1. GEOMECÁNICA PARA INGENIEROS

Por: **Gonzalo Duque Escobar.**
I.C Especialista en Geotecnia
http://godues.webs.com

Carlos Enrique Escobar Potes.
I.C. Msc Hábitat
ceescobarpo@unal.edu.co
cescobar@esar.co

1.1 Introducción

El suelo es el material de construcción más abundante dentro de las prácticas de la ingeniería Civil, y constituye el soporte de las estructuras como edificaciones, vías, puentes, canales, torres, entre otros, además se utiliza como el material de terraplenes viales, muros de tierra reforzada con geotextil, diques, rellenos de adecuación de terrenos en relieves pendientes para áreas urbanas. Los suelos conforman los taludes de corte y de terraplenes viales y son estructuras que cumplen funciones diversas en los proyectos: son los elementos a estabilizar cuando se trata de taludes, y a la vez brindan estabilidad a los demás elementos que hacen parte de un tratamiento de pendientes, como los canales, las bermas, las estructuras y la vegetación que protege el suelo.

De ahí la necesidad de estudiar los suelos desde las diferentes ópticas y necesidades dentro de las prácticas de la Ingeniería Civil. La estabilidad volumétrica de un suelo, donde no se admiten deformaciones altas, la estabilidad de los taludes y de las estructuras que hacen parte de la cimentación de una estructura; la saturación de los suelos y sus consecuencias en la inestabilidad de taludes, la estabilidad del suelo frente a procesos de erosión hídrica o sus cambios de volumen y resistencia cuando se deshidrata, son algunos de los comportamientos que se deben estudiar en la mecánica de suelos para dar respuesta a problemas frecuentes vinculados con los materiales térreos.

La Mecánica de Suelos brinda las herramientas que permiten la solución a muchos problemas de la ingeniería de suelos: el origen y la formación del suelo es el primer análisis para sectorizar o inferir sobre la presencia de formaciones litológicas diferentes, de comportamientos diversos; la relación de fases permite conocer los pesos y volúmenes de los suelos y sus variaciones cuando cambia su humedad; la clasificación de los suelos se soporta en los laboratorios de granulometría y plasticidad, donde se identifican las propiedades de los suelos granulares, dependiendo de la cantidad y frecuencia

Figura 1.1 Talud inestable por deslizamientos superficiales y erosión en surcos. Los ciclos secado hasta la deshidratación y la saturación modifican las propiedades del suelo haciéndolo susceptible a la inestabilidad por deslizamiento y erosión. El follaje de la vegetación no brinda la protección al suelo. (Carlos E Escobar P).

de los tamaños de los granos que conforman el suelo o las cualidades de los suelos finos por la plasticidad que exponen sus partículas finas.

El suelo y el agua tienen vínculos muy estrechos y tanto la ausencia de agua dentro de la estructura del suelo cuando éste se seca, o el exceso hasta la saturación ejercen control sobre su peso, alteran la resistencia de ese suelo y cambia su volumen; además de la respuesta del suelo fino saturado por la aplicación de cargas estáticas, cuando se induce el flujo del agua libre, se deforma y sufre asentamiento la estructura apoyada en él.

El suelo debe ser un elemento funcional en los proyectos de ingeniería cuando conforma taludes de corte y de terraplenes, y su funcionalidad se vincula con la conservación de la humedad y de la plasticidad para soportar la vegetación que lo protege y conservar sus cualidades que permiten la estabilidad del talud. El talud de la figura 1.1 es inestable por causa de los ciclos de secado y saturación que sufre el suelo cuando pierde humedad hasta la deshidratación por el calor del sol y el viento, y sufre la saturación por lluvias.

Figura 1.2 La cimentación del muro de contención a media ladera está atendida por la cimentación superficial y pilotes que transmiten las cargas a mayor profundidad, independizando la estabilidad del muro de la estabilidad del talud. (Carlos E Escobar P)

La magnitud de los esfuerzos en masas de suelo por la presencia de esfuerzos externos y el análisis de la magnitud y dirección de los esfuerzos o los esfuerzos máximos y mínimos en una masa de suelo son de vital importancia para el análisis de la respuesta de las estructuras subterráneas, como redes de alcantarillado, alcantarillas en vías, túneles o de las estructuras de contención.

