

BOLETÍN

BOLETIN 50

OCTUBRE 1984

Sociedad
Venezolana
de Mecánica
del Suelo
e Ingeniería de
Fundaciones



Consideraciones técnicas sobre estabilidad de taludes en las colinas del Area Metropolitana de Caracas

Ing. Daniel Salcedo Rodríguez

RESUMEN Este trabajo presenta los aspectos técnicos fundamentales que se consideran en la práctica de la profesión para analizar la estabilidad de taludes naturales y de corte, ubicados en las colinas que circundan el área metropolitana de Caracas. Los taludes se subdividen según el material que los constituye y se analizan, para cada tipo, los criterios más importantes asociados a su estabilidad. En tablas anexas se presenta una recopilación de resultados de ensayos de resistencia al corte, realizados en diferentes litologías por empresas consultoras con sede en Caracas.

I. INTRODUCCION

En este trabajo se revisan los aspectos técnicos más importantes relacionados a la estabilidad de taludes en las colinas del área metropolitana de Caracas. La problemática geotécnica de estas zonas, las causas, tratamientos y la responsabilidad profesional, fueron discutidas por el autor en la ponencia presentada en las Jornadas de Diagnóstico al Area Metropolitana de Caracas. Salcedo (1982).

II. CLASIFICACION DE TALUDES

De acuerdo al material que los constituye, los taludes pueden clasificarse en cinco grupos:

1) Taludes en suelos de relleno

2) Taludes en suelos coluviales

3) Taludes en suelos aluvionales

4) Taludes en rocas poco meteorizadas, duras

5) Taludes en rocas débiles (meteorizadas, blandas, muy fracturadas)

6) Taludes combinados.

No hemos incluido taludes en suelos residuales porque en las Colinas de Caracas los "suelos" propiamente dichos presentan, en general, poco espesor. Aquellos "suelos" con ligeros vestigios de planos de foliación y/o diaclasas, se incluyen bajo taludes en "rocas débiles".

Comparativamente, los suelos residuales han demostrado, en general, tener mejor comportamiento ante la estabilidad que las rocas débiles. De Pries y Pardo Stolk (1972), en base a resultados de ensayos de laboratorio y mediciones con inclinómetros, concluyen que la roca descompuesta y el "suelo" residual con marcada textura de la roca original, presentan menor resistencia drenada que el suelo más superficial.

III. CONSIDERACIONES TECNICAS

III.1 Taludes de rellenos

III.1.1 General

La mayoría de los rellenos que se realizan en los desarrollos urbanos en las colinas de Caracas provienen de banqueros en rocas metamórficas tales como esquistos, filitas, metareniscas y gneises, con variados grados meteorización. En general se puede decir que la desintegración de gneises, metareniscas y esquistos cuarzo-calcáreos originan suelos de carácter arenoso, mientras que las filitas y esquistos micáceos originan suelos predominantemente limosos. Los gneises y metareniscas producen suelos de granos individuales relativamente más homogéneos, mientras que los esquistos micáceos y filitas originan suelos con abundantes partículas laminares, alargadas, que por su fragilidad son fácilmente degradables durante el proceso de compactación.

III.1.2 Resistencia al corte

La selección de los parámetros de resistencia al corte que se utilizarán en los análisis de estabilidad constituye la tarea más importante en la etapa de diseño. El procedimiento normal consiste en tomar muestras del material de préstamo a utilizar y mediante ensayos de compactación AASHO T-180 determinar su densidad máxima y humedad óptima. Definidos estos valores, se preparan en el laboratorio probetas

compactadas a una densidad mínima del 95% de la densidad seca máxima y una humedad en un rango de $\pm 2\%$ de la humedad óptima. Dependiendo del caso específico en estudio, es conveniente en lugar de establecer un grado mínimo de compactación, determinar las relaciones entre densidad y humedad de compactación con respecto a otras propiedades tales como resistencia, compresibilidad y/o permeabilidad. Estas relaciones permiten la correcta definición de las densidades y humedades que se utilizarán para el control de la compactación. Extremo cuidado debe tenerse en la definición de la humedad de compactación en los suelos finos puesto que pequeñas variaciones en los porcentajes de humedad, se manifiestan en variaciones importantes en la envolvente de rotura de acuerdo a la teoría de Mohr-Coulomb.

Las probetas así preparadas son por lo general sometidas a ensayos de compresión triaxial. El tipo de ensayo más utilizado es el consolidado isotrópico sin drenar con medida de presión de poros (CIU_p) lo cual parte de la premisa de un relleno saturado sometido a corte en forma rápida, sin tiempo para que se disipen las presiones de poros. Bajo estas condiciones la mayoría de los suelos provenientes de excavaciones en rocas metamórficas meteorizadas, arrojan valores de cohesión muy bajos o nulos y ángulos de fricción efectivos por lo general menores de 30° . En este sentido, es evidente que los taludes estables para dichos rellenos no podrán tener, en general, pendientes superiores a 2:1 (H:V).

Si se considera que el relleno no tendrá posibilidades de humedecimiento adicional y saturación por las condiciones climáticas e hidráulicas de la zona, así como por la construcción de eficientes sistemas de drenajes y subdrenajes, la determinación de los parámetros de resistencia al corte se puede realizar mediante ensayos de compresión triaxial sin

consolidar y sin drenar (UU) en muestras compactadas parcialmente saturadas; estos ensayos dan como resultado cohesiones significativas que si se utilizan en el diseño de taludes en rellenos, pueden resultar pendientes estables superiores a 2:1 (H:V).

