado.

IDENTIFICACION

Pasando ahora al problema de la identificación de los suelos colapsables, el ensayo maestro es, sin duda, el del colapso, efectuado usualmente en el edómetro, aún cuando también se emplea a veces el triaxial.

Pero siempre, en una formación geológica, un problema esencial es cómo seleccionar unas

DENISOV (1961)	$K_a = \frac{w(\text{EN EL LIMITE LIQUIDO})}{w(\text{EN EL ESTADO NATURAL})}$
$K_a < 0.75$: MUY COLAPSABLE	
$K_a > 1.0$: NO COLAPSABLE	
CLEVENGER (1956)	
$T_d < 37$ LIBRAS/PIE CUBICO = 1.328 : GRAN SUBSIDENCIA	
$T_d > 45$ LIBRAS/PIE CUBICO = 1.470 : PEQUEÑA SUBSIDENCIA	
BIBBS (BUREAU OF RECLAMATION) (1962)	
$R = \frac{w(\text{CORRESPONDIENTE A SATURACION})}{w_L}$	
$R > 1$: COLAPSABLE	
USSR (1962)	
$R = \frac{w(\text{NATURAL})}{w_L} - \frac{w(\text{NATURAL})}{w_L + 1}$	
$R > 0.17$: GRADO DE SATURACION DE 0.9 : COLAPSABLE	
MODIFICACIONES POSTERIORES	
PARA $10 < R < 0.1$: Y SON 0.6	
$10 < 10 < 14$: $R > 0.17$: COLAPSABLE	
$14 < 10 < 22$: $R > 0.24$: COLAPSABLE	
CUANDO : $R < -0.90$, EXPANSIVO	

CUADRO 1. Criterios de colapsabilidad. (Adaptado de R. J. Rocca, Un. of Berkeley, CE 299 Report, 1985).

muestras representativas. Esto tiene dificultades particulares en este caso, ya que muchos suelos colapsables son muy heterogéneos, particularmente los residuales. Por esta causa, existe peligro de que los ensayos que efectuamos no representen en realidad nada, si no hemos obtenido antes de la selección de las muestras una idea clara acerca de la constitución general del terreno.

Es obvio que la condición básica para que un suelo sea susceptible de colapso es que tenga una estructura floja, y que esto se manifiesta por medio de una densidad seca baja. Un valor de 1.4 para este parámetro es ya alarmante, pero no nos permite formular ninguna conclusión, ya que se pueden encontrar suelos con una densidad de 1.2, no colapsables, y también otros con una densidad de 1.7, que lo son.

Es necesario relacionar la densidad seca con algún otro parámetro, cosa que ya hizo Denisov en 1963, eligiendo el límite líquido.

El criterio que propuso (Cuadro 1) lo basó en la idea de que, si el volumen de poros es tan grande que, al saturarse el suelo, la humedad es igual o mayor que la correspondiente al límite líquido, la estructura del suelo se destruirá en este caso.

Este esquema del fenómeno es muy crudo, ya que la humedad del límite líquido corresponde, sin duda, a una consistencia fluida, pero en un suelo amasado, en el cual, por lo tanto, la estructura se ha destruido mecánicamente. Sin

embargo, la intuición de Denisov fue buena y los criterios que hoy utilizamos, reunidos en el mismo cuadro 1, son meramente sofisticaciones sobre la misma base.

No ha habido últimamente ninguna novedad, hasta que nos encontramos con el trabajo de Ananjev y Voljanik presentado a esta Sesión. Estos autores consideran que el potencial capilar es una medida de la colapsabilidad del suelo.

Por mi parte, en el texto escrito de esta Ponencia, expreso ciertas objeciones a este camino, partiendo del concepto anteriormente establecido de que el colapso es un fenómeno de inestabilidad, un acontecimiento catastrófico e irreversible, pero, a pesar de ello, pienso que la idea de Ananjev y Voljanik tiene méritos para ser tomada en atenta consideración por la audiencia.

Finalmente, observemos, con cierta sorpresa, que los Geofísicos no parece que hayan experimentado ningún interés por este problema. Sin embargo, Bally y sus colaboradores emplearon el método de resistividad para seguir la penetración del agua durante el proceso de inundación de un loess, y pudieron comprobar, antes de ello, que el loess colapsable tenía una resistividad de $40 \Omega \times m$, mientras que el loess profundo, que no era colapsable, tenía tan sólo la cuarta parte de esa cifra, probablemente porque estaba más húmedo.

LOS ASIENTOS DE COLAPSO

El cálculo de los asentos de una cimentación sobre un suelo colapsable es un problema de Mecánica del Suelo, y este no es el momento para ocuparnos de él con detalle. Pero sí es conveniente examinar los fundamentos sobre los que se basan esos cálculos. Esto es algo que también es necesario para la clasificación, ya que una división esencial entre los suelos colapsables es la que distingue entre suelos espontáneamente colapsables y los que no lo son. Se llama "espontáneamente colapsables" (u otras denominaciones equivalentes, como puede verse detallado en el apéndice) a los terrenos que colapsan bajo su propio peso si son humedecidos, mientras que los otros tan sólo colapsan si, además, han sido sometidos a alguna sobrecarga.

El ensayo típico se hace en el edómetro. Se aplica una cierta presión sobre la muestra y se espera a que se produzca el asiento correspondiente. Después de ello, se pone la muestra en contacto con el agua, con lo cual se origina un nuevo asiento, que es el asiento por colapso, o la subsidencia por colapso.

Pero para calcular el asiento de una cimentación cualquiera, o simplemente el del terreno bajo su propio peso, no nos basta el asiento bajo una

cierta presión, sino la función que liga el colapso con la presión aplicada inicialmente. El multiplicar los ensayos, montando un edómetro diferente para cada punto que queremos determinar en la curva, no es práctico, y de una manera natural se nos presenta la idea del doble edómetro, al estilo del ensayo propuesto por Jennings para las arcillas expansivas.

Sin embargo, en el caso del colapso las cosas ocurren de manera diferente. En la figura 3 vemos los resultados de un ensayo de esta clase, presentados por el profesor Milton Vargas en el Segundo Congreso de esta Asociación, celebrado en 1974 en Sao Paulo. La línea llena representa la compresión de una muestra, conservando su humedad saturada al comenzar el ensayo.

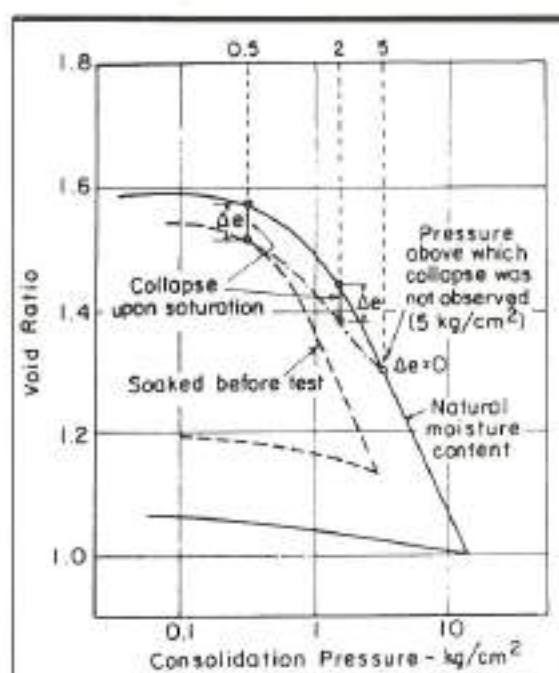


FIGURA 3. Curvas edométricas de suelos lateríticos, en distintas situaciones de humedad natural (Línea llena); inundación (Línea de trazos) o bien primeramente cargados, estando con la humedad natural, y luego inundados (Línea de trazos y puntos). Según Milton Vargas, 1974.

Tenemos así dos curvas que corresponden a la técnica del doble edómetro, y podríamos concluir que, con algún ajuste para corregir las consecuencias de la heterogeneidad de las muestras, la distancia entre ambas curvas es la medida del colapso que se producirá bajo cada presión.

Pero Vargas ha procedido, además, de la forma como hemos dicho, tomando varias muestras y cargándolas con presiones diferentes antes de la

saturnación, y con ello obtuvo la curva señalada con trazos y puntos, que corresponde a valores de colapso menores, e incluso se llega a ver que hay una cierta presión inicial, para la cual, y por encima de la cual, ya no hay colapso. La carga, aún aplicada con sólo la humedad natural, es capaz de destruir las estructuras inestables que, de no ser así, se destruirían al ser humedecido el suelo, y ablandados los enlaces que mantienen unidas, con cierta rigidez, las partículas.

El sistema del doble edómetro no es, pues, válido en este caso, pero el sistema de multiplicar los edómetros no es práctico, al menos para los ensayos de rutina. Por ello, en varios países europeos, en los que existen grandes áreas de suelos muy colapsables, se emplea el método aproximado de Stefanoff (figura 4). Este se basa en la simplificación de aproximar las curvas obtenidas mediante segmentos de recta.

La ley de colapso queda, pues, representada, como vemos en la figura, por varias funciones lineales, pero, desde el punto de vista práctico, el segmento interesante es el AB, el cual puede quedar definido con un solo punto que precisa un solo ensayo, si admitimos, tal como lo propuso Stefanoff, que el punto C corresponde a la mitad de la sobrecarga de tierras preexistente sobre la muestra.

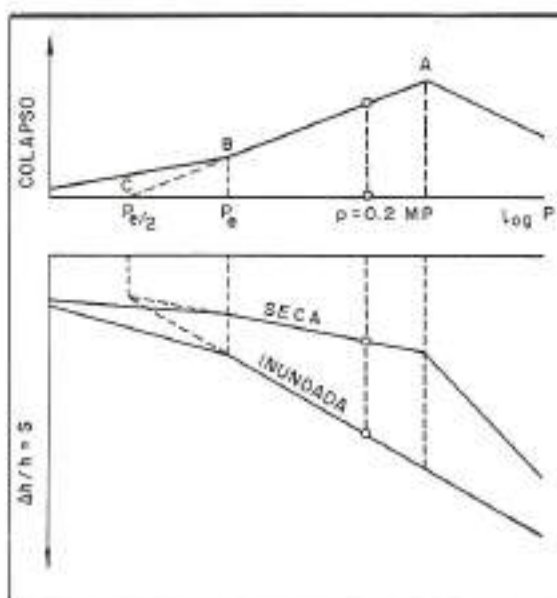


FIGURA 4. Método simplificado de Stefanoff, para la determinación del colapso en función de la carga.

ENSAYO DE INUNDACION EN SITU

Otra forma más directa de determinar la posible

subsistencia, que puede parecer más sencilla, es el ensayo de inundación en el campo, pero es largo y costoso. En primer lugar, para disminuir las influencias, de distintos tipos, de las masas del terreno que rodean la posición ensayada, el área inundada debe ser grande, de 400 m² o más y el ensayo debe prolongarse durante semanas.

Y, después de esto, se ha comprobado que los resultados obtenidos, y los calculados a partir de ensayos de laboratorio, nunca coinciden. Los segundos son siempre un múltiplo de los primeros.

Varias son las causas que han sido invocadas para explicar esta gran diferencia, pero quizá la principal consiste en que, en el ensayo de inundación en el campo, es muy raro que se llegue a saturar el terreno.

Esto se debe primordialmente al control que ejercen sobre el flujo del agua las capas menos permeables que están siempre presentes en los terrenos de esta clase, formadas por costras o por paleosuelos.

El problema de infiltración a partir de una superficie del suelo inundada ha sido estudiado con gran detalle desde el punto de vista agronómico, con resultados que, al menos pueden servirnos de guía.

En el caso de infiltración en un perfil con una capa más densa sobre otra menos densa y, en consecuencia, más permeable, el caudal de infiltración queda determinado, inicialmente, por los parámetros correspondientes a la capa superior (figura 5). Pero, cuando el agua alcanza la frontera con la capa inferior, que tiene poros de mayor diámetro, el caudal de infiltración decrece. Esto se debe a que el agua, en el frente de saturación, está bajo succión, y ésta es, inicialmente, demasiado alta para dejar que el agua entre en los gruesos poros de la capa inferior. Esto explica el fenómeno observado de que el frente de saturación se detiene en dicha frontera, durante algún tiempo.

La infiltración en la superficie, sin embargo, no se detiene, aunque disminuye. Con esto, el grado de saturación de la capa superior crece, y la succión decrece, hasta permitir finalmente que el agua llegue a fluir hacia la capa profunda, descolgándose de los finos capilares de la de arriba.