Todas las prácticas de la mecánica de suelos se soportan en campañas de prospección de los suelos y en el laboratorio para identificar y caracterizar los materiales que integran las áreas de los proyectos de ingeniería. De ahí la necesidad de tener claridad sobre el alcance y el objetivo de los trabajos de campo y de laboratorio para lograr los registros y parámetros que permitan resultados exitosos. Por último la instrumentación de los suelos es cada vez más vital, necesaria y frecuente dentro de las prácticas de la ingeniería. La medición de variables como la deformación del suelo, los cambios de las presiones totales, la presión de poro o la respuesta frente a perturbaciones dinámicas son necesarias cuando se construyen estructuras grandes y complejas.

El presente texto de mecánica de suelos es un instrumento que se brinda las herramientas básicas necesarias para abordar con éxito el análisis y las soluciones vinculadas con el manejo de los suelos en la práctica de la ingeniería civil y afines.

Terzaghi dice: La mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o la descomposición química de la roca, independiente que tengan o no materia orgánica.

La mecánica de suelos incluye:

a. Teoría sobre el comportamiento de los suelos sujetos a cargas, basada en simplificaciones necesarias, dado el estado actual de la teoría.
b. Investigación de las propiedades físicas de los suelos.
c. Aplicación del conocimiento teórico y empírico de los problemas prácticos.

Los métodos de investigación de laboratorio figuran en la rutina de la mecánica de suelos.

En los suelos se tiene no solo los problemas que se presentan en el acero y concreto (módulo de elasticidad y resistencia a la rotura), exagerados por la mayor complejidad del material; sino otros como su tremenda variabilidad, donde los procesos naturales formadores de suelos están por fuera del control del ingeniero.

En la mecánica de suelos es importante el tratamiento de las muestras (inalteradas – alteradas). La mecánica de suelos desarrolló los sistemas de clasificación de suelos donde se caracteriza el suelo a partir de propiedades como color, olor, textura, distribución de tamaños, plasticidad (A. Casagrande).

El muestreo, la clasificación y la obtención de los parámetros mecánicos de los suelos son requisitos indispensables para la aplicación de la mecánica de suelos a los problemas de diseño.

1.2 Problemas planteados por el terreno en la ingeniería civil.

En su trabajo práctico el ingeniero civil atiende problemas diversos y complejos planteados por el suelo. Prácticamente todas las estructuras de ingeniería civil como edificios, puentes, carreteras, túneles, muros, torres, canales o presas, deben cimentarse sobre la superficie de la tierra o dentro de ella. Para que una estructura se comporte satisfactoriamente debe estar dotada de una cimentación adecuada: cuando el terreno firme está próximo a la superficie, una forma común de transmitir las cargas de la estructura al terreno es mediante zapatas. Un sistema de zapatas se denomina cimentación superficial; cuando el terreno firme no está próximo a la superficie, un sistema habitual para

Figura 1.3 La construcción de estructuras en tierra incluye la disposición y compactación del suelo, el control de la humedad, el drenaje del suelo y la conformación del talud estable. (Carlos E Escobar P).

Figura 1.4 Talud conformado por suelo natural relleno. Los colores que exhiben los suelos reflejan su origen: unos son el resultado de la descomposición de la roca, otros son depósitos de caída de piroclástos y los más superficiales son rellenos antrópicos. (Carlos E Escobar P.)

transmitir el peso de la estructura al terreno firme es mediante pilotes.

El suelo es el material de construcción más abundante del mundo y en muchas zonas constituye, de hecho, el único material disponible. Cuando el ingeniero emplea el suelo como material de construcción debe seleccionar el tipo de suelo adecuado, el método de colocación y debe controlar su colocación en obra. Ejemplos de suelo como material de construcción son las presas de tierra, los terraplenes como el presentado en la figura 1.3 y los rellenos para la adecuación de vías.