La selección de los parámetros de corte queda por lo tanto a juicio del ingeniero para cada caso particular. Bishop and Henkel (1957), Bishop and Bjerrum (1960), Lowe (1966), Sherard et al (1967), Anagnosti (1979), constituyen valiosas referencias de este tópico.

En la Tabla I, anexa, se muestran algunos resultados de ensayos triaxiales y de corte directo ejecutados en materiales compactados, provenientes de cortes realizados en rocas metamórficas meteorizadas a descompuestas.

En resumen, previo el análisis de estabilidad que respaldará el diseño se requiere información referente a:

- a) Estratigrafía del subsuelo
- b) Condiciones de agua subterránea
- c) Predicción de infiltración de aguas
- d) Características de compactación del relleno
- e) Resistencia al corte del suelo o roca in situ
- f) Resistencia al corte del relleno

III.1.3 Aspectos constructivos y de control

En vista del importante papel que representan los aspectos constructivos en el comportamiento futuro de un relleno, es imprescindible que el ingeniero geotécnico plantee en sus informes una serie de especificaciones que son evidentes para la mayoría de los

profesionales que trabajan en este campo, pero no así para los ingenieros responsables de ejecutar el proyecto. En este sentido, es preciso indicar típicas recomendaciones tales como la remoción de la capa vegetal, la escarificación de zonas blandas y/o saturadas, el escalonamiento efectivo del suelo in situ antes de la colocación del relleno, la colocación de materiales granulares debidamente diseñados, así como recomendaciones de drenajes y subdrenajes, en los casos necesarios. Es conveniente además que se recomiende el o los equipo(s) de compactación más adecuados para el material de préstamo seleccionado y la necesidad de que se realicen pruebas de campo a escala natural para definir los espesores de capas permisibles y el número de pasadas requeridos para respetar los patrones de control de calidad que deberá cumplir el proceso de compactación.

III.2 Taludes en suelos coluviales

Los suelos coluviales cuyo principal agente de transporte es la gravedad, se encuentran formando por lo general depósitos de piedemonte tales como en ciertas zonas al pie de la Cota Mil o en las zonas bajas de las colinas al sur de Caracas; pueden estar presente en distintos niveles dependiendo de la historia geológica del área. La determinación del origen coluvial de un suelo es de suma importancia, pues normalmente se encuentran en equilibrio muy precario y presentan flujos de agua subterránea o agua atrapada. Por esta razón, cualquier corte, por pequeño que sea, puede originar movimientos de grandes masas de coluvio. El ingeniero geotécnico debe estar alerta porque independientemente del resultado de los análisis de estabilidad, el origen de los suelos coluviales ya prácticamente define problemas de estabilidad en taludes de corte. De acuerdo a estas premisas, se debe evitar en lo posible taludes de

corte en estos materiales, y si es realmente necesario, deberá considerarse la factibilidad técnico-económica de removerlos completamente, o puentear el sitio mediante estructuras en el caso de obras de vialidad. De lo contrario, requieren estudios detallados que de todas formas, en la mayoría de los casos, conducen a taludes de corte con pendientes muy bajas con sobreanchos considerables, y el diseño y construcción de obras costosas de drenaje y subdrenajes.

III.3 Taludes en suelos aluviales

A excepción de zonas donde existen quebradas importantes, los suelos aluviales en las colinas alrededor de Caracas son de poco espesor y de origen reciente. Se conoce que en el Valle de Caracas tienen espesores hasta del orden de 300 mts. sobre la roca in situ. Los taludes más importantes en suelos aluviales se realizan en el Valle en excavaciones para sótanos de edificios y para las actuales obras del Metro de Caracas. A pesar de que en muchas áreas son muy erráticos, su disposición en estratos sub-horizontales le imprime una mejor estabilidad y en muchos casos soportan taludes verticales con alturas superiores a las calculadas por la expresión que define la altura crítica. En todo caso se trata de suelos que ameritan estudios convencionales de estabilidad pero que relativamente pueden considerarse menos problemáticos que los suelos coluviales.

Un caso muy particular de suelos aluviales inestables lo constituye los ocasionales conos de deyección que pueden estar mezclados o no con suelos coluviales, depositándose en las partes bajas de las quebradas en forma típica de cono o abanico. Estos conos pueden ser activos o susceptibles a activarse, siendo en estos casos descartables para desarrollos urbanos u obras de ingeniería que no permiten por su importancia deformaciones y daños.

III.4 Taludes en rocas poco meteorizadas, duras.

III.4.1 General

Bajo esta clasificación se agrupan los taludes naturales o de corte en macizos rocosos donde la roca intacta presenta una resistencia al corte muy superior a la resistencia al corte a lo largo de discontinuidades.

En estos casos, a bajos niveles de esfuerzos, el modo de deslizamiento está controlado por la orientación de las discontinuidades en las rocas tales como foliación y/o diaclasas. Típicos afloramientos de esta clase de macizos rocosos en las colinas alrededor de Caracas, se encuentran en esquistos cuarzosos en La Yaguara, en gneises y anfibolitas en la zona Este de la Cota Mil, esquistos cuarzo calcáreos en áreas de Santa Mónica y zonas de calizas en Lomas de Prados del Este, El Peñón y el área de canteras al Sureste de Caracas.

III.4.2 Resistencia al corte

Antes de proceder a la determinación de los parámetros de resistencia al corte en las diferentes discontinuidades, es preciso identificar previamente los posibles modos de deslizamiento. Una vez hecho esto, el muestreo debe incluir los planos de discontinuidad involucrados, lo cual se puede lograr mediante muestreos cuidadosos a mano o mediante perforaciones a rotación con diámetro mínimo NX.