Así pues, la existencia de una capa inferior, más permeable, en lugar de acelerar el movimiento del agua en el perfil, puede retrasarlo, al menos durante algún tiempo. La capa superior puede llegar a almacenar un volumen importante de agua, sin dejarla pasar a la inferior, lo cual, desde un punto de vista práctico, significa que

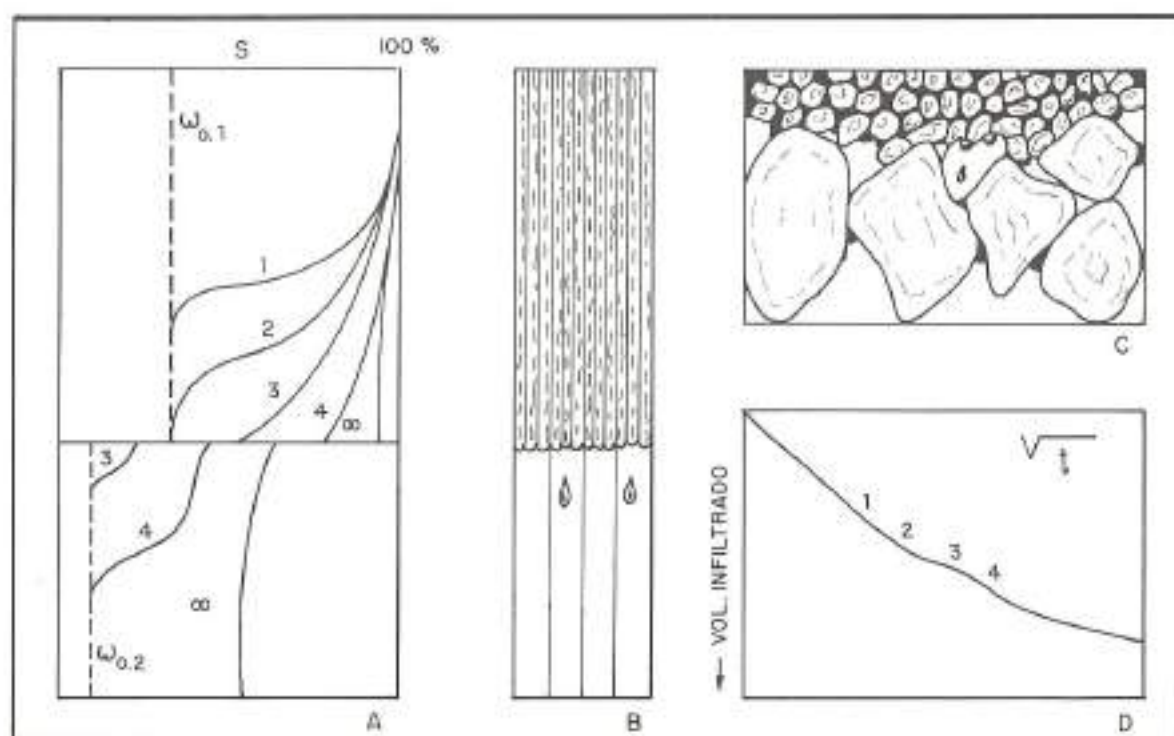


FIGURA 5. Infiltración en un perfil de suelo con capa superior menos permeable. Humedad inicial = w_0 . A - Progresión del grado de saturación con el tiempo. B - Esquema representativo de la situación 3. C - Representación de la misma situación. 4 - Volumen infiltrado en función del tiempo.

puede constituir una barrera impermeable, durante una inundación de duración limitada.

En todo caso, y aún cuando la inundación tuviera una duración indefinida, la capa inferior no puede llegar a saturarse, ya que, en este caso, su conductividad hidráulica sería demasiado grande para que pudiera mantenerse la continuidad del agua en los poros, puesto que el flujo está limitado por la pequeña permeabilidad de la capa superior.

El flujo de agua vertical en un perfil estratificado, si llega al régimen permanente, implica que la permeabilidad de las capas de poros más gruesos se ajuste al de la de la permeabilidad saturada de las capas de poros más cerradas, lo cual se lleva a cabo espontáneamente, al mantenerse las primeras con el grado de saturación incompleto necesario para que tal condición se cumpla.

Por lo tanto, la situación de flujo permanente supone, en el caso de que nos ocupamos, que la capa inferior nunca llega a saturarse del todo y, en consecuencia, no llega a experimentar la totalidad del colapso.

Esto tiene una gran importancia práctica, ya que uno de los métodos más empleados para cimentar en suelos de esta clase es constituir un "colchón" de material no colapsable.

A veces se emplea en el mismo tierras importadas, pero es mucho más frecuente el que se utilice el mismo suelo, a veces estabilizado, con cemento, cal y cenizas, etc. pero casi siempre simplemente con un enérgico apisonado.

Su eficacia está muy bien comprobada, pero se suele atribuir a que distribuye las cargas transmitidas por la estructura, y también a que protege de la saturación en el caso de algún vertido ocasional de agua, de volumen limitado. Pero, como acabamos de ver, un colchón de esta clase es capaz de controlar el grado de humedad del suelo infrayacente, incluso en el caso de una inundación permanente. Acerca del empleo de la cimentación sobre "colchones", debo llamar vuestra atención hacia dos interesantes trabajos presentados a esta Sesión, el de Musaelian et al. y el de Cintra et al. El primero describe una investigación efectuada sobre modelos a escala natural, simulando además el efecto de los terremotos mediante explosiones próximas. El segundo trabajo da cuenta de ensayos efectuados a escala reducida, pero además expone la experiencia de los edificios de su propia Universidad, que es la de Sao Paulo, en el Campus de S. Carlos. Se construyeron hace veinticinco años, cimentando los mayores sobre colchones de esta clase, y están en

perfecto estado, lo que no ha ocurrido con otros, cimentados directamente.

Pero volviendo al punto de partida, esto sería suficiente para explicar la diferencia entre los asentamientos calculados a partir de ensayos de laboratorio y los medidos en ensayos de inundación in situ, aunque probablemente coadyuven otras causas (perturbación de las muestras, por ejemplo). Ahora bien, nos podemos preguntar si es realmente interesante hacer unos ensayos de laboratorio que conducen a resultados tan erróneos.

Pero esto no es así en todos los casos, sino en aquellos en los que el agua viene de la superficie. Hay otros casos en los que la saturación se produce por elevación del nivel freático, o bien por un flujo lateral. La saturación es mayor y el colapso está más cerca de lo calculado. En todo caso, este último valor representa un límite máximo que interesa conocer.

CIMENTACIONES PROFUNDAS

Digamos ahora algo respecto a un tipo alternativo de cimentación: las cimentaciones profundas.

Estas pueden estar constituidas por pozos o pilotes. En la mayor parte de los casos, el terreno tiene consistencia suficiente para poder excavar los pozos mecánicamente, con barrenas o baldes, sin entibación. También resulta posible el ensanchar la base con los dispositivos mecánicos que los equipos de esta clase suelen disponer.

Pero también son aplicables gran número de los procedimientos de pilotaje in situ. Los pilotes hincados, en cambio tienen muchas veces dificultades por causas diversas: en primer lugar, por la existencia de capas más cementadas difíciles de pasar, y en segundo lugar, porque estos suelos, secos y muchas veces arenoso-limosos, forman debajo de la punta un bulbo resistente que impide la penetración. El pilote, sin embargo, no queda por ello protegido del colapso de la masa.

En suelos residuales, además, los brasileños han dado cuenta de varios casos en los que se ha producido una relajación importante, es decir, que, al cabo de un cierto tiempo, los pilotes han perdido una parte de la capacidad de carga que habían exhibido durante la hincada.

Hay, por otra parte, un tipo de pilotes, que también podemos denominar pozo, o columna, muy popular en cimentaciones en los loess de Europa Central, particularmente en Rumanía. Consiste en una columna de grava, o bien del mismo suelo intensamente compactado. Se construyen mediante la caída repetida de una pesada maza terminada en una punta ojival, la cual abre un agujero en el terreno, con las paredes extremadamente compactadas. A continuación se va

llenado poco a poco el agujero con grava o el mismo suelo, compactándolos con la misma maza.

No parece que este método sea aplicable, sin embargo al caso de los suelos residuales, e incluso muchos de los procedimientos de pilotaje in situ encuentran dificultades en éstos, debido a la gran heterogeneidad.

En circunstancias como ésta, el proyectista tiende a dimensionar los pilotes contando primordialmente con la resistencia por el fuste, ya que esta integra las cualidades de una gran masa de terreno, lo que no ocurre con la punta.

Pero, si lo que nos interesa es la resistencia por el fuste, ésta se consigue en mayor proporción con elementos de menor diámetro. Por ello, en los suelos residuales lateríticos, volcánicos, etc., ha encontrado una aplicación muy adecuada la familia de micropilotes en sus distintas modalidades. Los métodos de perforación que utilizan suelen ser, además, adecuados para resolver las dificultades que estas formaciones heterogéneas presentan habitualmente.

LA LICUACION

No me quedan ya más que muy pocos minutos para hablar de la licuación. Este problema ha suscitado en los últimos diez años una enorme cantidad de publicaciones y no resulta posible sintetizarlas en el marco de uno de los cinco subtemas de una de las sesiones de un Congreso, cuando ha habido numerosos simposios dedicados exclusivamente a ella. En esta breve presentación oral, incluso una ligera referencia resulta dificultosa.

De todos modos haremos notar que la licuación de un terreno es una consecuencia de su estructura metaestable. No es más que un colapso abortado. La estructura falla, y las cargas que soporta se transfieren al fluido que llena sus poros. El fluido, poco compresible, las acepta, pero comportándose como un fluido.

Las consecuencias de una licuación pueden ser diversas. La palabra sugiere deslizamientos, oleadas de fango o incluso corrientes de densidad viajando a largas distancias, como las que se producen en los sedimentos infraconsolidados en las desembocaduras de los grandes ríos (p.e. Magdalena, Mississippi, Amazonas). Las coladas de barro pueden clasificarse también entre los fenómenos de licuación.

Pero, en un terreno llano, la licuación de una capa de terreno puede no originar ningún movimiento superficial. Quizá, como ocurrió en Niigata, se note un efecto de filtrado, traducido en un cambio en el carácter de las vibraciones que se transmiten a las capas superficiales.

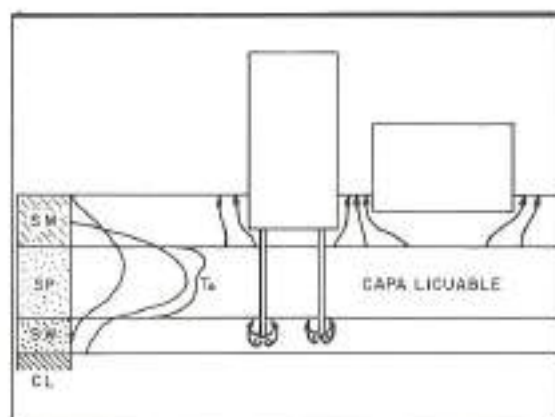


FIGURA 6. Efectos de la licuación de una capa de arena sobre los estratos supra e infrayacente.

Pero en la capa licuada, se ha producido un aumento importante de las presiones intersticiales. Súbitamente, ha nacido una isocrona (figura 6) que va a vivir su propia vida hasta su disipación final. Al cabo de un cierto lapso (30 a 40 segundos en Niigata) se establece un gradiente hidráulico ascendente en las capas superiores, capaz de provocar la condición de arenas vivas, e incluso el sifonamiento, esto es, los típicos "volcanes de arena" que son solamente la manifestación de inestabilidades locales del flujo de agua en la dirección ascendente.

Y una consecuencia que se visualiza con mayor dificultad, es que esta isocrona produce igualmente un aumento transitorio de las presiones intersticiales debajo de la capa licuada, con su correspondiente disminución de las presiones efectivas. Así es como Yoshimi y Tokimatsu explican el asiento de pilotes cuyas puntas descansaban en estratos profundos que no eran susceptibles de licuación.

Aquí radica también la causa principal de la eficacia de uno de los más recientes procedimientos de estabilización de suelos licuables: los drenes de grava. Su modo de acción consiste en canalizar el flujo de agua a través de unos elementos no sifonables, y protegidos de la erosión interna.

No me queda ya tiempo para exponer los métodos de predicción de la licuación. Por otra parte, mucho se dice sobre ello en varios de los trabajos presentados a esta Sesión, y confío que, a continuación, sus autores nos hablarán de ello. Pero, antes de terminar, quisiera hacer una observación que estimo importante: los métodos hoy consagrados tratan casi exclusivamente de la licuación de arenas, y aún pudiera decir que de la licuación de arenas limpias, condescendiendo alguna vez a prestar alguna atención marginal a las arenas con una proporción limitada de partículas finas.

Las arenas son los suelos que han experimentado, en tiempos recientes, los fenómenos de esta clase que han tenido más resonancia, pero, con una visión más extendida, puede comprobarse que ha habido licuaciones en terrenos de muchos tipos. De una manera general, y sin salirnos del concepto restringido que manejamos (es decir, excluyendo por completo las manifestaciones de tixotropía) podemos establecer que todo suelo colapsable puede ser un suelo licuable, si llega a estar en unas condiciones adecuadas de humedad. Precisamente lo que a veces ha oscurecido este hecho es que la opinión general que limita la licuación a los suelos granulares ha hecho atribuir fenómenos de esta clase a la tixotropía. En esta misma sesión, podemos ver la contribución de Wang Bu Yun, que habla de la extrema susceptibilidad tixotrópica del loess saturado. Por nuestra parte, creemos que lo observado no tiene nada que ver con la tixotropía, al menos con el sentido que a esa palabra le dió Freundlich, ya que el fenómeno por él descrito es un proceso físico-químico, reversible, en sistemas coloidales. Esto no ocurre en el loess, mientras que lo que sí tiene es una estructura colapsable.

Como resumen, sobre esta cuestión, tenemos que concluir que la influencia de las solicitaciones cíclicas sobre los terrenos tiene aspectos peculiares, y que esto no ocurre solamente en las arenas flojas.

Pero también hay que hacer notar que la naturaleza del terreno se manifiesta siempre por determinados establecimientos geológicos y unidades geomorfológicas. A través de estos signos, el terreno nos proporciona indicaciones respecto a la posible inestabilidad de su estructura.