Otro problema común ocurre cuando la superficie del terreno es inclinada y existe una componente del peso que tiende a generar el deslizamiento del suelo. Si a lo largo de un plano potencial de deslizamiento los esfuerzos debido al propio peso del talud o cualquier otra causa (como las aguas freáticas, el peso de una estructura o un sismo), superan la resistencia disponible del suelo, se produce el deslizamiento del terreno.

Las otras estructuras ligadas a la mecánica de suelos son aquellas construidas bajo la superficie del terreno como las alcantarillas y los túneles, entre otros, y soportan las fuerzas que ejerce el suelo en contacto con la misma.

Las estructuras de contención son otro problema a resolver con el apoyo de la mecánica de suelos, las más comunes son los muros, las tablestacas, las pantallas ancladas y los muros en tierra reforzada.

1.3 Historia de la mecánica de suelos

La historia de la Mecánica de Suelos como la de otras ramas de la ingeniería, muestra que su estado del arte se ha construido sobre la necesidad de plantear soluciones a los retos socioambientales del hábitat con nuevas estructuras, como vías, muros, canales, edificaciones y otras obras.

Si para el efecto, la recopilación, revisión y análisis de las experiencias que fueron contribuyendo al a la consolidación de la ingeniería como una disciplina aplicada, también el desarrollo de nuevas tecnologías y técnicas asociadas a procesos ingenieriles y a materiales de construcción, resultaros ser fundamentales. Hoy más que nunca los procedimientos y técnicas de construcción, cuentan con herramientas de análisis y cálculo complementarias a los necesarios modelos físicos a escala que siempre son de carácter fundamental, como lo son los modelos digitales, un valioso soporte de la vida moderna.

Para ilustrar el difícil periplo de la ingeniería a lo largo de su historia, veamos:

En la dinastía Chou, 1.000 A. C, se dan recomendaciones para construir los caminos y puentes. El siglo XVII trae las primeras contribuciones literarias sobre ingeniería de suelos y el siglo XVIII marca el comienzo de la Ingeniería Civil, cuando la ciencia se toma como fundamento del diseño estructural.

Vauban, 1.687, ingeniero militar francés formula reglas y fórmulas empíricas para construcción de muros de contención.

Bullet, 1.691, (francés), presenta la primera teoría sobre empuje de tierras y a ella contribuyen los franceses Couplet (1.726), Coulomb (1.773), Rondelet (1.802), Navier (1.839), Poncelet (1.840) y Collin (1.846). Más adelante el escocés Rankine (1.857) y el suizo Culman (1.866).

En 1773, Coulomb (francés), relaciona la resistencia al corte con la cohesión y fricción del suelo. En 1857, Rankine (Escocés), presenta su teoría del empuje de tierras. En 1856, se presenta la "Ley de Darcy" (Francia) y la "Ley de Stokes" (Inglaterra), relacionadas con la permeabilidad del suelo y la velocidad de caída de partículas sólidas en fluidos.

Culman (1866) aplica gráficamente la teoría de Coulomb a muros de contención. En 1871, Mohr (Berlín) desarrolla el cálculo de esfuerzos (una representación gráfica) en un punto del suelo dado.

1873, Bauman (Chicago) afirma que el área de la zapata depende de la carga de la columna y recomienda valores de carga en arcillas.

En 1885 Boussinesg (Francia) presenta su teoría de distribución de esfuerzos y deformaciones por cargas estructurales sobre el terreno.

En 1890, Hazen (USA) mide propiedades de arenas y gravas para filtros.

En 1906, Strahan (USA) estudia la granulometría para mezclas en vía.

En 1906, Müler, experimenta modelos de muros de contención en Alemania.

En 1908, Warston (USA), investiga las cargas en tuberías enterradas.

En 1911, Atterberg (Suecia), establece los límites de Atterberg para suelos finos.

En 1913, Fellenius (Suecia), desarrolla métodos de muestreo y ensayos para conocer la resistencia al corte de los suelos y otras propiedades. Además, desarrolla el método sueco del círculo para calcular la falla en suelos cohesivos.