El ensayo más utilizado en laboratorio es el de corte directo, existiendo en el mercado variedad de equipos desde el más simple hasta el más sofisticado. Igualmente se pueden realizar ensayos de corte en sitio.

El objetivo de este trabajo no es presentar una discusión detallada de la resistencia al corte en discontinuidades, sin embargo, se consideró conveniente esta oportu-

tunidad para destacar los siguientes factores:

a) La rugosidad en las discontinuidades es un aporte significativo a la resistencia al corte. A bajos esfuerzos normales la resistencia al corte en discontinuidades abiertas viene dada por $\tau = \sigma_n \tan(\phi_u + i)$ donde σ_n es el esfuerzo normal, ϕ_u = ángulo de fricción último, i = ángulo de rugosidad. A esfuerzos normales altos no ocurre dilatación a lo largo de las discontinuidades abiertas y por el contrario ocurren roturas en las asperezas de roca intacta, siendo la resistencia al corte $\tau = c + \sigma_n \tan \phi$, donde c es la cohesión. Patton (1966).

Otros criterios de falla en discontinuidades abiertas han sido publicados por Ladanyi y Archambault (1970) y Barton (1973 y 1977).

b) Las ondulaciones típicas de las rocas metamórficas deben ser cuidadosamente levantadas en campo porque representan, a la escala de campo, aportes adicionales a la resistencia al corte. La forma de medir, tanto las rugosidades como las ondulaciones, se explican en procedimientos publicados por la ISRM (1981).

c) Es preciso diferenciar entre discontinuidades "abiertas" y discontinuidades "cerradas". Las diaclasas son por lo general "abiertas" mientras que la foliación es una discontinuidad que en general se presenta semicerrada y su mecanismo de rotura es diferente al mecanismo sugerido por las teorías publicadas para discontinuidades abiertas. Estos razonamientos han sido discutidos por Tinoco y

Salcedo (1981), y Salcedo (1982).

d) La selección de la resistencia pico, residual, o intermedia para los análisis de estabilidad queda a juicio del ingeniero geotécnico. Resultados provenientes de análisis regresivos en tres taludes fallados, sugiere que para el caso de fallas por foliación, la resistencia pico abierta puede considerarse como una envolvente límite inferior. Para estos casos la teoría de resistencia-desplazamiento debe ser considerada como posible mecanismo de rotura. Tinoco y Salcedo (1982).

En la Tabla II se presenta una recopilación de ángulos de fricción última en ensayos realizados por varias oficinas consultoras en Caracas. Los resultados de "INGEOTEC" fueron obtenidos mediante ensayos en un equipo de corte directo fabricado por Robertson Research Laboratory, descrito por Ross-Brown y Walton (1975). El equipo tiene una capacidad de 5000 Kgs y se puede ensayar muestras con área máxima de 143.75 cm², lo que resulta en un esfuerzo normal máximo de 35 Kg/cm².

Los resultados proporcionados por la empresa "Estudios Geotécnicos" provienen de ensayos en un equipo de corte directo diseñado en Venezuela y de fabricación Suiza, con una capacidad de 2.5 tons y área máxima de muestra de 65 cm².

El equipo de corte directo utilizado por "Geotécnica de Venezuela" es una cámara desarrollada en Venezuela de acuerdo a Protodyakonov (1961).

III.4.3 Análisis de estabilidad

Debido a que el modo de deslizamiento está controlado por la orientación de las discontinuidades

des, se requiere de levantamientos geológicos detallados para definir la distribución espacial de los planos que se utilizarán en los análisis.

Lo primero que se realiza es una evaluación cinemática tridimensional que define los modos potenciales de deslizamiento. Este procedimiento permite identificar fallas planares, fallas cuneiformes y/o falla por volcamientos.

Las fallas planares pueden ser analizadas además, en forma bidimensional mediante procedimientos analíticos tales como los sugeridos por Barton (1971), Jennings (1972), Hoek y Bray (1974), y Kovari y Fritz (1977).

Las fallas de cuña pueden ser calculadas bien mediante análisis vectoriales, Hendron et al (1971), o mediante análisis tridimensionales que utilizan las proyecciones hemisféricas, John (1968), Londe (1969 y 1970), Hoek y Bray (1974), Goodman (1976), Perri (1978), Salcedo (1978 y 1981).

El uso de estas técnicas aplicadas a las rocas metamórficas que constituyen las colinas que circundan el Valle de Caracas, ha sido tratado por Salcedo (1978), y Salcedo y Perri (1982).

Un método novedoso para el análisis tridimensional de taludes ha sido propuesto por Goodman y Shi (1981) y aplicado en Venezuela a la evaluación de la estabilidad de un túnel por Salcedo (1982).

III.5 Taludes en rocas débiles

III.5.1 General

Bajo el término "rocas débiles" se agrupan las rocas meteorizadas a descompuestas, rocas blandas y muy fracturadas. En general tienen un comportamiento frontera entre roca y suelo, por lo que es difícil una predicción precisa de su comportamiento. Son las rocas más comunes en los afloramientos

existentes en las colinas alrededor de Caracas, encontrándose típicamente en áreas urbanizadas como Los Naranjos, Las Esmeraldas, Alto Prado, Santa Paula y La Lagunita.

III.5.2 Resistencia al corte

Debido al avanzado grado de meteorización, en estos casos la resistencia de la roca intacta no es necesariamente superior a la resistencia a lo largo de las discontinuidades. Por lo tanto, es recomendable que cualquier análisis de estabilidad contemple la posibilidad de rotura de la roca intacta, lo cual puede ser estudiado mediante ensayos de corte directo, oblicuos y/o perpendiculares a los planos de discontinuidad.

