

## El perfil de meteorización en la ingeniería geotécnica (Algunos casos tipo)

Carlos Andrés Ordóñez Ante

## Autor

### CARLOS ANDRÉS ORDÓÑEZ ANTE

Ingeniero Geólogo. Especialista en Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Candidato a Magister en Ingeniería - Área Geotecnia, Facultad de Minas, Universidad Nacional. Docente de Tiempo Completo en Ingeniería Civil y Coordinador del Semillero de Investigación GRIDIC, Línea Geotecnia de Suelos Tropicales del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Correo electrónico: caordonez@elpoli.edu.co

## Resumen

Se presenta a continuación una serie de perfiles de meteorización característicos de algunos lugares del Valle de Aburrá al igual que uno del municipio de Santa Fe de Antioquia con datos de propiedades geomecánicas, resaltando la importancia que tiene el correcto conocimiento del perfil de meteorización en la Ingeniería Geotécnica, con el objeto de lograr una adecuada caracterización de cualquier entorno geotécnico donde se pretenda ejecutar proyectos de ingeniería.

## Palabras clave

Geotecnia - perfiles de meteorización.

## Abstract

In this paper a series of weathering profiles are presented; they are taken from some locations in the Aburra Valley and Santa Fe de Antioquia's with data about their geomechanical properties with remarks about the importance that the correct knowledge of the weathering profile has in geotechnical engineering in order to achieving an appropriate characterization of any geotechnical environment where it's intended to execute some kind of engineering projects.

## Key words

Geotechnical engineering - residual soil profile.

# El perfil de meteorización en la ingeniería geotécnica

## (Algunos casos tipo)

Carlos Andrés Ordóñez Ante

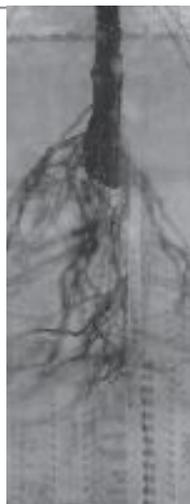
POLITÉCNICA No. 1 | Medellín, junio - octubre de 2005, p.p. 47-54

### 1. Introducción

Una reflexión de Karl Terzaghi referente al perfil de meteorización dice: “El tipo de perfil de suelo, característico de un sitio en donde se van a construir cimentaciones, debe ser una de las características primordiales en la selección del método de investigación del subsuelo, especialmente en lo relacionado con la programación del muestreo y la investigación de laboratorio”.

Se define el perfil de meteorización como la secuencia de capas presentes en el subsuelo, producto de la meteorización química de un material parental o roca preexistente. La Ingeniería Geotécnica es una disciplina de la Ingeniería Civil que recoge conceptos y aplicaciones de la geología, la mecánica de suelos y la ingeniería de cimentaciones.

El perfil de meteorización puede ser formado “in situ” o transportado; el primero es aquel que no ha sufrido transporte es una secuencia ordenada de capas dispuestas en el subsuelo, mientras que el perfil de meteorización de un suelo transportado será caótico, irregular, y posiblemente inestable dependiendo de las condiciones topográficas que se tengan.



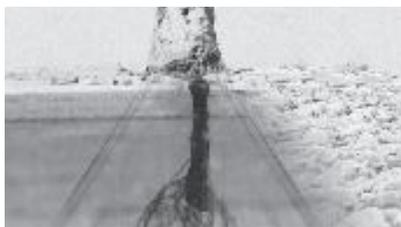
## ■ 2. Perfil de Meteorización en suelo transportado

El perfil de meteorización en suelos transportados se encuentra (al realizar excavaciones o perforaciones) prácticamente en todas las laderas de la ciudad de Medellín, tales como Poblado, Manrique, Robledo, entre otras; como su nombre lo dice es un suelo que ha sufrido transporte debido principalmente a la gravedad y al agua; al encontrarse en este tipo de unidad geotécnica, se debe tener especial cuidado con las superficies potenciales de falla que se encuentran en profundidad debido a la interestratificación de eventos gravitacionales superpuestos. Por lo anterior, es de vital importancia un buen estudio de suelos antes de comenzar cualquier proyecto de ingeniería, por decir algo, las cimentaciones que se proyecten en estos lugares deben atravesar las superficies de falla preexistentes con el objeto de garantizar la estabilidad de la edificación; otro aspecto a tener en cuenta en estos lugares son los taludes ya que, fácilmente, por el desconfinamiento que se ocasiona al realizar excavaciones para sótanos se puede afectar la estabilidad de vías o edificaciones ubicadas cerca de la obra.