En 1925, Terzagui, presenta en Viena el tratado ERDBAUMECHANIK que hace de la Mecánica de Suelos una rama autónoma de la Ingeniería. El científico de Praga, Karl Terzagui, es el padre de la Mecánica de Suelos.

Y para el caso local, si bien la Universidad Nacional de Colombia que nace en 1867, abraza el Colegio Militar una institución pública creada en 1961 por el general Tomás Cipriano de Mosquera para formar los oficiales del Estado Mayor e Ingenieros Civiles, en la Sede de Manizales donde la

entonces Facultad de Ingeniería se crea en 1948 como primer programa académico de la Universidad Popular creada en 1943, tras un año de labores orientadas hacia la ingeniería mecánica surge el programa de Ingeniería Civil, en el que hacia 1952 se dicta por primera vez el curso de Mecánica de Suelos, por el Ingeniero Civil Julio Robledo Isaza.

1.4 Origen formación y constitución del suelo

El ingeniero de suelos debe conocer el contexto geológico del suelo, las condiciones agrológicas de las unidades, el clima de la región y el relieve. Sin ese entendimiento, su trabajo estará lleno de incertidumbres que pueden traducirse en pérdidas de oportunidades al desconocer las propiedades inherentes al material, y sobretodo, al no incorporar los elementos de riesgo para el diseño, por omitir circunstancias fundamentales intrínsecas y ambientales.

1.4.1. Generalidades

Suelo en Ingeniería Civil son los sedimentos no consolidados de partículas sólidas fruto de la alteración de las rocas, o los suelos transportados por agentes como el agua, el hielo o el viento, con la contribución de la gravedad como fuerza direccional selectiva y que puede tener, o no materia orgánica. El suelo es un cuerpo natural heterogéneo.

La mecánica de suelos es la aplicación de la mecánica y la hidráulica a los problemas geotécnicos. Ella estudia las propiedades, el comportamiento y la utilización del suelo como material estructural, de tal modo que las deformaciones y resistencia del suelo ofrezcan seguridad, durabilidad y estabilidad a las estructuras.

La estructura del suelo puede ser natural (la del suelo "in situ"), como un talud, o el suelo de cimentación, o artificial (suelo como material de construcción), como un terraplén o un relleno.

MECÁNICA DE SUELOS	VI	Suelo con humus	Fábrica textural heredada. Zona de lixiviación susceptible a la erosión.
	V	Suelo sin humus	
MECÁNICA DE GRANOS GRUESOS	IV	Completamente descompuesto	Fábrica textural y estructural. Zona de acumulación. Inicia el control estructural.
	III	Altamente descompuesto	
MECÁNICA DE ROCAS	II	Parcialmente descompuesto	Fábrica estructural heredada.
	I	Roca sana	Falla planar, en cuña o por caída.

Figura 1.5 Perfil del suelo residual (en geotecnia). El perfil geotécnico de describe con seis horizontes, del I, en la base al VI en la superficie, pudiendo en ocasiones estar el perfil incompleto por faltar en el algún horizonte.

1.4.2 Etapas y procesos en la formación del suelo (I) y de las arcillas (II)

Los suelos se forman a partir de la alteración de la roca. Esta inicia con la alteración mecánica cuando la tectónica induce esfuerzos que deforma y fracciona la roca, y la descarga por erosión disminuye las presiones, y permite el relajamiento y la ampliación de las discontinuidades a través de los planos estructurales de esta. La roca fracturada y relajada es más permeable, permite la circulación de flujos y obra la meteorización capaz de transformar los minerales de la roca que están en contacto con el agua.