Varios ensayos de corte, realizados en nuestra oficina, oblicuos a los planos de foliación de filitas y esquistos, reflejan resistencias pico altas, sin embargo, los resultados sugieren que la resistencia última es aproximadamente la misma que la obtenida en otras direcciones. El limitado número de ensayos ejecutados hasta la fecha no permite afirmar la certeza de la tendencia observada.

Las consideraciones indicadas para la resistencia al corte de discontinuidades en rocas duras, son en términos generales válidas para las discontinuidades en rocas débiles. El autor considera, sin embargo, que el mecanismo de rotura pudiera incluir rotura de la roca intacta durante el corte aún a esfuerzos normales bajos, lo cual origina una superficie de corte escalonada que le imparte una resistencia adicional, independiente del aporte de la rugosidad original.

En vista del comportamiento difícilmente predecible de las rocas débiles, la obtención y recopilación de información de deslizamientos ocurridos y el análisis de estabilidad regresivo (back

analysis) de los mismos, permite aproximarse a la definición de los parámetros de corte que se pueden utilizar en diseño. Sancio (1981), se refiere a estos procedimientos aplicados a rocas meteorizadas.

La selección de parámetros de diseño en rocas débiles, ha sido considerada por Meigh (1979) en la séptima Conferencia Europea de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. El primer Symposium Internacional que trató sobre rocas débiles, fue realizado en septiembre de 1981 en Tokyo, Japón.

En la Tabla III, anexa, se presentan resultados de ensayos de resistencia al corte ejecutados en muestras imperturbadas de esquistos y filitas meteorizadas a descompuestos, así como resultados de ensayos de corte en sitio. Una de las tareas más difíciles en estos materiales, es la obtención de muestras imperturbadas y posterior tallado en el laboratorio, ya que normalmente se fracturan según los planos de esquistosidad. Por esta razón en ocasiones se realizan ensayos de corte en probetas SPT con aparente poca perturbación. La Tabla IV presenta resultados de ensayos de corte en probetas perturbadas mediante muestreo con cuchara partida y uso de ensayo de penetración standard.

III.5.3 Análisis de estabilidad

Se considera que es un criterio razonable ejecutar los análisis de estabilidad en rocas débiles partiendo en primer lugar de la hipótesis de que su comportamiento será similar a un suelo donde se desarrollan superficies de rotura en forma de arco circular, independiente de la orientación de las discontinuidades. Asimismo, se deben realizar análisis tridimensionales tomando en cuenta la orientación de los planos de discontinuidad. El resultado más desfavorable de ambos análisis deberá privar con fines de

diseño. Es conveniente destacar que aún en suelos residuales con solo ligeros vestigios de planos de foliación y diaclasas, se han observado superficies de roturas cuya geometría está controlada por la orientación espacial de dichos planos. En los análisis de rocas débiles las observaciones de campo tienen extraordinaria importancia, puesto que existen una serie de factores geológicos que difícilmente pueden ser incluidos en un análisis de estabilidad pero que pueden inclinar la balanza hacia la estabilidad o inestabilidad de un talud.

Sancio (1979), presenta en su tesis doctoral un procedimiento de análisis de estabilidad de taludes en rocas meteorizadas. Un resumen de este procedimiento es presentado por Sancio y Goodman (1979).

III.6 Taludes combinados

En la práctica de la profesión cuando se estudian problemas de estabilidad en las colinas del área metropolitana, es común conseguir situaciones donde los taludes no están constituidos por un solo material, sino que tienen, por ejemplo, rocas poco meteorizadas duras en su parte inferior y rocas débiles o suelos residuales en su parte superior. Asimismo, es frecuente encontrar masas de relleno descansando sobre taludes naturales o de corte, constituidos por rocas metamórficas con variados grados de meteorización. En este sentido, es evidente que la práctica profesional idónea exige que además de estudiar la estabilidad de cada uno de los materiales independientemente, se analice la estabilidad del conjunto antes y después de construída cualquier obra proyectada. Las superficies de rotura por lo tanto podrán ser de diferentes formas y combinaciones según el caso. Salcedo y Tinoco (1983), analizan para un talud combinado relleno-roca meteorizada en sitio, la influencia de los diferentes factores en la ocu-

rrencia de un deslizamiento.

IV. CONCLUSIONES

De acuerdo a los aspectos considerados para cada tipo de talud, se puede concluir, que:

IV.1 En base al estado actual de conocimientos, los taludes en relleno pueden ser analizados por métodos convencionales de mecánica de suelos que han demostrado ser satisfactorios y confiables. En estos casos el factor principal lo constituye la obtención y selección de los parámetros de resistencia al corte, los cuales dependerán de la hipótesis que se plantee el Ingeniero en base a las condiciones del sitio.

IV.2 Por su origen y naturaleza se considera que los taludes en suelos coluviales, están en la mayoría de los casos asociados a problemas graves de estabilidad. Por ello los resultados de un análisis de estabilidad deben ser vistos con extrema cautela. A excepción de zonas localizadas de suelos blandos, los taludes en suelos aluviales del Valle de Caracas tienen un mejor comportamiento relativo ante la estabilidad, y las predicciones hechas por los métodos convencionales son satisfactorias y en casos muy conservadoras.

IV.3 Existen en la actualidad técnicas apropiadas para predecir el comportamiento de taludes en macizos rocosos poco meteorizados duros. Estos métodos deben ser utilizados en aquellas rocas de las colinas de Caracas donde la resistencia de la roca intacta es muy superior a la resistencia al corte en las discontinuidades y su modo de deslizamiento está controlado por la orientación de éstas.