Youd y Perkins, por ejemplo, en *Journal ASCE-GT4* (1978) presentaron una metodología para confeccionar un "Ground Failure Potential Map", que se refiere a la facilidad relativa con la cual los sedimentos de un establecimiento geológico particular pueden llevarse en el caso de una sacudida sísmica importante.

Pero también en los trabajos presentados al Congreso tenemos uno muy importante, en el que se relacionan los factores geomorfológicos de la Geología del Cuaternario con la aparición de licuaciones durante los terremotos chinos de Xingtai, Hai Cheng y Tangshan. Se trata del trabajo de Su Yiran et al. De acuerdo con estos autores para cada situación geológica y para cada terremoto de proyecto, definiendo la primera mediante un estudio geomorfológico y de Geología del Cuaternario, un área puede ser clasificada como de licuable o no licuable, con una precisión estadística total-

UNIDAD GEOMORFOLOGICA	EDAD ESTRATIGRAFICA	INTENSIDAD DEL TERREMOTO			
		VII	VIII	IX	X
LLANURA ALUVIAL - DILUVIAL DE PIE DE MONTE	Q ₃	—	—	—	—
LLANURA ALUVIAL DILUVIAL	Q ₃	—	—	—	—
	Q ₄	—	—	+	+
LLANURA ALUVIAL	Q ₄	—	+	+	+
LLANURA ALUVIAL MARINA	Q ₄	—	+	+	+
	Q ₄ ACTUAL	+	+	+	+
TERRAZA FLUVIAL DE 1. ORDEN	Q ₄	—	+	+	+
	Q ₄ ACTUAL	+	+	+	+
LLANURA DE FONDO DE VALLE, PANTANO LACUSTRE O MADRES VIEJAS DE RIOS ACTUALES	Q ₄ ACTUAL	+	+	+	+

+ LICUABLE — NO LICUABLE

CUADRO 2. Tabla para la discriminación directa de arenas potencialmente licuables, según Su Yiran et Al. "The Engineering Geological Discrimination Method for Liquefaction of Sand". (Trabajo presentado a este mismo Congreso).

mente suficiente para planeamiento urbanístico, estudios de factibilidad o selección de ubicaciones para grandes proyectos. (cuadro 2).

La perspectiva de una identificación y descripción correcta del terreno, tan útil para el ingeniero queda velada muchas veces por el deseo de dar datos cuantitativos muy precisos. Sin embargo, esto último, para hacerlo de manera adecuada, es lento y costoso, y puede, además, estar sujeto a errores graves. Por ejemplo, en el artículo de Jamiolkovski et al. en el Congreso de San Francisco de la ISSMFE (1985) 4:1891-1896, se demuestra que es necesario conseguir previamente una idea acerca de la historia de tensiones de una arena, si hemos de interpretar correctamente los resultados de penetración del cono, respecto al riesgo de licuación.

Así pues, si nosotros llegamos al conocimiento cierto de que vamos a tratar con los depósitos de una corriente secundaria de agua, que fluye sobre una antigua colada de barro, o bien con una for-

mación eólica pleistocena, conocemos ya muchas cosas sobre cómo pueden reaccionar frente a nuestras actuaciones. Del mismo modo, muchos datos cuantitativos pueden conducirnos a juzgar de las posibilidades de un potrero que se va a destinar a las carreras, pero nadie deja de preguntar, antes que nada, quienes fueron sus padres.

PROPUESTAS PARA LA DISCUSION

El Prof. Justo Alpañés tiene que presentarnos ahora su ponencia sobre las arcillas expansivas, y no debo utilizar el tiempo que a él le corresponde.

Pero después vendrá la discusión de estas ponencias y de los trabajos presentados. El tiempo disponible también es corto, y es imposible que nos ocupemos del tema en toda su extensión. Por ello, me permito señalar, dentro de cada uno de los tópicos en los que el tema de la Sesión ha sido dividido, los puntos que, en mi opinión, deberían merecer una atención particular de la audiencia.

TOPICO	PUNTO PROPUESTO PARA DISCUSION
SUELOS COLAPSABLES	COLAPSO PARCIAL BAJO SATURACION PARCIAL
SUELOS LATERITICOS Y RESIDUALES	CIMENTACIONES PROFUNDAS: RELAJACION DE LOS PILOTES HINCADOS
LICUACION	ESTABLECIMIENTOS GEOLOGICOS SUSCEPTIBLES DE LICUACION
ESTABILIZACION DE SUELOS	COMPACTACION DINAMICA. EMPLEO DE EXPLOSIVOS
SUELOS COHERENTES Y ORGANICOS	CONSOLIDACION SECUNDARIA

CUADRO 3.

APENDICE

Los distintos criterios para discriminar los suelos colapsables dan resultados bastante diferentes. Por ejemplo, el criterio de la Norma rusa SNIPB (ver cuadro 1) es notablemente más pesimista que la mayoría de los otros criterios formulados.

Como en el citado cuadro se indica, el criterio se basa en un índice R , cuyo valor es:

$$R = \frac{e(\text{natural}) - e(\text{límite líquido})}{1 + e(\text{natural})}$$

El suelo es colapsable si R es mayor que ciertos valores reseñados en el cuadro, y si, además, su grado de saturación es bajo.

La fórmula anterior equivale a la siguiente:

$$R = 1 - \gamma_d \left(\frac{W_L}{\gamma_w} + \frac{1}{G} \right)$$

siendo γ_d , γ_w y G el peso específico del suelo en su estado natural, el del agua, y el de las partículas sólidas, respectivamente.

De aquí se deduce:

$$\gamma_d = \frac{1 - R}{\frac{W_L}{\gamma_w} + \frac{1}{G}}$$

lo cual nos permite dibujar, en la figura 7, la función que liga el límite líquido W_L con el valor de γ_d , discriminadamente entre los suelos colapsables y no colapsables, supuesto un valor de G

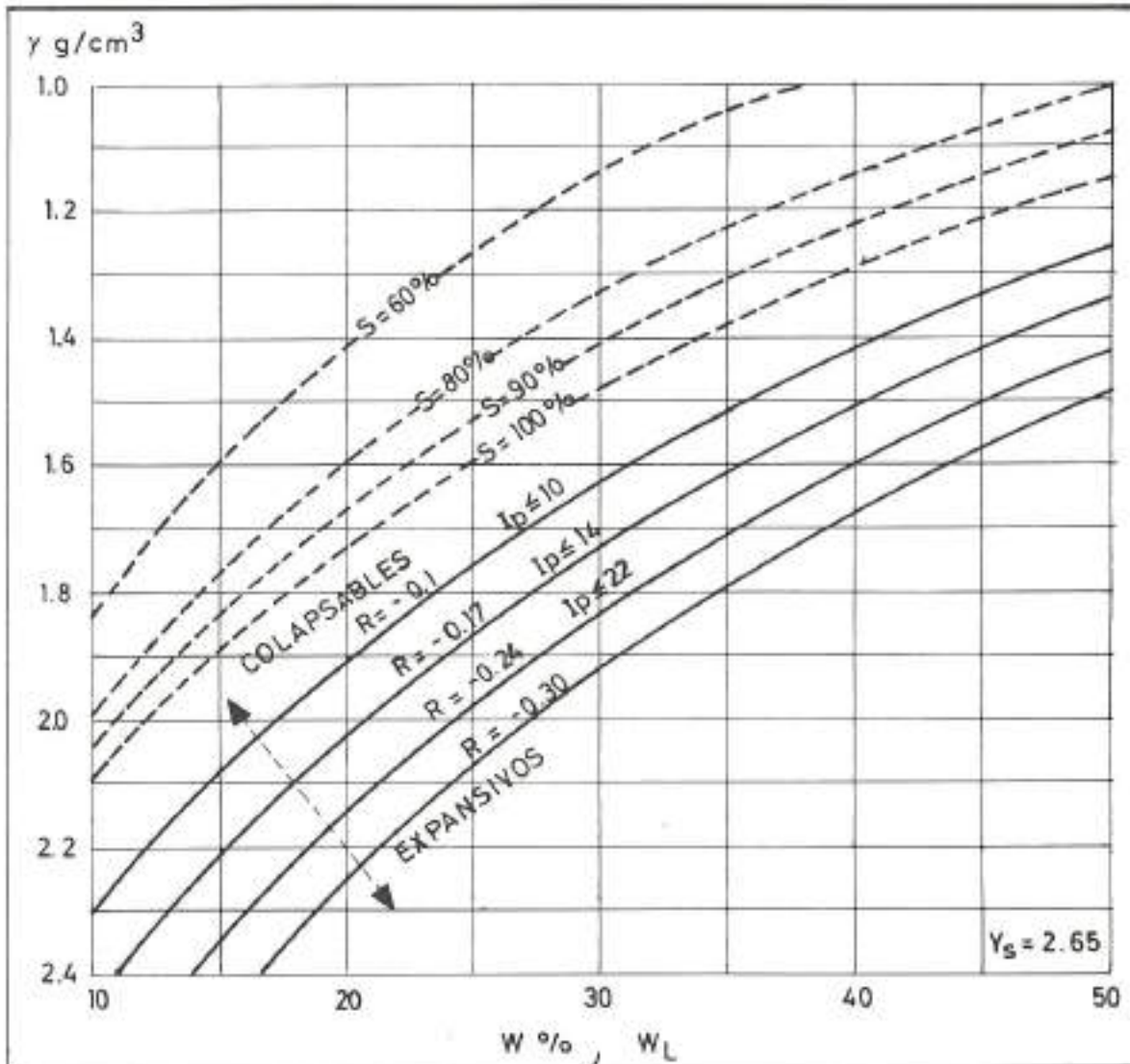


FIGURA 7. Nomograma para discriminar los suelos colapsables, según las normas rusas.

determinado (2.65 g/cm^3 en la figura), y el valor de R , fijado según el índice de plasticidad del suelo.

Además, en la misma figura se han dibujado las curvas que representan la función que liga el peso específico seco del suelo, con su humedad natural, para un grado de saturación determinado. Esto nos permite comprobar inmediatamente si se cumple la segunda condición para que el suelo sea colapsable.

Por ejemplo, un suelo con peso específico seco natural de 1.4 g/cm^3 , límite líquido de 35, índice de plasticidad de 5 y humedad natural del 20% es claramente colapsable, ya que su grado de saturación es ligeramente inferior al 60% y, en las líneas llenas, vemos que está muy claramente por encima de la línea correspondiente a los suelos con índice de plasticidad menor o igual a 10.

Sin embargo, como hemos dicho, este criterio se estima, por muchos, que es muy pesimista. Por ejemplo, Ferreira y Monteiro (1985) encuentran que una serie de suelos lateríticos de Ilha Solteira resultan muy colapsables con este criterio, cuando en la realidad se comprobó que lo eran tan solo marginalmente, lo cual correspondía bien, por otra parte, con los resultados de la aplicación del primitivo criterio de Denisov, así como

de los criterios de Bureau of Reclamation y del de Feda (Feda, J. Structural Stability of Subsident Loess Soil from Praha Dejvice. Engng. Geology, 1:201-219).

Por su parte, T. Audric y L. Bouquier, en su trabajo "Collapsing behaviour of some loess soils from Normandy", llegan a unos resultados parecidos, y concluyen que el criterio de Feda es adecuado, no tan sólo para los suelos colapsables de Normandía, sino también para los de la región de París.

El criterio de Feda puede expresarse así:

$$e \text{ (crítico)} = 0.85 e \text{ (límite líquido)} + 0.15 e \text{ (límite plástico)}$$

Evidentemente, el suelo es colapsable cuando su índice de poros natural es igual o mayor que el así determinado:

Pero este criterio puede formularse también así:

$$W_L - 0.15 I_p = 100 \gamma_w \left(\frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{G} \right)$$

lo cual, para cada valor de γ_d , define una recta en el gráfico de Casagrande (figura 8), siempre que hayamos determinado el peso específico de las partículas, G .