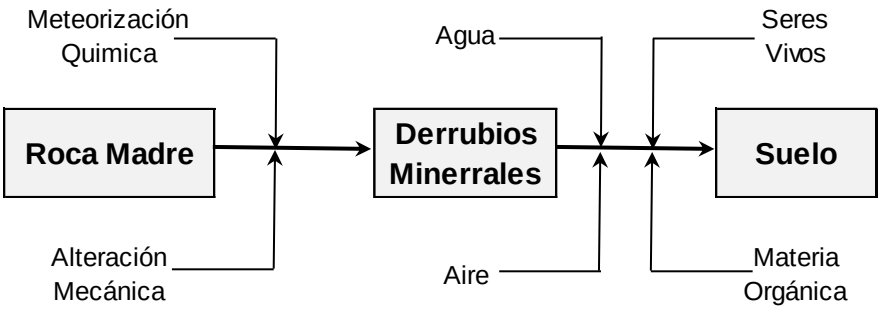

Figura 1.6 Etapas y procesos en la formación del suelo

1.4.3 Factores de Formación y Evolución del Suelo (F.F.E.S.):

Los factores que intervienen en la formación y evolución del suelo son cinco:

El Material Parental: cuando la roca o los suelos son permeables permiten el acceso y la circulación de líquidos (agua) y gases (aire) que reaccionan con los minerales constituyentes de la roca madre.

El Tiempo: Las deformaciones que sufre la roca y el suelo, la circulación de los líquidos y gases a través de la estructura y las reacciones químicas requieren tiempo: unos minerales sufren alteración más rápido que otros, de ahí que la alteración del suelo es heterogénea y por eso los perfiles cambian con gran frecuencia.

El relieve: Las pendientes, el patrón del drenaje, la orientación de la ladera y las barreras topográficas son el resultado de la combinación de la actividad tectónica y volcánica que forman el relieve y los procesos denudativos modelan el paisaje. Tanto la erosión del suelo como la

acumulación están muy ligados al relieve y éste ejercer control sobre los espesores del suelo: en las áreas planas los suelos presentan mayor espesor que en las pendientes donde se erosionan.

Los Formadores Biológicos: la meteorización vinculada con los formadores biológicos o "meteorización edafoquímica" es aquella vinculada con la actividad fisiológica de la flora y fauna, soportada en las reacciones químicas donde el agua es fundamental para los procesos y en ella se originan ácidos orgánicos y gases que reaccionan con el suelo y la descomposición de la materia orgánica contribuyen a la formación del suelo.

El Clima: la temperatura, las precipitaciones, la humedad relativa, el balance hídrico determinan la intensidad de la acción y velocidad de procesos de meteorización, formadores de los suelos. En zonas de lluvias abundantes y temperaturas altas se dan las condiciones para la generación se suelos, en zonas áridas hay poca disponibilidad de agua, reacciones químicas más lentas y cambios bruscos de temperaturas que estimulan la formación de suelos granulares sobre los suelos arcillosos. En las áreas donde los suelos están desprovistos de vegetación se presentan los ciclos de secado-humectación severos que hacen perder algunas propiedades del suelo, su funcionalidad y estabilidad como estructura dentro de la ingeniería.