También se pueden tener perfiles de meteorización transportados de origen aluvial donde el principal agente de transporte ha sido el agua; son constituidos principalmente por suelos grueso

granulares que muestran diversos grados de meteorización asociados a las condiciones de formación tropical a las que hayan estado expuestos, los geomateriales de origen lacustre, asociados a antiguos lagos, conformados por suelos fino granulares de altas compresibilidades.

Algunos ejemplos de lo que se ha mencionado en el anterior párrafo son los siguientes:



### 2.1 Perfil de meteorización en suelo transportado ubicado en el municipio de Santa Fé de Antioquia (Sector próximo al Barrio Obrero Parte Baja) Perforación de 22.5 m de profundidad

Se localiza en el Suroriente del municipio de Santa Fe de Antioquia; geomorfológicamente corresponde a un antiguo depósito aluvio lacustre el cual a través de su historia geológica ha ido llenando el valle conformado por las rocas sedimentarias del Terciario denominadas areniscas y arcillolitas, las cuales afloran en los alrededores del lugar.

■ Inicialmente se tiene una capa vegetal de aproximadamente 0.1 m de espesor.

■ Luego hasta una profundidad que fluctúa entre 3.8 m y 4.8 m se tiene una arcilla limosa de carácter orgánico de color negro grisáceo, de origen aluvio lacustre, consistencia blanda, alta plasticidad y catalogada como de alto potencial expansivo; las pruebas de laboratorio mostraron un 40% de expansión libre. La humedad natural fluctúa entre  $w=22.5\%$  y  $w=33\%$ ;  $LL=65\%$ ;  $IP=36\%$ ; Gravedad específica = 2.675; Densidad Húmeda =  $1.9434 \text{ kg/m}^3$ ; Densidad Seca =  $1.462 \text{ kg/m}^3$ ; relación de vacíos promedio = 0.6; Grado de Saturación = 104%; según la clasificación unificada se cataloga como un CH que corresponde a arcillas de alta plasticidad; se ubica en el grupo A-7-6 según la clasificación de la AASHTO. Los resultados de análisis mineralógico evidenciaron la presencia de Cuarzo, Feldespato, Montmorillonita y Caolinita. El ensayo de Compresión Simple mostró una capacidad de soporte de 70 Kpa.

■ Debido al origen de la formación es común encontrar lentes distribuidos irregularmente de arenas y gravas con permeabilidades del orden de 0.01 cm/seg (mucho mayor a la de la arcilla circundante, cuya permeabilidad promedio se puede catalogar como de 0.00001 cm/seg.). Los ensayos de Consolidación reportaron que ésta

arcilla se pueden catalogar como normalmente consolidada, o sea que a través de su historia geológica nunca ha soportado presiones mayores que las que recibe en la actualidad.

- Subyaciendo el estrato anterior hasta una profundidad promedio de 10.0 m, continúa el depósito aluvio lacustre constituido por una arcilla limo arenosa de color gris y negro motas amarillas; incluye algunos fragmentos de roca parcialmente meteorizados, consistencia "Media - Dura" incrementándose con la profundidad; alto potencial expansivo. El contenido de humedad natural fluctúa entre un  $w=12\%$  y un  $w=29\%$ ; el LL varía entre un 49% y un 60%; el IP varía entre un 23% y un 35%; este estrato se cataloga como un CH y un CL según la clasificación unificada, que corresponde a arcillas desde baja hasta alta plasticidad, con alguna fracción de arena y cascajo. Este estrato se ubica en los grupos A-7-6 y A-7-5 según la clasificación de la AASHTO.