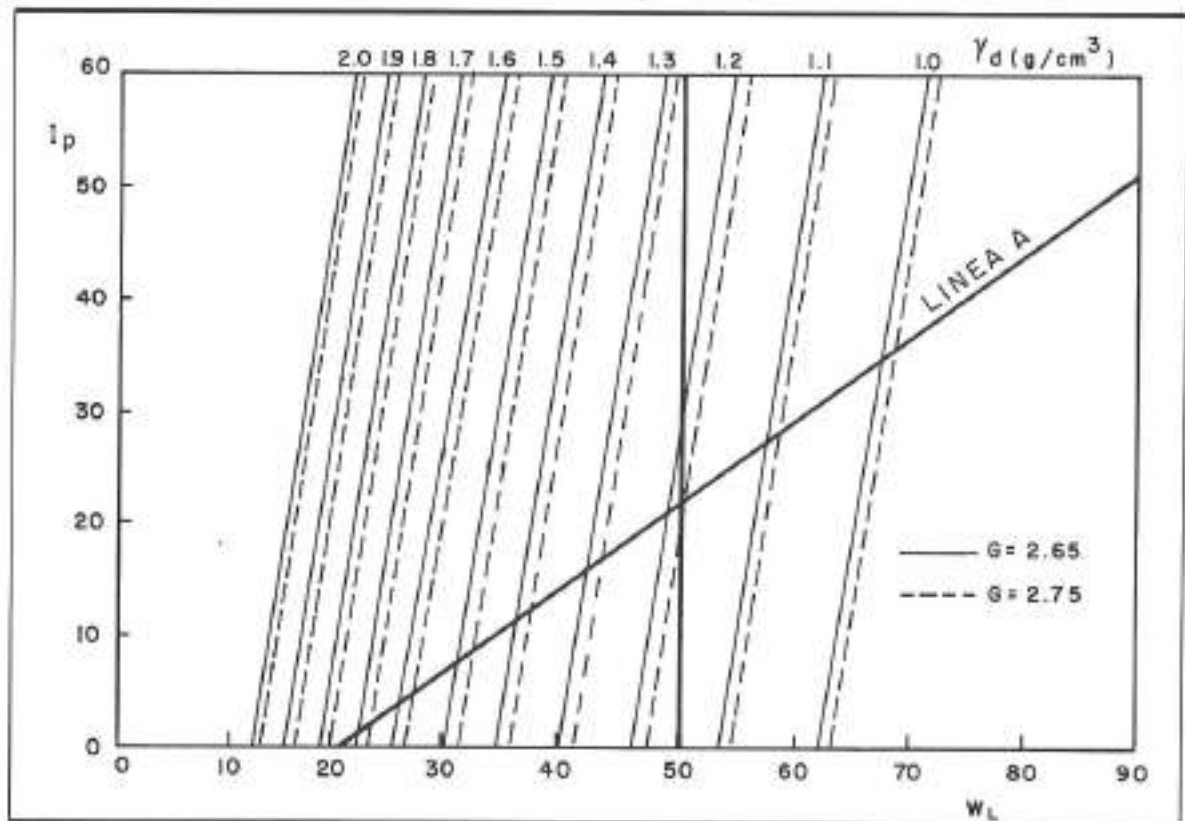


FIGURA 8. Nomograma para discriminar los suelos colapsables, según el criterio de Feda.

En la figura 8 hemos representado estas rectas para $G = 2.65$, y también para $G = 2.75$, para que se aprecie que el criterio no es muy sensible a este valor, dentro del campo de variación del mismo.

Y en esta figura podemos comprobar que el suelo del ejemplo anterior es marginal según el criterio de Fedá, incluso ligeramente del lado de "no colapsables", ya que el peso específico crítico es 1.389, inferior al de 1.4 g/cm³ que hemos supuesto.

Por último, insistiremos en el punto ya indicado de la importancia en discriminar entre el suelo que colapsa bajo su propio peso (en caso de humectación, naturalmente), que es el que da lugar a fenómenos catastróficos, y aquel que sólo muestra esta propiedad cuando está sometido a

una carga externa (en cuyo caso suele poder resolverse el problema haciendo esta carga suficientemente ligera, o repartiéndola, mediante zapatas, placas o un "colchón" estabilizado).

Pero, como hace notar el ingeniero argentino Rocca, en su trabajo citado en el cuadro 1, hay cierta anarquía en la terminología empleada en los distintos países, que hace a veces difícil la comprensión de las fuentes bibliográficas.

Esto es especialmente molesto en las denominaciones adoptadas en China y en Rusia, que son las mismas, pero con significado opuesto. Rocca ha confeccionado la tabla de equivalencias, que reproducimos (cuadro 4).

En China definen a veces también otros tipos, 3, 4, etc., para suelos con grado decreciente de colapsabilidad.

PAISES	AUTOCOLAPSABLES O AUTOSUBSIDENTES	COLAPSABLES TAN SOLO BAJO CARGA AÑADIDA
ARGENTINA	VERDADERAMENTE COLAPSABLE	CONDICIONALMENTE COLAPSABLE
USA	COLAPSABLE	NO COLAPSABLE
RUSIA	TIPO II	TIPO I
CHINA	TIPO 1	TIPO 2

CUADRO 4. Denominación de los suelos.

REFERENCIAS

- Ajayi, L.A. 1985 Strength characteristics of some residual soils. 11 th ICSMFE. S. Francisco. 2: 969-978.
- Al-Hussaini, M.M.; Goodings, D.J.; Schofield, A.N. and Townsend, P.C. 1981. Centrifuge Modeling of Coal Waste Embankments. Journ. Geot. Eng. Div. ASCE 107: GT4: 481-499.
- Al-Sanad, H.; Bindra, S.P. 1985 Salt bearing Soils (Sabkha) of the State of Kuwait. Tropical's 85 2: 435-442.
- Ambraseys, N.N. 1973 Dynamics and Response of Foundation Materials in Epicentral Regions of Strong Earthquakes. 5 th Word Conference Earthquake Eng. Rome.
- Amagosti, Petar 1973 Storage dams founded on collapsing loess soils. 8 th ICSMFE. Moscow 2.2: 7-12.
- Aranyev, V.P. and Volynick, N.V. 1986 Engineering-geologic peculiarities of construction work on loessial soils. 5th Int. Conf. IAEG-Theme 3 Buenos Aires.
- Annaki, M. and Lee, K.L. 1976 Equivalent Uniform Cycle Concept for Soil Dynamics. Liquefaction Problems in Geotechnical Eng. ASCE National Conv. pp. 227-254.
- Arunalandan, K.; Perry, E.B. 1983 Erosion in Relation to Filter Design Criteria in Earth Dams. Journal Geotech. Eng. ASCE 109:5: 682-698.
- Azola, E. García, H. and Saragóni, G.R. 1976 Análisis de las Respuestas Máximas de Estructuras Simples para algunos Sismos Norteamericanos y Latinoamericanos. Segundas Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica. Trabajo H. 3.

- Auvinet, G. 1977 Structure des milieux pulvérulents. 9^e ICSMFE - Tokyo 1: 23-26.
- Bagueñin, F.; Jezequel, J.P.; Shields, D.D. 1978 The pressuremeter and foundation engineering. Trans-Tech Publications.
- Bally, R.J.L. Antonescu, I.P. and Perica, V.D. 1965 Loess as Foundation Soil for Irrigation Systems. 6th ICSMFE-Montreal 2: 8-12.
- Bally, R.J., Antonescu, I.P.; Andrei, S.V.; Dron, A. and Popescu, D. 1973 Hydrotechnical Structures on Loessial Collapsible Soils. 8th ICSMFE. Moscow 2.2: 17-22.
- Bara, John P. 1975 Precollapsing Foundation Soils with Water. 5th Pan American Conf. SMFE - Buenos Aires.
- Bara, John P. 1977 Research on wetting collapsible foundation soils. U.S. Bureau of Reclamation GR-14-77.
- Bardem, L. McGown, A. and Collins K. 1973 The Collapse Mechanism in Partly Saturated Soil. Engng. Geology 7: 49-60.
- Barksdale, R.D. 1975 Settlement of footings on a Sagro-lite Soil. 5th Panamerican Conf. ISMFE - Buenos Aires.
- Bea, R.G. Wright, S.G.; Sircar, P. and Nedoroda, A.W. 1983 Wave-Induced Slides in South Pass Block 70, Mississippi Delta. Journ. Geot. Eng. ASCE 109:4: 619-644.
- Bertram, G.E. 1940 An Experimental Investigation of Protective Filters. Pub. Graduate Sch. of Eng., Harvard University Pub. no. 267.
- Blázquez, R.M., Krizek, R.J. and Bazant, Z.P. 1980 Site factors controlling liquefaction. Jour Geot. Eng. Div ASCE, 106: GT7: 890-895.
- Blight, G.E. 1970 In situ strength of rolled and hydraulic

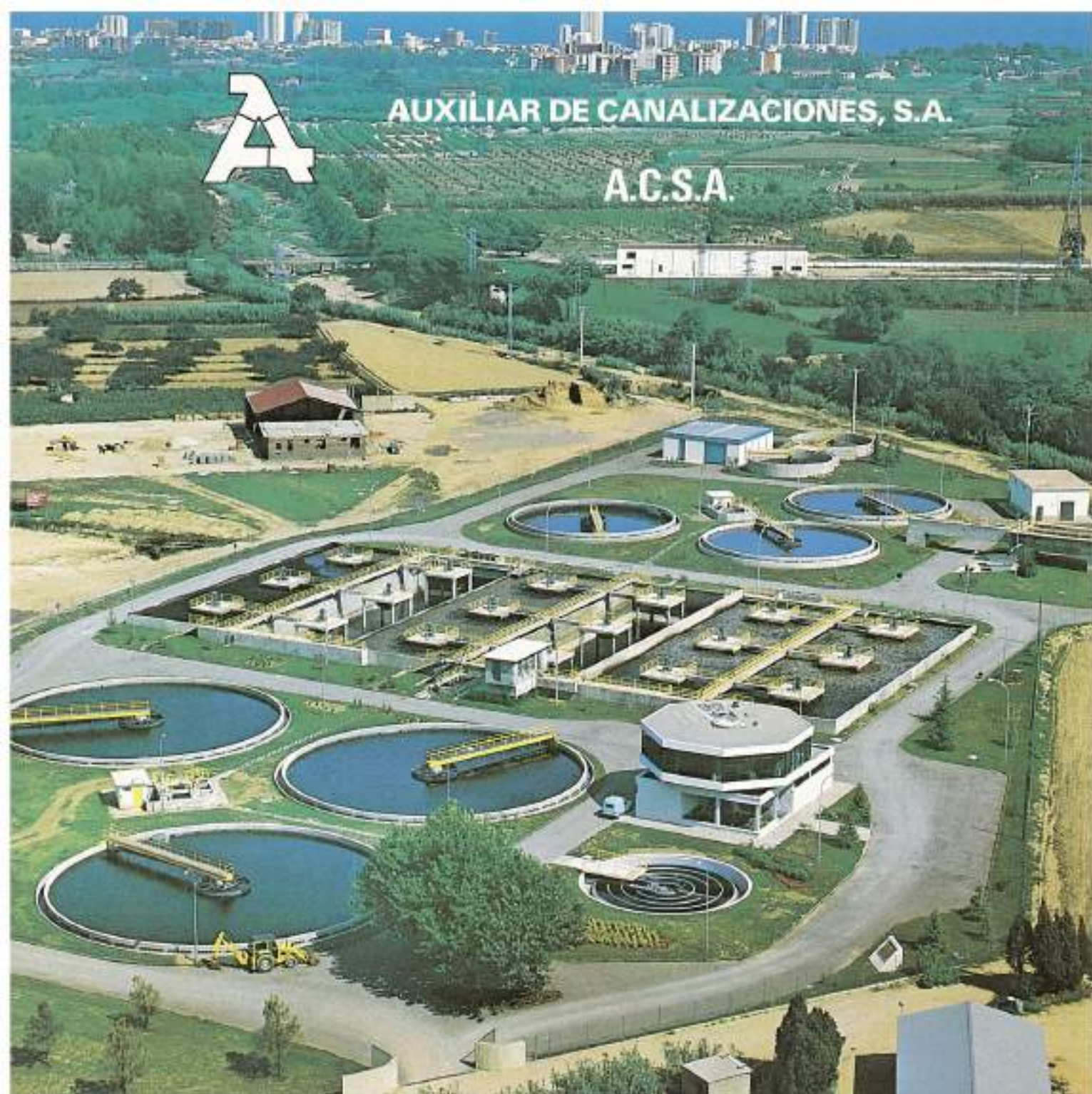
- fill. *Journ. Soil Mech. and Found. Div. ASCE* 96: SM3: 881-899.
- Botea, E., Stanculescu, I., Baily, R.J. and Antonescu, I. 1969 Loessial Collapsible Soils as Foundation Base in Romania. *Comm. on Soil Mech. and Found. Eng. Nat. Council of Eng. and Technicians, Soc. Republic of Romania*.
- Bozinovic, D., Markovic, G., Coric, B., Coric, S. and Caki, L. 1985 Stress-strain-strength characteristics of macroporous loess in Belgrade. 11th ICSMFE, S. Francisco 4: 2385-2388.
- Brand, E.W. 1985 Geotechnical engineering in tropical residual soils. *Tropical's* 85: 3: 23-31.
- Brand, E.W. and Philipson, H.B. (Editors) 1985 Sampling and Testing of Residual Soils - A review of International Practice. Technical Committee on Sampling and Testing of Residual Soils, Int. Soc. Soil Mech. and Found. Eng. Scorpion Press Hong Kong.
- Briaud, J.L.; Smith, T.D.; Meyer, B. 1982 Design of laterally loaded piles using pressuremeter test results. Symposium on the Pressuremeter and its Marine Applications Ed. Technip. Paris pp. 377-395.
- Brink, A.B.A. and Kintey, B.A. 1961 Collapsible Grain Structure in Residual Granite Soils in Southern Africa. 5th ICSMFE - Paris 1: 611-614.
- Bruch, J.C. 1979 A Numerical Solution of an Irrigation Flowfield. *Int. Journ. Num. and Anal. Meth. in Geomechanics*, 3:1: 23-36.
- Buchanan, F. 1807 A Journey from Madras through the countries of Mysore, Camara and Malabar, East India Co. London 2: 440-441.
- Bull, W.B. 1964 Alluvial Fans and Near-Surface Subsidence in Western Fresno County, California. *Geol. Survey Professional Paper* 437-A Washington p. 71.
- Bureau of Reclamation, U.S.A. 1953 Laboratory Tests on Foundation and Embankment Materials from 50-Million-Gallon Reservoir, Hawthorne, Nevada, Earth Lab. Report EM-332.
- Bureau of Reclamation, U.S.A. 1959a Subsidence Characteristics of Low Density Silty Soils in Areas of Upper Meeker Canal Missouri River Basin Project and Lateral PE 41.2 - Columbia Basin Project. Earth Laboratory Report No. EM-545.
- Bureau of Reclamation, U.S.A. 1959b A Laboratory Testing Study of Land Subsidence (S. Joaquin Valley) Earth Laboratory Report No. EM-564.
- Bureau of Reclamation, U.S.A. 1961 Properties which divide Loose and Dense Uncemented Soils. Earth Laboratory Report No. EM-608.
- Cadman, J.D. and Buosi, M.A. 1985 Tubular cavities in the Residual Lateritic Soil Foundations of the Tucuruí Barragem and Samuel Hydroelectric Dams in the Brazilian Amazon region. *Tropical's*, 2: 111-122.
- Casagrande, A. 1938 Compaction Test and Critical Density Investigations of Cohesionless Materials for Franklin Falls Dam, U.S. Engineering Corps-Boston District.
- Casagrande, A. 1971 On liquefaction phenomena. *Géotechnique*, 21: 3: 197-202.
- Castro, G. 1975 Liquefaction and Cyclic Mobility of Saturated Sands. *Journ. Geot. Eng. Div. ASCE* 101: GT6: 551-559.
- Castro, G., Poulos, S.J. and Leathers, F.D. 1985 Re-examination of Slide of Lower San Fernando Dam. *Jour. Geot. Eng. ASCE* 111:9: 1093-1107.
- Chandler, R.J. 1969 The effect of weathering on the shear strength properties of Keuper Marl. *Géotechnique* 19: 3: 321-334.
- Chandler, R.J. and Gutiérrez, C.I. 1986 The filter-paper method of suction measurement. *Géotechnique* 36: 2: 265-268.
- Clark, L. 1983 Notes on water movement in the unsaturated zone. *Q.J. Eng. Geology* 16: 3: 241-242.
- Clemence, Samuel P.; Finbarr, Albert O. 1981. Design considerations for Collapsible Soils. *Journal Geot. Eng. Div. ASCE* 107: GT3: 305-317 Discussions and Closure in April 1982.
- Clevenger, W.A. 1956 Experiences with loess as a foundation material. *Proc. Soil Mech. Found. Div. ASCE*, 82: SM3: 1-26.
- Committee on Shallow Found. of the Geotech. Eng. Div. ASCE 1982 Shallow foundations on frozen soil: A Bibliography. *Journal Geotech. Eng. Div. ASCE* 108: GT2: 285-291 See also Discussion 109: 2: 278-279.
- Corey, A.T. 1977 Mechanics of Heterogeneous Fluids in Porous Media. Water Resources Publications Ft. Collins Colorado U.S.A.
- Costa Nunes, A. 1985 Discussion Session Building Foundations *Tropical's* 85: 4: 30-33; 50: 53.
- Cuellar, V., Bazant, Z.P., Krizek, R.J. and Silver, M.L. 1977 Densification and Hysteresis of Sand under Cyclic Shear. *Jour. Geotech. Eng. Div. ASCE* 103: GT5: 399-416.
- D'Elia, B.; Distefano, D.; Esu, F. and Federico, G. 1979 Design Criteria for uncompacted clay fills. 7th ECSMFE - Brighton 1: 125-130.
- D'Elia, B.; Distefano, D.; Esu, F.; Federico, G. 1983 Improvement of an uncompacted fill. 8th ECSMFE - Helsinki 2: 745-750.
- Daniel, David E. 1984 Predicting Hydraulic Conductivity of Clay Liners. *Journ. Geotech. Eng. ASCE* 110: 2: 285-300 See also Disc. in 111: 12: 1457-1467.
- Dey, S.R.; Daniel, D.E. 1985 Hydraulic Conductivity of two Prototype Clay Liners. *Journal Geotech. Eng. ASCE* 111: 8: 957-970.
- De Alba, Pedro A. 1983. Pile settlement in Liquefying Sand Deposit. *Journ. Geotech. Eng. ASCE* 109:9: 1165-1180.
- De Alba, P., Seed, H., Bolton, and Chan, C.K. 1976 Sand liquefaction in Large-Scale Simple shear test. *Journ. Geot. Eng. Div. ASCE* 102: GT9: 909-927.
- De Graft-Johnson, J.W.S.; Bhatia, H.S. and Hammond, A.A. 1972 Lateritic Gravel Evaluation for Road Construction. *Journ. Soil Mech. and Found. Div. ASCE* 98: SM11: 1245-1265.
- De Mello, V.F.B. 1971 The standard penetration test. 4th Panam. Conf. SMFE. 1: 1-86.
- De Mello, V.F.B. 1972 Thoughts on soil engineering applicable to residual soils. *Proc. 3rd S.E. Asian Conf. Soil Eng. Hong Kong* pp 5-34.
- De Mello, V.F.B. and Mori Rui T. 1985 Peculiarities of "in situ" behavior of tropical lateritic and saprolitic soils in their natural conditions: dam foundations. *Tropical's* 85: 4:73-104.
- Deere, D.V. and Patton, F.D. 1971 Slope stability in