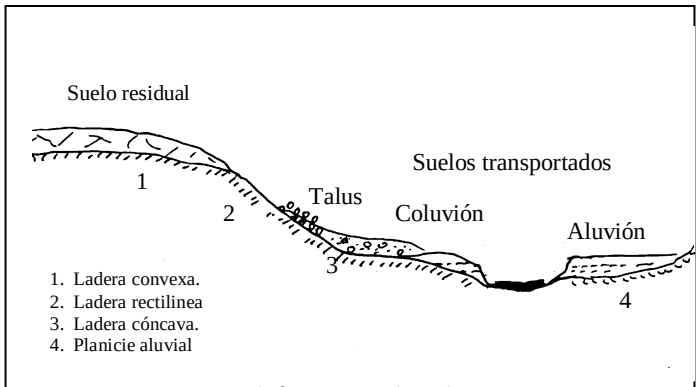

Figura 1.8 Distintos tipos de formaciones de suelo

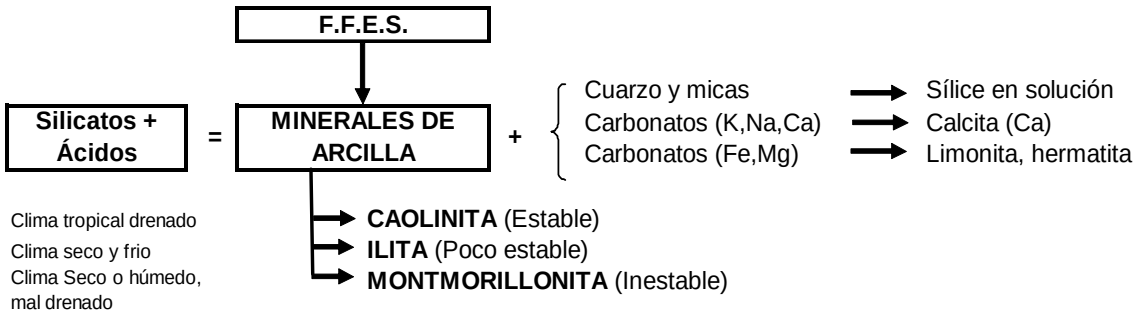

Figura 1.7 Etapas y factores de formación de las arcillas

1.4.4 Los Depósitos

Los depósitos de tierra son las formaciones de suelos transportados (formaciones superficiales) por la acción de agentes como el agua, el hielo, el viento y el hombre, con contribución de la gravedad. Se clasifican según el agente, el lugar y la estructura.

El ingeniero de suelos debe reconocer y advertir las propiedades ingenieriles de los depósitos y diferenciarlas de aquellas exhibidas por los suelos residuales. La densidad, la compresibilidad, la resistencia, la permeabilidad y la plasticidad son unas de muchas propiedades de los suelos que permiten los diseños y la atención de problemas en forma oportuna, para atender los problemas que se generan en un suelo de depósito y son diferentes a los generados en una formación con otra génesis.

Por el agente: los materiales que son movilizados, transportados y depositados por un agente adquieren ciertas propiedades particulares: los depósitos coluviales son transportados ladera abajo por la acción de la gravedad; estos depósitos alcanzan humedades altas y su textura y estructura está gobernada por las fuerzas de la gravedad. Los depósitos eólicos son transportados por el viento, en el transporte y depósito se presenta una selección por tamaños y densidades y ocurre el depósito de partículas secas de diámetros y densidades similares conformando depósitos de baja densidad. Los depósitos aluviales son formados a partir del transporte de partículas por la acción del agua y su sedimentación. Las características del depósito es el resultado de la energía y densidad del flujo, y estos determinan los tamaños de las partículas: se presentan depósitos arcillosos en ambientes de energías bajas y depósitos granulares de arenas y gravas cuando la energía del agua es alta. El depósito glaciar (hielo), es el resultado de los depósitos en los glaciares que forman los casquetes polares. El proceso del avance y retroceso del glaciar genera un rozamiento entre hielo y el material de cimentación, y con este la erosión de material de cimentación, su transporte y depósito cuando el glaciar se descongela.

Por el lugar: los depósitos que se generan en humedales y áreas bajas con nivel freático superficial se denominan palustres (pantanos); los depósitos en el fondo marino (marinos), se forman en ambientes de concentración de sales diferentes a los depósitos continentales (terrígenos) y los depósitos lacustres (lagos) donde el agente son aguas dulces con otra concentración de sales. La respuesta de los depósitos es diferente debido a la estructura de los suelos (el ordenamiento de las partículas sólidas finas está gobernado por fuerzas eléctricas), al grado de consolidación y a la susceptibilidad a la erosión por el cambio de la concentración de sales que ocupan los espacios vacíos.

Por la estructura: los clásticos (fragmentos) son depósitos en los pies de taludes rocosos de clastos que son el producto de la alteración de la roca por cambios bruscos de temperatura; los depósitos no clásticos (masivos) son suelos y bloques donde las propiedades del material está gobernadas por la resistencia o la permeabilidad del material fino.

Los talus y los coluviones son depósitos de ladera: el talus es un depósito clastosoportado (Los bloques están mutuamente en contacto) y los coluviones son matriz soportados (la matriz de suelo no permite el contacto entre los bloques). Ambos depósitos se localizan en las laderas de

acumulación. La infiltración es más intensa en las laderas convexas donde se puede presentar procesos de reptamiento. Las laderas rectilíneas, largas y pendientes son denutativas y exhiben los horizontes I y II (Ver figura 1.8).