- A continuación y hasta la profundidad investigada (22.5 m) continúa el depósito de origen aluvio lacustre constituido por arcillas limosas hidromorfas de color negro y gris, formadas en ambientes reductores de meteorización, su consistencia es muy variable encontrándose desde muy blanda hasta dura a profundidades bastante aleatorias. Debido al origen de la unidad es común hallar lentes de gravas y arenas distribuidos irregularmente en la formación con espesores también variables. La perforación evidenció la presencia de madera en descomposición a profundidades de 14.0 m y 21.0 m. Las pruebas de laboratorio mostraron LL superiores al 70%, IP fluctúa entre un 11% y un 40%, disminuyendo sustancialmente con la profundidad, su humedad natural en promedio se puede decir que es superior al 50%, la clasificación unificada ubica estos suelos como MH - ML. Los resultados de SPT son muy variables pero en general se puede afirmar que tienden a incrementarse con la profundidad con excepción de los 19.0 m y 21.0 m

en los cuales se detectó un estrato reblandecido de suelo que mostró una resistencia de 4 golpes en 30 cm. a la penetración standard.

### **2.3 Perfil de meteorización transportado ubicado en el barrio Boston (Medellín - Colombia) Perforación de 20.5 m de profundidad**

El lugar analizado se ubica en el sector del barrio Boston, geomorfológicamente corresponde a una formación superficial de origen gravitacional tipo flujo de lodo de edad Cuaternaria (porcentaje de fragmentos de roca inferior al 50% con relación a la matriz circundante), el material parental que ha dado origen a esta unidad geotécnica son las rocas ígneas llamadas Dunitas Serpentinizadas, cuerpo que aflora en la parte alta del sector, costado Centro Oriental de Medellín; sobreimpuesta a esta formación, se encuentra una unidad de origen aluvio lacustre de altas compresibilidades, de localización y espesor muy variable generada a partir de antiguas corrientes afluentes de la quebrada Santa Elena.

El perfil de meteorización del sector se caracteriza por distribuirse así:

- Inicialmente se tiene un lleno heterogéneo de origen antrópico, con un espesor que fluctúa entre 0.2 m - 0.75 m.

- Luego hasta una profundidad aproximada de 1.0 m se encuentra una capa vegetal discontinua.

- A continuación hasta una profundidad que varía entre 1.5 m y 8.8 m, se encuentran suelos mixtos de origen aluvio lacustre de altas compresibilidades, constituidos por arcillas y limos de carácter orgánico color negro y café, bolsas de arena distribuidas erráticamente, incluye algunos fragmentos de rocas parcialmente meteorizadas tipo Dunita, su consistencia es blanda, SPT inferior a 4 golpes en 0.3 m. Humedad natural promedio  $w = 62.0\%$ ;  $LL = 67.0\%$ ;  $LP = 54.0\%$ ;  $IP = 13.0\%$ , según la clasificación unificada estos suelos se catalogan como MH (limos inorgánicos de alta compresibilidad).

■ Luego hasta una profundidad de 17.0 m se tiene un depósito gravitacional tipo flujo de lodo, porcentaje de fragmentos de roca inferior al 50%; matriz limo arcillosa de color amarillo rojizo motas gris y negras, con evidencias de lateritización manifestada por concreciones de hierro de color rojizo y amarillo, incluye fragmentos y bloques de dunitas en diversos tamaños y grados de meteorización desde II hasta V, consistencia "Media" SPT inferior a 15 golpes en 0.3 m, ambiente oxireductor de meteorización. Humedad natural promedio  $w = 61.0\%$ ;  $LL = 74.0\%$ ;  $LP = 62.0\%$ ;  $IP = 12\%$ , según la clasificación unificada estos suelos se catalogan como MH (limos inorgánicos de alta compresibilidad).

■ A continuación hasta la profundidad investigada (20.5 m), se encuentra un depósito gravitacional tipo flujo de lodo, similar al estrato anterior, en proceso de meteorización y cementación, textura conglomerática bien definida a partir de 19.0 m de profundidad. Limo arcilloso que aglutina bloques y fragmentos de roca tipo Dunitas de variados tamaños, consistencia "Dura". Humedad natural promedio  $w = 21\%$ ;  $LL = 80.0\%$ ;  $LP = 59.0\%$ ;  $IP = 21.0\%$ ; pasa tamiz 200 = 95.0%, se catalogan según la clasificación unificada como MH (limos inorgánicos de alta compresibilidad).