- residual soils. Proc. 4th Panam. Conf. SMFE - Puerto Rico 1: 87-170.
- Dembicki, E. and Kisielowa, N. 1983 Technology of soil compaction by means of explosion. 8th ECSMFE - Helsinki 1: 229-230.
- Denisov, N. Ya. 1953 Stroitel'nye svoystva lessa i lessa vidnykh suglinkov (The engineering properties of loess and loess like loams) Gosstroizdat, Moskva.
- Dib, P.S. 1985 Compressibility characteristics of Tropical Soils making up the foundation of the Tucuruí Dam in Amazonas (Brazil) Tropical's 2: 131-141.
- Dias, R.D., Gehling, W.Y. and Gilbert, R. 1985 Utilization of a new methodology for the study of the Foundations Soils of Transmission Lines. Tropical's 2: 75-85.
- Donovan, Neville C.; Singh, Sukhmander 1978 Liquefaction Criteria for Trans Alaska Pipeline. Journal Geot. Eng. Div. ASCE 104: GT4: 447-462.
- Dudley, John H. 1970 Review of Collapsing Soils. Journ. Soil Mech. and Found. Div. ASCE 96: SM3: 925-947.
- El-Ruwaih, L.A. and Touma, F.T. 1986 Assessment of the engineering properties of some collapsible soils in Saudi Arabia. 5th Conf. IAEG, Theme 3 Buenos Aires.
- Escario V. and Saenz, J. 1973 Discussion on Session 4: Gradual collapse of soils induced by a decrease in suction. 8th ICSMFE - Moscow 4: 1: 123-124.
- Escario V. and Saenz, J. 1973 Discussion on Session 4: ving defective foundations in gypseous ground by cement-bentonite grouting. 8th ECSMFE - Helsinki 2: 751-756.
- Evstatiev D.; Milev, G. and Karacharov, P. 1985 Settlements of TV tower built on stabilized loess. 11th ICSMFE - San Francisco 2: 1127-1128.
- Faraco, C. 1972 Estudio del colapso de la estructura de los limos yesíferos y su incidencia sobre las propiedades geotécnicas de los mismos. Doctor Thesis - Universidad Politécnica de Madrid.
- Fay, J.B. and Le Tirant, P. - 1982 Offshore selfboring pressuremeters for deep water. Symposium on the Pressuremeter and its Marine Applications pp. 305-323 Ed. Technip.
- Fermor, L.L. 1911 What is laterite? Geol. Mag. 5: 454-462; 507-516; 559-566.
- Ferreira, R.C.; Monteiro, L.B. 1985 Identification and evaluation of collapsibility of colluvial soils that occur in the Sao Paulo State. Tropical's 85 1: 269-280.
- Finn, W.D. Liam 1985 Soil Liquefaction: Recent Developments in Practice. In Soil Dynamics and Earthquake Eng. Proc. 2nd Int. Conf. Ed C.A. Brebbia et al. Springer - Berlin.
- Finn, W.D. Liam; Yong Raymond N.; Lee Kwok W. 1978 Liquefaction of Thawed Layers in Soils. Journal Geot. Eng. Div. ASCE 104: GT10: 1243-1255.
- Florin, V.A. and Ivanov, P.L. 1961 Liquefaction of saturated sandy soils. 5th ICSMFE - Paris 1: 107-111.
- Fookes P.G. and Bert, R. 1969 Consolidation characteristics of some late Pleistocene metastable soils of East Kent. Q. Journal Eng. Geol. 2: 103-128.
- Fredlund, Delwyn, G.; Morgenstern, Norbert R. 1977 Stress State Variables for Unsaturated Soils. Journ. Geot. Eng. Div. ASCE May (proc. Paper 12919) Discussion by P. Bloch. February 1978 pp 303-04 Closure 1978, p. 1415.
- Garga, V.K. y Abolm Costa, C. 1977 Stress compressibility characteristics of a residual soil from gneiss. 9th ICSMFE - Tokyo 1: 106-108.
- Ghiormia, V.; Janiolowski M.; Lacasse, S.; Ladd, C.C.; Lancelotti, R.; Lunne, T. 1983 Evaluation of Self boring Pressuremeter. Soil and Rock Investigations by in situ testing-Symposium International-Paris 2: 293-301.
- Gibbs, H.J. and Holland, W.Y. 1960 Petrography and Engineering properties of loess. Eng. Monograph, 28 U.S. Bureau of Reclamation, Denver U.S.A. 1-37.
- Gidigas, M.D. 1980 Geotechnical evaluation of residual gravels in pavement construction Eng. Geol. 15: 173-194.
- Gidigas, M.D. and Bani, S.K. 1973 Geotechnical Characteristics of Troublesome Laterite Materials. 8th ICSMFE - Moscow 2: 89-90.
- Goldstein, M.N. 1969 Principles for the design of structures on slumping soils by moistening. Osnovaniya Fundamenty i Mekhanika Gruntov 6: 637-679 (Translated by Consultants Bureau).
- Golombek, S. 1985 Peculiarities of in situ behaviour of tropical, lateritic and saprolitic soils in their natural condition: Building Foundations: General Report. Tropical's 85 - 4: 13-29.
- González Vallejo, L.I. 1980 Propiedades geotécnicas de unos suelos de La Laguna (Tenerife) Doctor Thesis. Universidad Complutense (Madrid).
- Green, W.H. and Ampt, G.A. 1911 Studies on soil physics: I. Flow of air and water through soils. Journ. Agri. Science 4:1-24.
- Hamandshiev, K.B. and Lutenecker, A.J. 1985 Study of OCR of Loess by flat dilatometer. 11th ICSMFE - San Francisco 4: 2409-2414.
- Handy, R.L.; Remmes, B.; Moldt, S.; Lutenecker, A.J.; Selig, E.T. 1982 In Situ Stress Determination by Iowa Stepped Blade. Journ. Geotech. Eng. Div. ASCE 108: GT11: 1405-1422.
- Harrop-Williams, K. 1985 Clay Liner Permeability; Evaluation and Variation. Journal Geotech. Eng. ASCE 111: 10: 1211-1225.
- Hillel, Daniel 1960 Crust formation in loessial soils. 7th Int. Soil Science Congress - Madison 1: 330-339.
- Hillel, Daniel 1971 Soil and Water - Physical Principles and Processes. Academic Press, New York.
- Hillel, D and Gardner, W.R. 1969 Steady infiltration into crust topped profiles Soil Science 108:137-142.
- Hirst, W and Howse, M.G. 1969 The indentation of materials by wedges. Proc. Roy. Society Series A, 311, 429.
- Holtz, W.G. and Gibbs, H.J. 1961 Consolidation and related properties of loessial soils, Special Techn. Publ. 126 ASTM 9-33.
- Ireland, H.O.; Moretto, O. and Vargas, M. 1970 The dynamic penetration test. A standard that is not standardized. Géotechnique 20: 185-192.
- Ishihara, K. and Mitsui, S. 1972 Field Measurements of Dynamic Pore Pressure during Pile Driving. Proc. Int. Conf. on Microzonation 2: 529-544.
- Ishihara, K. and Yasuda, S. 1975 Sand liquefaction in Hollow Cylinder. Torsion under Irregular Excitation. Soils and Foundations 15: 1: 45-59.
- Ishihara, K. and Okada, S. 1978 Effect of stress history



AUXILIAR DE CANALIZACIONES, S.A.

A.C.S.A.