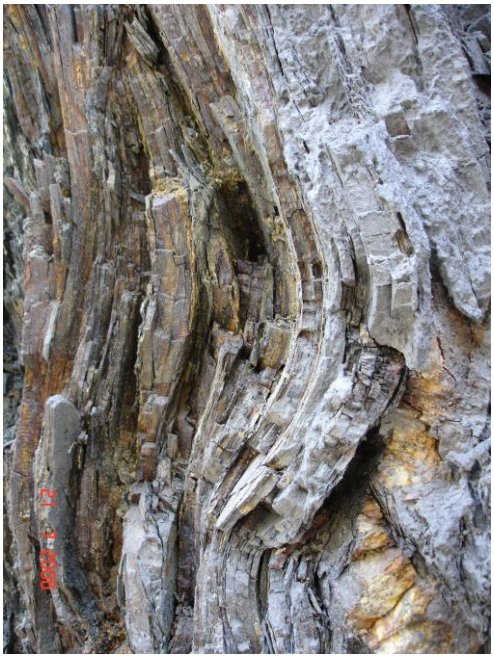

Figura 1.9 Macizo rocoso plegado, fracturado y relajado por las presiones de la actividad tectónica y las descargas por erosión severa en una cárcava. (Carlos E Escobar P).

1.4.5 Alteración de las rocas

Existe un equilibrio dinámico entre las tasas de alteración TA y de denudación TD.

Cuando la tasa de alteración (TA) es mayor que la de denudación (TD) se incrementan los espesores de los suelos residuales, y si estos no se erosionan se pueden encontrar suelos de gran espesor.

Cuando la tasa de denudación es mayor que la tasa de alteración se movilizan con facilidad los suelos y se conserva la roca cerca de la superficie del terreno. En estas áreas los suelos son de poco espesor. Este ambiente es propio de zonas secas sometidas a erosión severa y en laderas de pendientes fuertes.

En la zona tropical dominan los suelos residuales, mientras los de zonas templadas dominan los suelos transportados. En la primera la temperatura, la humedad y la meteorización son altas y con ellas la generación de suelos; en la segunda la ausencia de agua permanente ejerce control sobre la abundancia de la vegetación, se estimula la erosión hídrica y eólica y con ello la pérdida de suelo.

La Mecánica de Rocas es la parte de la geotecnia encargada de atender problemas vinculados con los macizos rocosos.

Las alteraciones que sufren las rocas por la acción de la tectónica y la actividad hidrotermal no son formas de meteorización; pero contribuyen a preparar los materiales para la meteorización acelerada que se presenta en ambientes húmedos, donde las variaciones del clima y la humedad son intensos. No son la humedad y la temperatura, sino las variaciones de ambas las que hacen intensa y rápida la meteorización.

1.4.5.1 Alteración física:

Incluye la desintegración de la roca por acción mecánica. La roca es sometida cambios de esfuerzos por la descarga del suelo: se presenta el relajamiento, se abren las fisuras y la estructura del macizo rocoso es más evidente y abierta. Los ciclos de secado saturación o los cambios de temperatura contribuyen a la disgregación de la roca y a la formación del suelo. Actividades como

la tectónica (ver figura 1.9), el clima, la acción biológica y la hidrotermal intervienen en los macizos rocosos y los preparan para la meteorización.

1.4.5.2 La Alteración Química:

Son el conjunto de las reacciones químicas entre el suelo y los agentes como el agua y los fluidos que permean el sustrato y dan como resultado el suelo. Las reacciones químicas pueden ser por agua (hidratación, hidrólisis, solución), por CO_2 (Carbonatación) o por O_2 (Oxidación, reducción).

Los coluviones son por lo general depósitos de suelo formados por la acción de la gravedad y quedan acumulados en el pie de las laderas; son heterogéneos, sueltos y en ocasiones presentan bloques angulosos. En ellos se estimula la infiltración y el paso del agua a través de su estructura, estimulando la formación de los suelos.