IV.4 La predicción del comportamiento de taludes en rocas débiles requiere todavía de mayor experiencia y de programas especiales de investigación. Es recomendable analizarlos como suelos,

y como rocas donde el mecanismo de rotura es controlado por la orientación de discontinuidades, evaluar detalladamente los resultados y observaciones de campo, y seleccionar, en ausencia de información confiable, la solución más conservadora.

RECONOCIMIENTOS

El autor agradece a los Ingenieros Luis Galavís, Leopoldo García, Jorge Martínez, Gustavo y Bernardo Pérez Guerra, Pedro Carrillo, Rodolfo Sancio, J. C. Hiedra López, Jaime Graterol y Franco Lupini, y a la Empresa INGEOTEC por suministrar amablemente los resultados de ensayos de resistencia al corte incluidos en las Tablas anexas.

A N E X O

1. TABLA I: Parámetros de resistencia al corte obtenidos de probetas compactadas en laboratorio, con materiales provenientes de rocas metamórficas. Caracas.
2. TABLA II: Ensayos de corte directo. Angulos de fricción última obtenidos a lo largo de planos de foliación en rocas metamórficas. Caracas.
3. TABLA III: Parámetros de resistencia al corte en muestras imperturbadas de rocas metamórficas débiles. Caracas.
4. TABLA IV: Parámetros de resistencia al corte obtenidos en muestras de rocas débiles perturbadas tomadas a percusión (SPT). Caracas.

NOTA GENERAL

El objetivo de presentar estas Tablas es proporcionar una información global del rango de parámetros de resistencia al corte y en ningún caso deberán ser utili-

zadas con fines de diseño definitivo, descartando la realización de ensayos. La variabilidad en el contenido mineralógico y estados de meteorización de las rocas metamórficas que circundan el Valle de Caracas, exige la ejecución de ensayos para cada caso específico.

V. REFERENCIAS

- ANAGNOSTI, P. (1979)
"Design parameters for fill".
Proc. of the Seventh European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. England. Vol. 5. pp. 159-169.
- BARTON, NICHOLAS (1971)
Progressive failure of excavated rock slopes". Proc. 13th Symposium on Rock Mechanics. ASCE. pp. 139-170.
- BARTON, NICHOLAS (1973)
Review of a new shear criterion for rock joints. Engineering Geology. 7 pp. 287-332.
- BARTON N. y CHOUBEY, V. (1977)
"The shear strength of rock joints in theory and practice". Rock Mechanics, 10, pp. 1-54.
- BISHOP, A.W. (1955)
The use of the slip circle in the stability analysis of slopes". Geotechnique. Vol. V. N° 1, pp. 7-17.
- BISHOP, A.W. y BJERRUM, L. (1960)
"The relevance of the triaxial test to the solution of stability problems". Proc. of ASCE Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soils. Boulder, Colorado. pp. 437-501.
- BISHOP, A.W. y HENKEL, D.J. (1957)
The measurement of soil properties in the triaxial test. London. Edward Arnold. LTD.
- DE FRIES, K. y PARDO, E. (1972)
"Grandes rellenos fundados sobre suelos residuales". Boletín SVMSIF. N° 38. pp. 13-21.
- GOODMAN, R.E. (1976)
Methods of Geological Engineering in Discontinuous Rock. West Publishing Company. St. Paul. Minn. p. 472.
- HENDRON, A.J. et al (1971)
"Analytical and graphical methods for the analysis of slopes in rock masses". N.C.C. Technical Report. N° 36. pp. 148.
- HOEK, E. y BRAY, J. (1974)
"Rock Slope Engineering". Institution of Mining and Metallurgy. London. p. 309.
- I.S.R.M. (1981)
Rock Characterization. Testing and Monitoring. Suggested Methods. E.T. Brown. Pergamon Press.
- JANBU, N. (1972)
"Slope stability computations". Embankment-Dam Engineering, Casagrande Volume. John Wiley. pp. 47-86.
- JANBU, N. (1954)
"Application of composite slip surface for stability analysis". European Conference on Stability of Earth Slopes. Stockholm.
- JENNINGS, J. (1972)
"An approach to the stability of rock slopes based on the theory of limiting equilibrium with a material exhibiting anisotropic shear strength". Proc. 13th Symposium on Rock Mechanics. ASCE. pp. 269-302.
- JOHN, K.W. (1968)
"Graphical stability analysis of slopes in jointed rock". Proc. Journal of Soil Mechanics and Foundation Division. ASCE. Vol. 94 SM2.
- KOVARI, K. y FRITZ, P. (1975)
"Stability analysis of rock