Abastecimientos de agua, Depósitos
Estaciones depuradoras, Redes de saneamiento
Emisarios submarinos
Gasoductos
Conservación de redes
Galerías, defensas de cauces, muros de contención
Instalaciones de bombeo y pavimentaciones

Central:

Manzo Casanovas, s/n.
Tel.: 236 87 00 - 08026 BARCELONA

Oficina:

Marqués de la Ensenada, 14
Tel.: 410 15 50 - 28004 MADRID

Delegaciones:

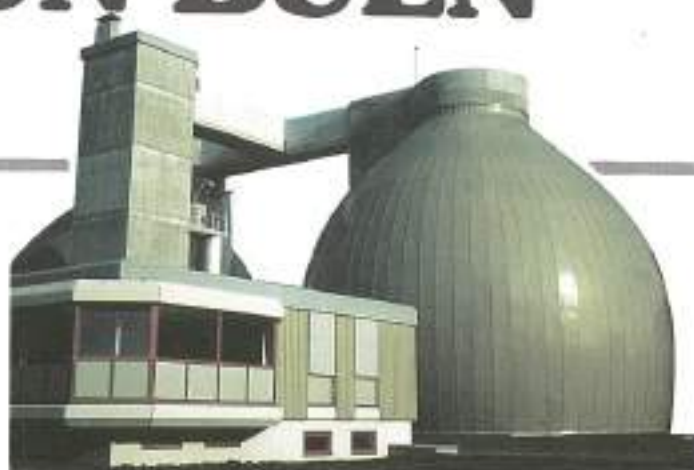
Brasil, 19 - Tel.: 70 52 16
46003 VALENCIA

Escultor Galmes, 2 - Tel.: 29 25 24
07004 PALMA DE MALLORCA

Camino de Purchill, s/n.
(Fte. Molino La Torrecilla)
Tel.: 257 56 62 - GRANADA

UN BUEN PROYECTO MERECE UN BUEN FINAL.

EQUIPOS E INSTALACIONES
PARA LA PROTECCION DEL
MEDIO AMBIENTE



El desarrollo de un buen proyecto precisa de unos medios técnicos y productivos que garanticen una buena finalización.

ATEINSA - Aplicaciones Técnicas Industriales, S.A., cuenta con modernos y potentes medios de producción y personal altamente cualificado que aseguran un

trabajo fluido y eficaz durante todo el proceso, desde el diseño hasta la entrega "llave en mano".

- Tamizados y pre-tratamientos.
- Aire-flotación.
- Tratamientos físico-químicos.
- Tratamientos biológicos.
- Digestión Anaerobia de lodos y residuos.
- Instalaciones de secado y manipulación de fangos.
- Plantas standard de bajo coste.
- Compactadora de residuos sólidos "TANA"



ATEINSA

APLICACIONES TECNICAS INDUSTRIALES, S.A.

Zurbano, 70 • Teléf. 419 95 50
Apartado 3276 • Telex 22055 ATI E
Telegr. ATEINSA • 28010 MADRID

- on cyclic behaviour of sands. *Soils and Foundations* 18: 4: 31-45.
- Ishihara, K. and Yamazaki, A. 1984 Analysis of wave-induced Liquefaction in Seabed Deposits. *Soils and Foundations* - Tokyo 24: 3: 85-100.
- Ivanov, P.L. 1983 Prediction and control techniques to compact loose soils by explosion. 8th ECSMFE - Helsinki 1: 253-254.
- Iwasaki, T., Tatsuoka, F., Tokida, K. and Yasuda, S. 1978 A Practical Method for Assessing Soil Liquefaction Potential Based on case Studies at Various Sites in Japan. *Proc. 2nd Int. Conf. on Microzonation*.
- Jamiolkowski, M., Baldi, G., Bellotti, R., Glionna, V., Pasqualini, E. 1985 Penetration resistance and liquefaction of sands. 11th ICOSMFE, S. Francisco. 4: 1891-1896.
- Jennings, J.E.B.; Burland, J.B. 1962 Limitations to the use of effective stresses in partly saturated soils. *Géotechnique* 12: 125-144.
- Jiménez-Salas, J.A. 1971 General Report: Engineering Geology. I Congreso Hispano-luso-americano de Geología Económica (Madrid) Comunicaciones: 271-280.
- Jiménez-Salas, J.A. 1971 Quelques aspects fondamentaux de la déformabilité de sols. Comité Français de la Mécanique des Sols et des Fondations. Journées Nat. Paris. pp. 91-110.
- Jiménez-Salas, J.A.; Serratos, J.M. 1953 Compressibility of Clays. 3er Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Engineering-Zurich. 1: 192-198.
- Jiménez-Salas, J.A.; Justo, J.L.; Romana, M. and Faraco, C. The collapse of gypseous silts and clays of low plasticity in arid and semiarid climates. 8th ICSMFE - Moscow 2.2: 193-199.
- Jiménez-Salas, J.A., Lorente de Nó, C. and Lacleta, A. 1981 Concept and Construction of Port Installations and Fills for Supporting Heavy Loads on Unconsolidated Soils using New Techniques. 24th Congress Permanent Int. Ass. Navigation-Edinburgh II - 4: 697-714.
- Jiménez Salas, J.A. and Uriel, A.O. 1982 Sur l'amélioration des terrains par rapport au risque de liquéfaction. *Amici et Alumni-EM. Dr. Ir. E.E. de Beer* pp. 173-185.
- Joreskog, K.G., Klovén, J.E. and Reymont, R.A. 1976 Geological factor analysis. *Methods in Geomathematics*, vol. 1. Elsevier-Amsterdam - N. York.
- Juillie, Y. and Sherwood, D.E. 1983 Improvement of Sabkhas soil of the Arabian Gulf Coast. 8th ECSMFE -Helsinki 2: 781-788.
- Kaderabek, Thomas J.; Reynolds, Richard T.; 1981 Miami Limestone Foundation Design and Construction. *Journal Geot. Eng. ASCE* 107: GT7: 859-872.
- Kane, Harrison Confined Compression of Loess. 8th ICSMFE - Moscow 2.2: 115-123.
- Kanki, M.A. and Wolfe, C.M. 1977 Residual strength: new testing and microstructure. 9th ICSMFE 1: 153-154.
- Kettle, R.J. 1983 The improvement of colliery spoil. *Quarterly Journ. Eng. Geol.* 163: 221-229.
- Kézdi, A. 1969 *Handbuch der Bodenmechanik*. Akadémiai kiadó, Budapest.
- Knight, K. 1963 The Origin and Occurrence of Collapsing Soils. 3er Reg. Conf. for Africa on SMFE 1: 127-130.
- Knodel, Paul C. 1981 Construction of Large Canal on Collapsing Soils. *Journal Geot. Eng. Div. ASCE* 107: GT1: 79-94.
- Kokusho, T., Yoshida, Y. and Nagasaki, K. 1985 Liquefaction strength evaluation of dense sand layer. 11th ICOSMFE, S. Francisco 4: 1897-1900.
- Kolbuszowski, J.; Birch, N. and Shojebi, J.O. 1965 Keuper Marl Research. 5th ICSMFE - Montreal 1: 59-63.
- Kowalski, W.C. 1980 Megascopic aggregation paradox of loess deposits. In *Hommage a Leon Calabert*. Liège. G. Thone.
- Kowalski, W.C. 1986 The aggregate and granulometric grain-size distributions of the air dry and water saturated soils in the loess covers. 5th Int. Conf. IAEG. Theme 3. Buenos Aires.
- Kruger, N.I., Kotelnikova, N.E., Lavrushevich, S.I. and Sevastyanov, V.V. 1981 Subsidence properties formation in loessial rocks of Middle Asia and Northern Kazakhstan. Moskva.
- Krinitzky, E.L. and Turnbull, W.J. 1967 Loess deposits of Mississippi. *Geol. Soc. America. Boulder, Colorado*. Sp. Paper 94.
- Krutov, V.I. 1972 Subsident soils foundations design. Moskva.
- Krutov, V.I. and Tarasova, I.V. 1964 A method for determining the magnitude of the "initial pressure" for slumping soils. *Osnovaniya Fundamenty i Mekhanika Gruntov*. 1: 7-9 (Translated by Consultants Bureau).
- Krutov, V.I., Sorochan, E.A. and Tokar, R.A. 1973 Regularities of Swelling and Collapsing deformations of Clayey Soil. 8th ICSMFE - Moscow. 2.2: 129-132.
- Krynine, D.P. and Judd, W.R. 1957 *Principles of Engineering Geology and Geotechnics*. Mc Graw-Hill.
- Larionov, A.K. 1965 Structural Characteristics of Loess Soils for Evaluating their Constructional Properties. 6th ICSMFE - Montreal. 1: 64-68.
- Lino, M. and Post, G. 1985 Liquefaction de la fondation siltueuse d'un barrage. 11th ICOSMFE, S. Francisco. 4: 1901-1904.
- Liu Mingjun, Mi Chougrong, Wang Mingxing 1986 Research on engineering properties of granitic cluvial soil in Sherzen 5th. Conf. AEIG - Buenos Aires Theme 3.
- Llamas, M.R. 1962 Sobre las causas de las averías en los canales que atraviesan terrenos yesíferos y sus posibles soluciones. I Coloquio Int. O.P. Terrenos Yesíferos - Madrid 2: 287-301.
- Lloret, A. and Alonso, E.E. 1980 Consolidation of unsaturated soils including swelling and collapse behaviour. *Géotechnique*, 30.4: 449-477.
- Lobdell, G.T. 1981 Hydroconsolidation Potential of Palouse Loess. *Journal Geot. Eng. Div. ASCE* 107: GT6: 733-742.
- López Corral, A.M. 1978 Collapse Phenomena in the Madrid Subsoil Sand. 3er I.C. IAEG. II: 1: 242-249.
- Lumb, P. 1962 The properties of decomposed granite. *Géotechnique* 12: 226-234.
- Lumb, P. 1965 The residual soils of Hong Kong. *Géotechnique* 15: 180-194. See Discussion 16: 78-81 and 359-360.
- Lumb, P. 1979 Building foundations in Hong-Kong. 6th Asian Reg. Conf. SMFE - Singapore. 2: 211-214.

- Latanevger, A.J.; Donchev, P. 1983 Flat dilatometer testing in some meta-stable loess soils. Soil and Rock Investigation by in situ testing-Symposium International Paris. 2: 337-340.
- Macau, F. and Riba, O. 1962. Situación, características y extensión de los terrenos yesíferos en España. I Coloquio Int. O.P. Terrenos yesíferos - Madrid. 5: 157-184.
- Maiti, S.K.; Mandal, J.N. 1985 Rammed Earth House Construction. Journal Geotech. Eng. ASCE. 111: 11: 1323-1328.
- Malyshev, M.V.; Sidorchuk, V.F.; Vitsel, V.I.; Zarensky, Yu. K. and Garitsakov, M. Yu. 1983 Mechanical compaction of loess and lacustrine-bog soils with heavy tampers. 8th ECSMFE - Helsinki 2: 791-796.
- Marchetti, S. 1980 In Situ Tests by Flat Dilatometer. Jour. Geol. Eng. Div. ASCE 106: 299-321. See also Discussion in 107: GT6: 831-837.
- Marcuson, William F. III (Chairman) 1978 Definition of Terms Related to Liquefaction. Journal Geot. Eng. Div. ASCE. 104: GT9: 1197-1200.
- Martin, D. 1974 Tower Foundation Design by means of the "Penevane". Esoprt 2:2: 253-257.
- Martin, Ray E. 1977 Estimating Foundation Settlements in Residual Soils. Journal Geot. Eng. Div. ASCE. 103: GT3: 197-212. Discussion, february 1978 p. 293-296. Closure Oct. 1978 p. 1324-1325.
- Martin Viñas, J. 1966 Unpublished Report, but resumed in "Geotecnia y Cimientos I" by Jiménez Salas, J.A.; Justo Alpañés, J.L. Ed. Rueda, Madrid 1971, pp. 208-210.
- Martin, F.J. and Doyle, H.C. 1927 Laterite and Laterite Soils in Sierra Leone. J. Agric. Sci. 17: 530-547.
- Maslov, N.N. and Ivanov, P.L. 1985 Liquefaction conditions for saturated cohesionless soils. 11th ICSMFE - S. Francisco. 4: 1905-1908.
- Mangieri, M. and Carrubba, P. 1985 Microzonning using SPT data. 11th ICSMFE San Francisco. 4: 1831-1836.
- Medina, J.; Liv, B. 1982 The influence of a Collapsible Foundation on the Design of π -shaped Embankment Dams. XIV Congress on Large Dams, Rio de Janeiro.
- Medina, J. 1985 Classification of Tropical Soils according to resilient characteristics for pavement design. Tropical's 2: 321-326.
- Mello, L.G.F.S.; Cepollina, M. and Oliveira, F.J.P. 1985 Use to surcharges as treatment of residual soils foundations. A case story. Tropical's 85. 2: 87-100.
- Mikheev, V.V.; Petrukhin, V.P. and Kronik, Ya. A. 1973 Properties of saline soils used in construction. 8th ICSMFE - Moscow. 2:2: 133-138.
- Milovic, D. 1963 Pulling out resistance of foundations in loess soil. Int. Conf. on Soil Mech. Found. Engineering -Budapest. pp. 281-288.
- Minervin, A.V. 1975 The role of hypergenetic process in forming the subsidence properties of loesses in Southern Siberia. Bull. IAEI. 11: 83-85.
- Minkov, M., Evstatiev, D. and Donchev, P. 1980 Dynamic compaction of loess. Int. Conf. on Compaction - Paris. pp. 345-349.
- Minkov, M. and Donchev, P. 1983 Development of heavy tamping of loess bases. 8th ECSMFE - Helsinki. 2: 797-800.
- Minkov, M.; Stefanoff, G.; Evstatiev, D.; Jellev, J. and Donchev, P. 1985 Geotechnical problems of the Bulgarian loess soils. 11th ICSMFE, S. Francisco. 4: 2435-2442.
- Mitchell, James K.; Sitar, N. 1982 Engineering Properties of Tropical Residual Soils. ASCE Geotechnical Speciality Conference on Eng. and Construction in Tropical and Residual Soils - Honolulu.
- Mogami, T. and Kubo, K. 1953 The Behaviour of Sand during Vibration. 3er ICSMFE - Zurich. 1: 152-155.
- Moh, Z.C. (Editor) 1969 Proceedings of the Speciality Session on Engineering Properties of Lateritic Soils. 7th ICSMFE - Mexico. 2 vol. Ed. by S.E. Asian Geotech. Soc. Bangkok, Thailand.
- Moore, H.E. 1967 The Engineering Properties of the Silty Soils, Snake River Canyon, State of Washington U.S. Army Eng. District Walla.
- Morgenstern, N.; Blight, G.E.; Janbu, N. and Reséndiz, D. 1977. Slopes and Excavation - State-of-the-Art Reports 9th ICSMFE - Tokyo. 547-604.
- Mori, Kenji; Seed, H. Bolton; Chan, Clarence K. 1978. Influence of Sample Disturbance on Sand Response to Cyclic Loading. Journ. Geotech. Eng. Div. ASCE 104: GT3: 323-339.
- Mori, K.; Tsuchiya, M. 1981 In Situ Measurement of Dynamic Modulus and Damping of Pleistocene Soils. Int. Conf. Recent Advances in Geotech. Earthquake Eng. and Soil Dynamics. St. Louis - U.S.A.
- Muchowsky, J. and Szyk, Z. 1974 The contribution of internal erosion processes in the development of morphology of loess slopes. 2nd Conference IAEG - Sao Paulo. 2: V: 25.1-25.10.
- Mullis, J.P.; Chan, C.K. and Seed, H.B. 1975 The Effects of Method of Sample Preparation on the Cyclic Stress-Strain Behaviour of Sands. Reports No. EERC 75-18 Univ. of California.
- Mullis, J.P.; Townsend, F.C. and Howz, R.C. 1978 Triaxial Testing Techniques and Sand Liquefaction. Dynamic Geotechnical Testing, ASTM STP 654 pp. 265-279.
- Muromachi, T. 1974 Experimental study of the application of Static Cone Penetrometer to Subsurface Investigation of Weak Cohesive Soils. ESOPt. 2: 2: 285-291.
- Mustafayev, A.A. 1973 The Regularities of Geological Processes in Swelling and Subsident Soils. 8th ICSMFE - Moscow 2:2: 145-146.
- Mustafayev, A.A. 1983 The improvement in the properties of loess subsidence soils to be attained by preliminary moistening. 8th ECSMFE - Helsinki 2: 801-804.
- Mustafayev, A.A.; Mestchyan, S.R.; Eyyubov, J.A. 1985 The rheology of subsidence and swelling soils. 11th ICSMFE, S. Francisco 4: 2443-2446.
- Myslinska, E. 1986 Changes of a loess microstructure under the influence of water as reason for its subsidence. 5th Int. Conf. IAEG. Theme 3. Buenos Aires.
- Nataraja, M.S. and Gill, H.S. 1983 Ocean Wave-Induced Liquefaction Analysis. Journ. Geot. Eng. ASCE 100: 4: 573-590.
- Nogueira, J. 1985 Influence of Lithology on the chemical clogging of Dam Drainage System. Tropical's 2: 195-201.
- Nozais-Ferreira, H. 1985 Characterization, Identification and Classification of Tropical Lateritic and Saprolitic Soils for Geotechnical Purposes. General Report. Tropical's 85-3: 139-170.