### ■ 3. Perfil de meteorización "In Situ"

En la ciudad de Medellín se puede encontrar un perfil de meteorización "in situ" en el costado occidental de la ciudad, parte alta, asociado al producto de la meteorización de las rocas ígneas tipo Dioritas que constituyen litológicamente el denominado Stock de Altavista; o también en los lugares próximos al Seminario Mayor, donde la meteorización tropical de un material parental preexistente llamado Gabro ha definido en las partes altas un perfil de meteorización bien desarrollado.

■ En la ciudad de Medellín se puede encontrar un perfil de meteorización "in situ" en el costado occidental de la ciudad

Ambos tipos de suelos a pesar de tener el mismo origen ígneo tendrán un comportamiento geomecánico particular y diferente en cuanto a transferencia de cargas, estabilidad de los taludes generados al construir carreteras o excavaciones para sótanos y problemas constructivos al realizar en ellos cimentaciones profundas tipo pilas o pilotes.

A continuación se describe un perfil de meteorización formado in situ de acuerdo a la metodología de Deere y Patton.

#### 3.1 Perfil de meteorización localizado en el sector de Belén parte alta. Perforación de 28.5 m de profundidad

■ Inicialmente se tiene una capa vegetal, de un espesor inferior a 0.4 m.

■ Luego con un espesor que fluctúa entre 0.2 m y 1.0 m aproximadamente, se tiene ceniza volcánica de origen eólico, color pardo, textura limo arcillosa, consistencia media,  $LL = 67\%$ ;  $LP = 48\%$ ;  $IP = 19\%$ , se puede clasificar este suelo como un OH.

■ A continuación hasta una profundidad aproximada de 6.5 m se encuentra suelo residual, producto de la descomposición de una roca ígnea intrusiva denominada Diorita. Horizontes IA - IB de meteorización, grado VI. Textura limo arcillosa de color rojizo motas amarillas y blancas debidas a la alteración de los feldspatos, ambiente oxidante de meteorización, consistencia Dura y Muy Dura. S.P.T. superior a 55 golpes por pie,  $LL$  fluctúa entre 61% - 32%;  $LP$  varía entre 32% - 38%; este horizonte se puede clasificar como un MH (limos inorgánicos de alta plasticidad).

■ Luego hasta una profundidad aproximada de 16.5 m se tiene el horizonte saprolito, grado V de meteorización, constituido por un limo arcilloso de color rojizo predominante, muestra textura bandeada caracterizada por la alterancia de bandas de diferentes colores (rojo, amarillo, café, blanco); también se le observa textura granular evidenciada por la presencia de minerales de forma subredondeada los cuales están completamente meteorizados. Ambiente oxidante, existen discontinuidades mecánicas e hidráulicas rellenas por óxidos de manganeso y aluminio de color negro y textura arcillosa. Consistencia variable en profundidad dura - muy dura. S.P.T. en promedio superior a 20 golpes por pie. LL = 47.0%; LP = 40%; IP = 7%, este estrato se puede clasificar como un ML (limos inorgánicos de baja compresibilidad).

■ A continuación hasta una profundidad aproximada de 20.5 m se observa roca parcialmente meteorizada, grado IV, constituida por un limo arcilloso de color gris y rojo motas negras y cafés debidas a efectos de la meteorización química, ambiente oxireductor. No se observan discontinuidades mecánicas e hidráulicas, pero debido al origen de la unidad y a los efectos de la meteorización tropical no se descarta su existencia. Consistencia muy dura. S.P.T. superior a 40 golpes por pie. LL = 43.%; LP = 41.%; IP = 2.0%, este suelo se puede clasificar como un ML (limo inorgánico de baja compresibilidad).

■ Luego hasta una profundidad de 27.5 m se encuentra roca parcialmente meteorizada grado V, constituido por un limo arcilloso de color rojo motas blancas - amarillas, ambiente oxidante predominante, presencia de discontinuidades mecánicas e hidráulicas rellenas por óxidos de manganeso y aluminio. Consistencia dura - muy dura. S.P.T. superior a 25 golpes por pie. LL = 44%; LP = 39%; IP = 5%, este suelo se puede clasificar como un ML (limo inorgánico de baja compresibilidad).