- slopes for plane and wedge failure with the aid of a programmable pocket calculator". Proc. 16th Symposium in Rock Mechanics. ASCE. Minneapolis. U.S.A. pp. 25-34.
- LADANYI, D. y ARCHAMBAULT, G. (1970)
"Simulation of the shear behavior of a jointed rock mass". Proc. 11th Symposium on Rock Mechanics. pp. 105-125.
- LONDE, P. et al (1969)
"The stability of rock slopes: a three dimensional study". Journal of Soil Mechanics and Foundation Division. ASCE. Vol 95. SMI. pp. 235-262.
- LONDE, P. et al (1970)
"Stability of slopes: graphical methods". Journal of Soil Mechanics and Foundations Division. ASCE. Vol. 96. SM4. pp. 1411-1434.
- LOWE III, JOHN (1966)
"Stability analysis of embankments" Stability and performance of slopes and embankments. ASCE. Berkeley, California.
- MEIGH, A.C. (1979)
Design parameters for weak rocks". Proc. of the Seventh European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. England. Vol. 5. pp. 59-79.
- MORGENSTERN, N.R. y PRICE, V. (1965)
"The analysis of the stability of general slip surfaces". Geotechnique. Vol. 15. N° 1. pp. 77-93.
- PATTON, F. (1966)
Multiples modes of shear failure in rock". Proc. 1st. ISRM Congress. Lisbon. Vol. I. pp. 509-513.
- PECK, R. (1966)
"Stability of natural slopes". Stability and performance of slopes and embankments. ASCE. Berkeley, California.
- PERRI, G. (1978)
"La cohesión en el análisis estereográfico de estabilidad de taludes". Boletín SVMSIF. N° 48. pp. 28-33.
- PROTODYAKONOV, M. (1961)
Methods of studying the strength of rocks, used in the U.S.R.R." Int. Symp. on Mining Research. Vol. 2. Univ. of Missouri. Pergamon Press.
- ROSS-BROWN, D. y WALTON, G. (1975)
A portable shear box for testing rock joints". Rock Mechanics. Vol. 7. N° 3. pp. 129-153.
- SALCEDO, D. (1978)
El uso de las proyecciones hemisféricas como técnica de predicción y análisis de problemas relativos a estabilidad de taludes en macizos rocosos. Trabajo de ascenso a Profesor Agregado. U.C.V. p. 78.
- SALCEDO, D. (1981)
Taludes en macizos rocosos. Metodologías de trabajo con las proyecciones hemisféricas". Boletín GEOMECC N° 6. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, U.C.V.
- SALCEDO, D. y PERRI, G. (1982)
Taludes en macizos rocosos. Aplicación de los métodos de las proyecciones hemisféricas a las rocas que constituyen las colinas alrededor de Caracas". Boletín GEOMECC N° 8. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, U.C.V.
- SALCEDO, D. (1982)
"Problemática geotécnica de desarrollos urbanos en las colinas del área metropolitana de Caracas". Ponencia presentada ante las Jornadas de Diagnóstico al Area Metro-

- litana. Boletín SVMSIF N° 49. pp. 47-56.
- SALCEDO, D. (1982)
Evaluación de la estabilidad de taludes mediante el método del bloque crítico". Primer Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas. Tomo II. Bogotá, Colombia. XIX pp. 1-50.
- SALCEDO, D. (1982)
Deslizamientos según superficies de foliación y Teorías de discontinuidades abiertas. Simposio Neotectónica, Sismicidad y Riesgo Geológico en Venezuela y el Caribe. Caracas. 23-26 Octubre.
- SALCEDO, D. y TINOCO, F. (1983)
"A rockslide in an urban area: A case history". Proc. 5th International Congress on Rock Mechanics. Melbourne, Australia.
- SANCIO, R. (1981)
The use of back calculations to obtain the shear and tensile strength of weathered rocks". Proc. of the International Symposium on Weak Rock. Tokyo. Vol. 2. pp. 647-652.
- SANCIO, R. (1979)
"Analysis of the stability of slopes in weathered rocks". Phd. Thesis. University of California, Berkeley.
- SANCIO, R. y GOODMAN, R. (1979)
"Analysis of stability of weathered rocks". Proc. 4th International Conference I.S.R.M.
- SHERARD, J. et al (1967)
Earth and Earth-rock Dams. John Wiley and Sons. p. 725.
- SHI, G.H. y GOODMAN, R. (1981)
"A new concept for support of underground and surface excavations in discontinuous rocks based on a keystone principle". Proc. 22nd. Sym. on Rock Mechanics. M.I.T.
- SPENCER, E. (1967)
"A method of analysis of the stability of embankments, assuming parallel inter-slice forces". Geotechnique. Vol. 17. N° 1. pp. 11-26.
- TINOCO, F. y SALCEDO, D. (1981)
"Analysis of slope failures in weathered phyllites". Proc. International Symposium on Weak Rock. Tokyo.
- TURNBULL, N y HVORSLEV, H. (1966)
"Special problems in slope stability". Stability and performance of slopes and embankments. ASCE. Berkeley, California.
- WHITMAN, R. y BAILEY, V. (1966)
"Use of computers for slope analysis". Stability and performance of slopes and embankments. ASCE. Berkeley, California.

TABLA I

PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE OBTENIDOS DE PROJETAS COMPACTADAS EN LABORATORIO EN MATERIALES PROVENIENTES DE CORTES EN ROCAS METAMORFICAS, CARACAS.

LITOLOGIA	LOCALIZACION	TIPO DE ENSAYO	ϕ	c kg/cm ²	REALIZADO POR
Esquisto micáceo	Caricuao	Corte directo a ϕ_{opt} . (9 probetas)	37°	0.25	Ing° L.E.Galavis Ing° L.García I.
Esquisto calcáreo	Caricuao	Corte directo a ϕ_{opt} . (9 probetas)	30°	0.40	Ing° L.E.Galavis Ing° L.García I.
Esquisto calcáreo	Caricuao	Corte directo saturado (15 probetas)	33°	0.30	Ing° L.E.Galavis Ing° L.García I.
Esquisto micáceo	Caricuao	TX - CIUp (15 probetas)	$\phi=31^{\circ}$	c=0.30	Ing° L.E.Galavis Ing° L.García I.
Esquistos cuarzo-micáceos y filitas	Lomas de Prados del Este	Corte directo saturado (7 ensayos)	31±3.8°	0.16±0.15	Ing° L.E.Galavis Ing° L.García I.
Esquistos cuarzo-micáceos y filitas	Lomas de Prados del Este	TX - UU a ϕ_{opt} (9 probetas)	27.7±0.6°	0.62±0.32	Ing° L.E.Galavis Ing° L.García I.
Esquistos cuarzo-micáceos y filitas	Lomas de Prados del Este	TX - CIUp	$\phi=30^{\circ}$	c=0.25	Ing° L.E.Galavis Ing° L.García I.