- Novais-Ferreira, H. and Correia, J.A. 1965 The hardness of Lateritic Concretions and its influence in the performance of Soil Mechanics Tests. 6th ICOSMFE - Montreal 1: 82-86.
- Novais-Ferreira, H. and Meireles, J.M.F. 1967 On the drainage of Mucoque. A Collapsing Soil. 4th Reg. Conf. for Africa on SMFE, p. 151-155.
- O'Connor, Kevin M., Krizek, Raymond J., Atmatzidis, Dimitrios K. 1978. Microcharacteristics of Chemically Stabilized Granular Materials. Journ. Geot. Eng. Div. ASCE. 104: GT7: 939-952.
- Oda, M., Nemat-Nasser, S. and Mehrabach, M. 1982 A statistical study of fabric in a random assembly of spherical granules. Int. Journ. Num. and Analytical Methods in Geomechanics. 6: 77-94.
- Ola, S.A. 1978 Geotechnical properties and behaviour of stabilized lateritic soils. Quart. Journal Eng. Geol. 11: 2: 145-160.
- Ola, S.A. 1980 Mineralogical properties of some Nigerian residual soils in relation with building problems. Eng. Geology. 15: 1-13.
- Ola, S.A. 1980 Permeability of three compacted tropical soils. Q.J. Eng. Geol. 13: 2: 87-95.
- Ola, S.A. 1982 Settlement of two oil tanks on Kaduna lateritic soils in Nigeria. Quart. J. of Eng. Geology. 15: 4: 317-324.
- Olivier, M. 1985. Optimisation de la Fabrication de Briques de Terre Crue pour la Construction. Tropical's 85 2: 413-422.
- Ordemir, I., Ozkan, Y. 1985 Compression of alluvial deposits due to wetting. 11th ICOSMFE, S. Francisco. 4: 2217-2231.
- Oweis, Issa, Bowman, John. 1981 Geotechnical Consideration for Construction in Saudi Arabia. Journal Geot. Div. ASCE 107: GT3: 319-339.
- Paye, K. 1983 Grain surface textures and carbonate content of late pleistocene loess from West Germany and Poland. Journal of Sedimentary Petrology. 53: 3: 973-980.
- Peck, R.B. 1979 Liquefaction Potential: Science Versus Practice. Journ. Geotech. Div. ASCE 105: GT3: 393-398.
- Peterson, R.S. 1970 Laterites: Genesis, Location, Use. Plenum Press, New York.
- Petrushin, V.P. and Mikheev, V.V. 1983 Compaction and roasting of gypseous soils. 8th ECSMFE - Helsinki 2: 809-810.
- Pitche, W.S., Sherman, D.J. and Pugh, D.C. 1954 The loess of Pegwel Bay, Kent and its associated frost soils. Geological Magazine. 91: 308-314.
- Pitts, J., Broms, B.B. and Kannuri, R. 1985 The choice of design parameters from "in situ" tests in Residual Soils in Singapore. Tropical's, 2: 101-107.
- Prusza, Z.; Choudhry, T. 1979 Collapseability of Residual Soils. XIII Congress on Large Dams. New Delhi.
- Prusza, Z.; De Fries, K.; Schmitt, R. 1983 The Compressibility of Undisturbed and Compacted residual Soils at Gurl. VII Panamerican Conference, Vancouver.
- Pike, R.H., Seed, H.B. and Chan, C.K. 1975 Settlement of Sands under Multidirectional Shaking. Journ. Geotech. Eng. Div. ASCE. 101: GT4: 379-398.
- Pyke, R.M., Knuppel, L.A. and Lee, K.L. 1978 Liquefaction of Hydraulic Fills. Journ. Geot. Eng. Div. ASCE. 104: GT11: 1978.
- Ramanatha Iyer, T.S. and John, P.V. 1975 Bearing capacity of lateritic profiles. Proc. Indian Geotech. Soc. Specialty Session. 5th Asian Regional Conf. SMFE Bangalore, India. pp. 81-82.
- Ravindran, G. and Kittu, N. 1981 Ground water regime in laterite. P.I.S.L.P. pp. 401-406.
- Rawls, W.J.; Brakensiek, Donald, L.; Miller, Norman 1983 Green-Ampt Infiltration Parameters from Soil Data. Journal Hydraulic Eng. ASCE. 109: HY1: 62-70.
- Reginatto, A.R. 1979 Propiedades Mecánicas de los suelos en la ciudad de Córdoba. 2ª Reunión Argentina de Mecánica del Suelo e Ingeniería de Fundaciones. 1: Paper nº 10.
- Reginatto, A.R. and Ferrero, J.C. 1973 Collapse potential of soils and soil water chemistry. 8th ICOSMFE - Moscow 2.2: 177-183. See also oral contribution at 4.2: 132-133.
- Rémy, J.P.P., Avila, J.P.; Silva Lopes, A. and Henkenhoff, C.S. 1985. Choice of the Foundation Treatment of Balbina Earth Dam. XV Congress on Large Dams, Lausanne Question 58. 3: 263-283.
- Robertson, Peter, K.; Campanella, Richard G. 1985 Liquefaction Potential of Sands using the CPT. Journal Geot. Eng. ASCE. 111: 3: 384-403.
- Rodríguez Ortiz, J.M. 1974 Estudio del comportamiento de medios granulares heterogéneos mediante modelos discontinuos, analógicos y matemáticos. Unpublished Dr. Thesis Un. Pol. Madrid. See Serrano & Rodríguez-Ortiz - Symp. on Plasticity & Soil Mech. Cambridge pp. 129-135.
- Roselló, V.; Tessier, D.; Chevin, P. 1985 Reconnaissance expérimentale du comportement de Matériaux Andosoliques Tropicaux soumis à différents types de contraintes. Tropical's, 2: 423-434.
- Ruddock, E.C. 1966 The engineering properties of residual soils. Géotechnique Correspondence. 16: 1: 78-81.
- Ruddock, E.C. 1967 Residual soils of the Kurnasi district in Ghana. Géotechnique 17: 369-377.
- Ryhyeki, S. 1986 Structure and physicochemical properties of dump soils. 5th Conf. IAEG - Theme 3 - Buenos Aires.
- Sahasrabudhe, Y.S. and Vaidyanath, L.N. 1981 Some Indian plateau laterites and their Engineering Properties. P.I.S.L.P. pp. 411-424.
- Sargrey, D.A. Harrop-Williams, K.O. and Klaffner, J.A. 1984 Predicting Ground Water Response to Precipitation. Journ. Geot. Eng. ASCE. 110: 957-975.
- Sapozhnikov, D.G. 1981 Laterite formation in USSR. P.I.S.L.P. pp 185-189.
- Saragoni, Rodolfo 1981 Influencia de la aceleración máxima, duración y contenido de frecuencias en los daños producidos por los terremotos. Boletín Lab. Carreteras y Geotecnia - MOPU - Madrid. 144: 15-32.
- Sathler, G., Camargo, F.P. 1985 Tubular Cavities "Canales" in the Residual Soil of the Balbina Earth Dam Foundation. XV. Congress on Large Dams-Lausanne.
- Saxena, K.R. and Prabhu, J.S. 1972 Building foundations on laterites. 13th Ann. Mtg. Indian Geotech. Soc. New Delhi. 1: IV - 16; IV - 30.
- Saxena, S.K. Lourie, D.E. and Rao, J.S. 1984 Compaction