■ Subyaciendo el estrato anterior, hasta la profundidad investigada (28.5 m) se tiene roca parcialmente meteorizada, grado IV, constituido por un limo arcillo arenoso de color amarillo motas negras, ambiente oxirreductor, presencia de diaclasas y fracturas rellenas por óxidos de manganeso y aluminio. Consistencia muy dura S.P.T. superior a 50 golpes por pie. La fracción arenosa aumenta en profundidad. LL = 37%; LP = 25%; IP = 12%; este estrato se puede clasificar como un CL (arcillas inorgánicas de plasticidad baja).



#### ■ 4. Problemas geotécnicos en el Stock de Altavista

Dada la naturaleza de la formación geológica objeto de estudio, es común al nivel del horizonte saprolito la presencia aleatoria e irregular de discontinuidades mecánicas e hidráulicas rellenas por óxidos de manganeso y aluminio, las cuales actúan desfavorablemente en la estabilidad de taludes.

Las cimentaciones profundas, tipo pilas excavadas manualmente, con frecuencia tienen notables retrasos constructivos, por la inestabilidad que presentan sus paredes, debido a la presencia de las discontinuidades ya mencionadas, por lo anterior en ocasiones es más ventajosa la construcción de estas cimentaciones con equipo especial, capaz de excavar y anillar al mismo tiempo, además la velocidad de realización de estas cimentaciones es mucho mayor, lo cual contribuye a garantizar la estabilidad de las mismas. La presencia del nivel freático actúa negativamente, ya que el agua lubrica las discontinuidades presentes en el macizo facilitando los colapsos del suelo.

## 5. Conclusiones

Se puede afirmar entonces que es importante conocer el perfil de meteorización de cualquier lugar en el cual se proyecte construir obras civiles antes de comenzar la construcción, se dice lo anterior porque hay ingenieros que se arriesgan en ocasiones a construir sin un estudio de suelos previo. Un conocimiento adecuado del perfil de meteorización hace parte de una adecuada caracterización geotécnica, la cual nos permite llegar a un diagnóstico certero, para lograr así inferir el comportamiento del suelo a largo plazo; también se puede inferir el mecanismo de falla que se ha de presentar en los taludes de la obra para de esta manera realizar a tiempo los correctivos necesarios; también conociendo el perfil de meteorización además de ensayos de laboratorio apropiados de cada estrato atravesado, se logra conocer los parámetros geomecánicos característicos de la formación geotécnica que se estudia para de esta manera recomendar de manera acertada el tipo de cimentación, capacidad de soporte del suelo, asentamientos esperados, lográndose una adecuada transferencia de cargas entre la estructura y el subsuelo.

## Bibliografía

1. DEERE, D.U., y PATTON, F.D. *Estabilidad de taludes en suelos residuales*. En: Memorias VI Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. San Juan (Puerto Rico) vol. 1, p. 87 – 170, 1971.
2. GEOTECHNICAL CONTROL OFFICE. *Geoguide 3: Guide to rock and soil descriptions*. Hong Kong, 1988.
3. HINCAPIÉ A., J.E. *Hacia una metodología para la evaluación de la estabilidad de las laderas gravitacionales de la ciudad de Medellín*. En: Memorias II Conferencia sobre riesgos geológicos del Valle de Aburrá. Universidad Nacional, Medellín, 1988.
4. HINCAPIÉ A., J.E. *Geotécnia de Suelos Tropicales*. En: Memorias I Seminario Internacional de Geotécnia. Universidad Eafit, Medellín, 1992.
5. LITTLE, A.L. *Definition, formation and classification. General Report, Spec. Session on engineering properties of lateric soils*. Proc. 7th International Conference ISSMFE. Vol. II, p. 1 – 11, Mexico. 1969.
6. LITTLE, A.L. *The engineering classification of residual tropical soils*. Proc. 7th International Conference ISSMFE. Vol. I, p. 1 – 11 México. 1969.
7. RICO, A. y DEL CASTILLO, H. *Ingeniería de suelos en las vías terrestres*. Vol. 1. Limusa, México, 1974. P. 273-365.
8. SUÁREZ DÍAZ, Jaime. *Estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingeniería, UIS. Colombia, 1989. P. 1-27, 77-95, 219-249, 251-275.
9. SUÁREZ DÍAZ, Jaime. *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. UIS. Colombia, 1998.
10. TERZAGHI, K., y PECK, R. B. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 2 ed. New York, John Wiley and Sons, 1967.