.../...

T A B L A I

PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE OBTENIDOS DE PROBETAS COMPACTADAS EN LABORATORIO EN MATERIALES PROVENIENTES DE CORTES EN ROCAS METAMORFICAS, CAPACAS.

LITOLOGIA	LOCALIZACION	TIPO DE ENSAYO	ϕ	c Kg/cm ²	REALIZADO POR
Esquistos cuarzo-micáceos descompuestos en arena fina muy arcillosa	IVIC	TX - CIUp	$\phi' = 27^\circ$	0.30	Ingeniería de Suelos S. A., Ing ^o Pérez Guerra
Esquistos cuarzo-calcareos micáceos	Colinas de Bello Monte y Caucajita	TX - UU (17 ensayos)	29°	0.5	Estudios Geotécnicos Ing ^o J. Hiedra L.
Esquistos cuarzo-calcareos micáceos	Colinas de Bello Monte y Caucajita	TX - CIUp (17 ensayos)	$\phi' = 32^\circ$	c' = 0	Estudios Geotécnicos Ing ^o J. Hiedra L.
Esquistos cuarzo-micáceos grafitosos	Los Aguacaticos	TX - UU a v_{opt}	27°	0.5	Estudios Geotécnicos Ing ^o J. Hiedra L.
Esquistos cuarzo-micáceos grafitosos	Los Aguacaticos	TX - CIUp	35°	0	Estudios Geotécnicos Ing ^o J. Hiedra L.
Esquistos cuarzo-micáceos	Via Coche - Los Teques. Km. 4	TX - UU a v_{opt}	36.5°	0.2	INGEOTEC
Esquistos cuarzo-micáceos	Via Coche - Los Teques. Km. 4	TX - CIUp a v_{opt}	$\phi' = 26^\circ$	c' = 0	INGEOTEC

.../3...

T A B L A I

PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE OBTENIDOS DE PROBETAS COMPACTADAS EN LABORATORIO EN MATERIALES PROVENIENTES DE CORTES EN ROCAS METAMORFICAS, CARMAS.

LITOLOGIA	LOCALIZACION	TIPO DE ENSAYO	ϕ	c Kg/cm ²	REALIZADO POR
Esquistos cuarzo-micáceos	Via Caracas-El Junquito, Km. 10	TX - UU a w_{opt}	31°	0.75	INGEOTEC
Esquistos cuarzo-micáceos	Via Caracas-El Junquito, Km. 10	TX - CIUp a w_{opt}	$\phi^* = 36^\circ$	$c^* = 0$	INGEOTEC
Esquistos cuarzo-micáceos	Parcelamiento Loma Gorda, Carrizal	TX - CIUp a w_{opt}	$\phi^* = 27^\circ$	0.04	INGEOTEC
Esquistos cuarzo-micáceos calcáreos	Chuao, La Alameda y Caricuao	TX - UU a w_{opt}	28°	0.4	Geotécnica de Venezuela Ing° J. Graterol
Esquistos cuarzo-micáceos calcáreos	Chuao, La Alameda y Caricuao	TX - CD	30.5°	0.55	Geotécnica de Venezuela Ing° J. Graterol
Esquistos cuarzo-micáceos grafitosos	Chuao, Coche-Tejerías y Cota 905	TX - UU a w_{opt}	23.8°	0.4	Geotécnica de Venezuela Ing° J. Graterol
Esquistos cuarzo-micáceos	Chuao, Coche-Tejerías y Cota 905	TX - CD	29.2°	0.3	Geotécnica de Venezuela Ing° J. Graterol

.../...

T A B L A I

PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE OBTENIDOS DE PROBETAS COMPACTADAS EN LABORATORIO EN MATERIALES PRO-
VENIENTES DE CORTES EN ROCAS METAMORFICAS . CARACAS .

LITOLOGIA	LOCALIZACION	TIPO DE ENSAYO	ϕ	c Kg/cm ²	REALIZADO POR
Filitas micáceas	Urb. Los Samanes San Antonio de los Altos	TX - UU a σ_{opt}	19.5°	0.65	Geotécnica de Venezuela Ing° J. Graterol
Esquistos gneisoides	Urb. La Bonita	TX - UU a σ_{opt}	26°	0.6	Geotécnica de Venezuela Ing° J. Graterol
Esquistos gneisoides	Urb. La Bonita	TX - CIUp	$\phi^s=27^\circ$	c'=0.35	Geotécnica de Venezuela Ing° J. Graterol

TABLA II
ENSAYOS DE CORTE DIRECTO
ANGULOS DE FRICCION ULTIMA OBTENIDOS A LO LARGO DE PLANOS DE FOLIACION EN
ROCAS METAMORFICAS, CARACAS.