- Criteria for Eastern Coal Waste Embankments. *Jour. Geotech. Eng. ASCE*, 110: 2: 262-284.
- Scheidig, A. 1934 *Der Loess und seine geotechnische Eigenschaften*. T. Steinkopf Leipzig.
- Schellmann, W. 1981 Consideration on the definition and classification of laterites. *PISLP* pp. 1-10.
- Scherrer, H.U. 1985 Dam Foundation Settlements due to Saturation. 5th ICSMFE - Montreal 2: 542-545.
- Seed, H. Bolton 1976 Evaluation of Soil Liquefaction effects on Level Ground during Earthquakes. *Liquefaction Problems in Geotechnical Engineering*, ASCE National Convention pp. 1-104.
- Seed, H.B. and Silver, M.L. 1972 Settlement of dry sands during Earthquakes. *Journ. Soil Mech. and Found. Eng. ASCE* 98: SM4: 381-397. See Discussion at 98: SM12: 1422-1423.
- Seed H. Bolton; Booker, John R. 1977 Stabilization of Potentially Liquefiable Sand Deposits using Gravel Drains. *Journ. Geot. Eng. Div. ASCE*, 103: GT7: 757-768. Discussion April 1978 516-517. Closure December p. 1522.
- Seed, H.; Arango I; Chan, C.K.; Gómez Massó, A. and Ascoli, R.G. 1981. Earthquake induced Liquefaction near Lake Amatitlan, Guatemala. *Journ. Geot. Eng. Div. ASCE*, 107: GT4: 501-518.
- Seed, H. Bolton, Tokimatsu, K., Harder, L.F. and Chung, R.M. 1985. Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluation. *Journ. Geotech. Eng. ASCE*, 111: 12: 1425-1445.
- Service d'études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA); Laboratoire Central des Ports et Chaussées (LCPC) 1976 *Recommandation pour les terrassements routiers* - Paris.
- Sherard, J.L., Dunningan, L.P.; Talbot, J.R. 1984 Basic Properties of Sand and Gravel Filters. *Journal Geotech. Eng. ASCE* 110: GT6: 684-700. Filters for Silts and Clays. *Journal Geotech. Eng. ASCE* 110: GT6: 701-718. See Discussion at 111: 12: 1467-1472.
- Shu, Frankheim C. 1986 On the regional classification of special soils of China and their engineering characteristics. 5th Conf. AIGE - Buenos Aires. Theme 3.
- Silveira, A. 1965 An Analysis of the problem of washing through protective filters. 6th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. Montreal 2: 551-555.
- Silveira, A.; Peixoto Jr, T.L. 1975 On permeability of granular soils. 5th Pan. Conf. Soil mech. and Found. Eng. Buenos Aires. 3: 149-154.
- Smith, D.M.A 1985 A material characterisation study of lateritised pallid zone soils, near Worsley, Western Australia. 11th ICSMFE - S. Francisco. 2: 663-667.
- Sokolovich V.E. and Gubkin, V.A. 1970 Gaseous Silicification of Loessial Ground (in Russian). *Osnovaniya, Fundamenty i Mekhanika Gruntov*, 5: 26-28.
- Sokolovich V.E. 1971 New Developments in the Chemical Strengthening of Ground. *Osnovaniya, Fundamenty i Mekhanika Gruntov*, 2: 23-25.
- Sowers G.F. 1963 Engineering properties of residual soils derived from igneous and metamorphic rocks. 2nd Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Eng. Brazil. 1: 39-62.
- Stefanoff, G. 1961 Méthode rapide pour la détermination de l'affaissement des sols de loess. 5th ICSMFE - Paris. 1: 795-797.
- Stefanoff, G., Jellev, J., Tsankova, N., Karchorov, P. and Slavov, P. 1983 Stress and strain state of a cement-loess cushion. 8th ECSMFE - Helsinki 2: 811-816.
- Stoilov, K.G. 1975 Origin of the properties of the loess formation in the Misian Platform. *Bull. IAEG*, 11: 51-54.
- Sully, J.P., Rajani, B.B., Pfano, I.A. 1985 Tank bottom plate movement due to freeze and thaw of foundation soils. 11th ICSMFE, S. Francisco 4: 2259-2264.
- Symes, M.J., Shibuya, S., Hight, D.W., Gens, A. 1985 Liquefaction with cyclic principal stress rotation. 11th ICSMFE, S. Francisco. 4: 1919-1922.
- Taylor, Donald W. 1948 *Fundamentals of Soil Mechanics*, Wiley, New York.
- Terzaghi, K. 1922 *Der Grundbruch an Stauwerken und seine Verhütung*. *Wasserkraft* 17: 445-449.
- Terzaghi, K. 1956 Varieties of Submarine Slope Failures. 8th Texas Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. Austin pp 1-12.
- Terzaghi, K. 1958 Design and performance of the Sasumua Dam. *Proc. Instn. Civil Eng.* 9: 369-393.
- Thomas, H.R. 1985 Modelling Two-Dimensional heat and moisture transfer in unsaturated soils, including gravity effects. *Int. Journ. Numerical and Analyt. Meth. in Geomechanics*, 9: 573-588.
- Thompson, C. David and Thompson, D. Elliot 1985 Real and Apparent Relaxation of Driven Piles. *Journ. of Geotech. Eng. ASCE*, 111: 2: 225-237.
- Torstensson, B.A. 1975 Pore pressure Sounding Instrument. Discussion Session I Proc ASCE Spec. Conf. on In Situ measurement of soil properties, Raleigh, North Carolina 2: 48.
- Torstensson, B.A. 1982 A combined pore pressure and point resistance probe. *Proc. ESOP II - Amsterdam*.
- Tropical's 85 Proceedings of the First International Conference on Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic Soils - Brasilia 1985. 4 vol. Ed. by Brazilian Soc. Soil Mech. Sao Paulo.
- Tuncer, R.E. and Lohnes, R.A. 1977 An Engineering Classification of Certain Basalt-derived Lateritic soils. *Engng. Geology*, 11: 319-339.
- Turnbull, W.J. 1948 Utility of loess as a construction material. 2nd ICSMFE Rotterdam. 5: IVd: 97-103.
- Uriel, Santiago 1980 Chapter 18 of the book "Geotecnia y Cimientos", Vol. 3 pp. 1662-1664. Ed. Rueda - Madrid.
- Uriel, Santiago 1982 Le phénomène d'affaissement dans les roches volcaniques a forte porosité. *Rev. Française de Géotechnique*, 20: 65-77.
- Uriel, S. and Bravo, S. 1970 Brittle and plastic failure of rocks. 2nd Conf. ISRM - Beograd.
- Uriel, S. and Serrano, A. 1973 Geotechnical properties of two collapsible soils of low bulk density at the site of two dams in Canary Island. 8th ICSMFE - Moscow. 2.2: 1: 257-264.
- Vaid, Y.P.; Chern, J.C. 1983 Effect of Static Shear on Resistance to Liquefaction. *Soils and Foundations*, 23: 1: 47-60.
- Valera, J.E. and Donovan, N.C. 1976 Comparison of Methods for Liquefaction Evaluation. *Liquefaction Problems in Geotechnical Eng. ASCE National Conv.* pp. 359-388.

- Van Leussen, W. and Nieuwenhuis, J.D. 1984 Soil Mechanics aspects of Dredging. *Géotechnique*, 34: 3: 359-382.
- Varga, L. 1965 The compressibility of Loess Soils. 6th ICSMFE - Montreal. 1: 395-397.
- Vargas, M. 1963 some engineering properties of residual clay soils occurring in southern Brazil. 3rd ICSMFE, Zurich. 1: 67-71.
- Vargas, M. 1973 Structurally Unstable Soils in Southern Brazil. 8th ICSMFE Moscow. 2: 239-246.
- Vargas, M. 1974 Engineering Properties of residual Soils from South Central Region of Brazil. 2nd Conf. IAEG -Sao Paulo. 1: IV: PC-5: 1-26.
- Vaughan, P.R. 1985 Mechanical and Hydraulic Properties of Tropical, Lateritic and Saprolitic Soils, Particularly as related to their structure and mineral components - General Report. *Tropical's* 85. 3: 231-263.
- Vaughan, P.R.; Soares, H.F. 1982 Design of Filters for Clay Cores of Dams. *Journal Geotech. Eng. Div. ASCE*, 108: GT1: 17-31. See also Discussion 109: 9: 1191-1201.
- Vaughan, P.R. and Kwan, C.W. 1984 Weathering, Structure and In Situ Stress in Residual Soils. *Géotechnique* 34: 1: 43-59.
- Villegas, Fabio 1985 Oral contribution to "Peculiarities of "in situ" behaviour of Tropical, lateritic and saprolitic soils in their natural condition: Dam foundations". *Tropical's* 85 4: 127-131.
- Voilan, Z.P. 1985 Miscellaneous aspects of Guri soils as foundation materials. *Tropical's* 2: 165-171.
- Wallace, K.B. 1973 Structural behaviour of residual soils of continually wet highlands of Papua, New Guinea. *Géotechnique*, 23: 203-218.
- Wesley, L.D. 1973 Some basic engineering properties of halloysite and allophane clays in Java, Indonesia. *Géotechnique*, 23: 4: 471-494.
- Wesley, L.D. 1977 Shear strength properties of halloysite and allophane clays in Java, Indonesia. *Géotechnique* 27: 2: 125-136.
- Yamada, Y. and Ishihara, K. 1979 Anisotropic deformation characteristics of sand under three dimensional stress conditions. *Soils and Foundations*, 19: 2: 79-94.
- Yamanouchi, T. 1981 "Soft cohesive soil embankment using quicklime and filter fabric" - Panel discussion, Session 12, 10th Int. Conf. Soil Mech. and Foundation Eng. Stockholm. 4: 943-946.
- Yegian, Mishac K.; Whitman, Robert V. 1978 Risk Analysis of Ground Failure by Liquefaction. *Journal Geot. Eng. ASCE*, 104: GT7: 921-938.
- Youd, T.L. and Bennet, J.I. 1983 Liquefaction Sites, Imperial Valley, California. *Journ. Geot. Eng. Div. ASCE*, 109: 3: 234-243.
- Whitman, Robert V. 1985 On liquefaction. 11th ICSMFE, S. Francisco. 4: 1923-1926.
- Whitman, L. 1979 The Process of Soil Filtration-its physics and the approach in Engineering Practice. 7th ECSMFE-Brighton. 1: 303-310.
- Yoshimi, Y. and Kuwabara, F. 1973 Effect of subsurface liquefaction on the strength of surface soil. *Soils and Foundations* 13: 2: 68-81.
- Yoshimi, Y. and Tokimatsu, K. 1977 Settlement of Buildings on Saturated Sand during Earthquakes. *Soils and Foundations* 17: 1: 23-38.
- Yoshimi, Y. Tokimatsu, K. 1983 "SPT Practice Survey and Comparative Tests". *Soils and Foundations* 23: 3: 105-111.
- Yoshimi, Y. Richard, F.E. Prakash, S., Barkhan, D.D. and Rychev, V.A. 1977. Soil Dynamics and its Applications to Foundations Engineering-State-of-the Art Report. 9th ICSMFE - Tokyo. 2: 605-660.
- Youd, T. Leslie 1972 Compaction of sands by repeated shear straining. *Journ. Soil Mech. and Found. Eng. ASCE* 98: SM7: 709-725.
- Youd, T. Leslie; Perkins, David M. 1978 Mapping Liquefaction - Induced Ground Failure Potential. *Journ. Geot. Eng. ASCE*, 104: GT4: 433-446.
- Zaltsberg, E. 1983 Ground water balance in the wet zone of the USSR. *Can. Geot. Journal*, 20: 4: 563-569.
- Zen, K., Umehara, Y., Ohneda, H. 1985 Evaluation of drainage effect in sand liquefaction. 11th ICSMFE, S. Francisco. 4: 1931-1934.
- Zhou, S.G. 1980 Evaluation of the liquefaction of sand by Static Cone Penetration test. *Proc. 7th WCEE Vol. 3 -Istanbul*.
- Zhou, S.G. 1981 Influence of Fines on Evaluating Liquefaction of Sand by CPT. *Proc. of 1981 Int. Conf. on Recent Advances in Geotech. Earthquake Engineering and Soil Dynamics*. St. Louis. 1: 167-172.
- Zur, A. and Wiseman, G. 1973 A study of Collapse Phenomena of an Undisturbed Loess. 8th ICSMFE - Moscow. 2: 265-269.

LA RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS HISTÓRICOS PARA USOS TURÍSTICOS



LA EXPERIENCIA ESPAÑOLA

LA RECUPERACION DE EDIFICIOS HISTORICOS PARA USOS TURISTICOS

CON ocasión del "Encuentro Iberoamericano de Turismo", celebrado en la República Dominicana, TECNIBERIA ha editado el libro "La Recuperación de Edificios Históricos para Usos Turísticos. La Experiencia Española", cuya dirección, coordinación y maquetación ha sido obra del Arquitecto Antonio de J. Ulled Morino.

El libro se ha editado a todo color, con 159 fotografías distribuidas con acierto en las 207 páginas que componen la obra, que posee una atractiva y excelente encuadernación.

El contenido se estructura en cuatro capítulos que conforman el soporte teórico del libro, mientras que las realizaciones concretas se plasman en nueve ejemplos de edificios históricos recuperados para usos turísticos. El primer capítulo, que sirve de introducción, versa sobre "La Recuperación de Edificios Históricos para Usos Turísticos", donde el autor, D. Antonio de J. Ulled, expone las diferentes tendencias que se han seguido en la recuperación de edificios históricos, y cuál sería el punto de vista de todo buen arquitecto. Los capítulos siguientes se refieren a:

- "El Cambio de Uso en la Recuperación de Edificios Históricos", por D. Félix Cabrero Garrido, es una exposición conceptual de la recuperación de edificios desde la perspectiva arquitectónico-social

con un análisis crítico de las obras expuestas en esta obra.

- "La Gestión Turística en un Edificio Histórico", por D. Antonio Ortiz Estévez, quien pone de manifiesto las ventajas e inconvenientes que encierra poner en explotación edificios antiguos que fueron concebidos para unas funciones diferentes a las que, tras una intervención más o menos acertada, se destinan.

- "La Experiencia Española en los Paradores Nacionales de Turismo", por D. Eduardo Amann Sánchez, que fuera Subdirector General de Arquitectura, y que conoce de forma directa la problemática de recuperar y rehabilitar edificios de nuestro patrimonio histórico. En este capítulo, el autor hace un análisis de la Red de Paradores Nacionales desde su fundación en 1929, pasando por su etapa de mayor expansión (1965-1975), hasta llegar al momento actual en que no hay ningún Parador en construcción y se ha producido una reestructuración con el cierre de aquellos que eran muy deficitarios, o ampliando los que necesitaban más capacidad, haciéndolos más rentables. A continuación, el autor hace un breve resumen, con abundante material gráfico (planos y fotografías), de los Paradores Nacionales de Granada, Zamora, Trujillo, Carmona, Jaén, Fuenterrabía, Oropesa y Cardona.

En relación con los nueve casos prácticos de edificios históricos recuperados, se sigue el siguiente esquema:

- Exposición del arquitecto que realizó la intervención que hizo posible la nueva reutilización del inmueble.
- Breve resumen histórico del edificio desde su construcción, pasando por sus múltiples usos a través de los siglos, hasta llegar al momento actual en que cumplen una función turística.

Estos nueve ejemplos son: Hostal de los Reyes Católicos (Santiago de Compostela), Hostal de San Marcos (León), Hospedería del Monasterio de Santa María de El Paular (Madrid), Parador Nacional de Sigüenza (Guadalajara), Parador Nacional de Almagro (Ciudad Real), Parador Nacional Condestable Dávalos en Ubeda (Jaén), Teatro Museo Dalí de Figueras (Gerona), Museo Picasso (Barcelona) y Villa de Pals (Gerona).

El libro ha sido prologado por D. Ignacio Fuejo, Secretario General de Turismo, y el Presidente de TECNIBERIA, D. José Luis Plaza, hace una breve presentación del mismo.



ABEL FERNANDEZ
Historiador