LITOLOGIA	LOCALIZACION	ϕ_u	REALIZADO POR
Esquistos cuarzo-cal- cáreos, micáceos	Urb. Altos de Turumo	26.4 ± 3.3 (9 ensayos)	INGEOTEC
Esquistos cuarzo-cal- cáreos micáceos	Urb. Colinas de Bello Monte	26.5 ± 2.8 (11 ensayos)	INGEOTEC
Esquistos cuarzo-mi- cáceos	Urb. La Arboleda (El Junquito)	26.8 ± 3.4 (5 ensayos)	INGEOTEC
Esquistos cuarzo-gra- fitosos calcáreos	Urb. Caurimare	29 ± 3.6 (3 ensayos)	INGEOTEC
Esquistos cuarzo-mi- cáceos feldespáticos	Urb. Turmerito	25.7 ± 1.2 (3 ensayos)	INGEOTEC
Esquistos gneisoides	Urb. Turmerito	30.3 ± 4.5 (3 ensayos)	INGEOTEC
Filitas sericfticas	Urb. Turmerito	16.8 ± 2.2 (4 ensayos)	INGEOTEC
Esquistos cuarzo-mi- cáceos	Via Coche-Los Teques Km. 4	27.5 ± 1.2 (3 ensayos)	INGEOTEC
Esquistos filfticos cuarzosos	Urb. Santa Inés	26°	INGEOTEC
Filitas cuarzo-micá- ceas	Urb. Santa Inés	20°	INGEOTEC
Filitas sericfticas	Urb. Santa Inés	13°	INGEOTEC
Filitas sericfticas	Urb. Las Mesetas Santa Rosa de Lima	19.0 ± 3.6 $\phi_{max} = 22^\circ$ $\phi_{min} = 12^\circ$ (19 ensayos)	INGEOTEC
Esquistos filfticos cuarzo-micáceos	Plaza Capuchinos Metro de Caracas	22.7 ± 3.2 (3 ensayos)	INGEOTEC
Esquistos sericfti- cos grafitosos	Alto Prado	18.4 ± 2.5 (4 ensayos)	INGEOTEC

.../...

.../.../...

TABLA II

ENSAYOS DE CORTE DIRECTO
 ANGULOS DE FRICCION ULTIMA OBTENIDOS A LO LARGO DE PLANOS DE FOLIACION EN
 ROCAS METAMORFICAS. CARACAS.

LITOLOGIA	LOCALIZACION	ϕ_u	REALIZADO POR
Filitas micáceas	Sector Baruta - El Hatillo	12° (10 ensayos)	Geotécnica de Venezuela Ing° J. Graterol
Esquistos cuarzo calcáreos-micáceos	Caugagüita	27° (11 ensayos)	Estudios Geotécnicos Ing° J. Hiedra L.
Esquistos cuarzo-micáceos, grafitosos	Carrizal, Los Teques y Caugagüita)	24° (10 ensayos)	Estudios Geotécnicos Ing° J. Hiedra L.
Esquistos cuarzo-calcáreo-micáceos	Colinas de Bello Monte	30° (6 ensayos)	Estudios Geotécnicos Ing° J. Hiedra L.

T A B L A I I I

PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE EN MUESTRAS IMPERTURBADAS DE ROCAS METAMORFICAS DEBILES. CARACAS.

LITOLOGIA	LOCALIZACION	TIPO DE ENSAYO	ϕ	c Kg/cm ²	REALIZADO POR
Esquistos cuarzo-micáceos descompuestos a arcilla muy arenosa	IVIC	TX - CIU _p	$\phi = 25^\circ$	c' = 0.3	Ingeniería de Suelos S. A. Ing° Pérez Guerra
Esquistos cuarzo-micáceos descompuestos a arcilla muy arenosa	IVIC	Corte directo tento-sumergido	26°	0.12	Ingeniería de Suelos S. A. Ing° Pérez Guerra
Esquistos micáceos	Caricuao	Corte directo (15 probetas)	32°	0.25	Ing° L.E. Galavis Ing° L. García I.
Esquistos micáceos	Caricuao	TX - CIU _p	$\phi = 30^\circ$	$\phi' = 0.30$	Ing° L.E. Galavis Ing° L. García I.
Filitas sericíticas	Santa Paula	TX - CIU _p (3 probetas)	$\phi = 21^\circ$	c' = 0.1	INGEOTEC
Esquistos cuarzo-micáceos poco calcáreos (Rmbf)	Gramoven	Corte en sitio	28°	0.24	Ing° R. Sancio
Esquistos cuarzo-micáceos sericíticos (Rmbf)	La Limonera	Corte en sitio	28° 30°	0.20 0.16	Ing° P. Sancio
Esquistos cuarzo-sericíticos	Caricuao	Corte en sitio	32°	0	Ing° L.E. Galavis Ing° L. García I.

T A B L A I V

PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE OBTENIDOS EN MUESTRAS DE ROCAS DEBILES PERTURBADAS, TOMADAS POR PERCUSION (SPT)

LITOLÓGIA	LOCALIZACION	TIPO DE ENSAYO	ϕ	c Kg/cm ²	REALIZADO POR
Esquistos cuarzo-micáceos descompuestos en arenas arcillosas	Urb. Las Minas San Antonio de los Altos	TX - CIUp	$\phi' = 24^{\circ}$	$c' = 0$	Ingeniería de Suelos S. A. Ing° Pérez Guerra
Filitas cuarzo-micáceas feldespáticas	Urb. Loma Larga	TX - CIUp	$\phi' = 24^{\circ}$	$c' = 0-0,2$	INGEOTEC
Esquistos cuarzo-micáceos	Metro de Caracas Silencio - La Hoyada	TX - CIUp	$\phi' = 34^{\circ}$	$c' = 0$	INGEOTEC
Filitas cuarzo-micáceas feldespáticas	Urb. Loma Larga	Corte directo (sumergido)	26°	$0,2$	INGEOTEC
Esquisto cuarzo feldespático	Rampa Hipódromo Via Coche-Los Teques	Corte directo (sumergido)	29°	$0,2-1,2$	INGEOTEC