Los aluviones son depósitos conformados por materiales gruesos embebidos en matrices finas que se depositan en los valles estrechos de montaña, o por materiales finos que ocupan los valles amplios. La gradación está vinculada con la intensidad del evento: la acción hidráulica del fluido que moviliza el material, las características del flujo que lo transporta y el ambiente en el cual se deposita determinan la textura y estructura del depósito: en cauces torrenciales y valles estrechos so comunes depósitos heterogéneos de materiales finos y bloques; en valles amplios de pendientes bajas los materiales depositados son por los general finos.

Los depósitos lacustres son por lo general de grano fino; los depósitos marinos suelen ser estratificados.

Los depósitos glaciares son heterogéneos, los till[1] no presentan estratificación clara; los fluvioglaciares sí. Los primeros por el efecto aplanadora del hielo y los segundos por formarse a partir de las aguas de fusión.

Los depósitos eólicos son homogéneos, los loes son conformados por limos y los más estables son acumulaciones de arena.

Los principales minerales que constituyen suelos gruesos son: Silicato principalmente feldespato (K, Na, Ca), micas (moscovita y biotita), olivino y serpentina. Óxidos, en especial el cuarzo (SiO_2), limonita, magnetita y corindón. Carbonatos, principalmente calcita y dolomita; y sulfatos como yeso y anhidrita.

En los suelos gruesos el comportamiento mecánico e hidráulico depende de su compacidad y la orientación de las partículas, y poco influye la composición mineralógica.

[1] **Tillita:** Material depositado por glaciación; este material usualmente está compuesto por un amplio rango de tamaños de partículas, que no ha sido sometido a selección por acción del agua. (Geotecnia, diccionario básico, Fabián Hoyos Patiño. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Medellín, 2001).

Las diferencias entre la roca y el suelo:

Desde la perspectiva geotécnica, dicha diferencia depende de la resistencia a la compresión σ_c, según estos criterios:

- Roca es dura sí $\sigma_c > 300$ Kg/cm^2.
- Roca es blanda sí 200 Kg/cm^2 $< \sigma_c <$ 300 Kg/cm^2
- Suelo si $\sigma_c \approx 10$ Kg/cm^2 (El concreto normalmente es de $\sigma_c = 210$ Kg/cm^2)

Los suelos homogéneos presentan planos de falla circulares; las rocas tienen planos gobernados por la estructura del macizo rocoso.

Diferencias entre las arcillas y las arenas

ARENAS	ARCILLAS
Volumen de los poros hasta 50% máximo	Volumen de los poros hasta 98% máximo.
No es plástica.	Es plástica.
No se retrae al secarse	Se retrae al secarse.
No es compresible o lo es muy poco	Muy compresible.
Se comprime rápidamente.	Por carga aplicada se comprime lentamente.
La humedad la afecta poco.	Su consistencia depende de la humedad.
Tamaño de las partículas mayor de 0,06 mm	Tamaño menor de 0,002 mm.
No presenta cohesión.	Presenta cohesión.

Diferencias entre las arcillas y los limos

ARCILLAS	LIMOS
La resistencia seca es alta a muy alta, especialmente si se seca al horno.	La resistencia seca es baja, aún seca al horno.
No desprende polvo de la superficie.	Desprende polvo de la superficie.
Difícilmente desmenuzable con los dedos.	Es fácilmente desmenuzable con los dedos.
Plasticidad. Los rollitos del límite plástico son tenaces, secan lentamente y permanecen finos, con humedades bajo el estado plástico. Tienen resistencia alta a muy alta.	Plasticidad. Los rollitos para el límite plástico son frágiles. Secan rápido y se agrietan fácilmente con humedad bajo el estado plástico. Tienen resistencia baja.
Reacción muy lenta o nula a la vibración o dilatancia. La superficie permanece lustrosa.	Reacción rápida frente a vibración o dilatancia. La superficie se vuelve húmeda por vibración y se opaca al presionarla.
Dispersión. Cuando está en suspensión, tarda	Dispersión. Se asienta entre 15 y 60 minutos.

días a semanas, en asentarse, a menos que haya floculación. La arena tarda entre 30 y 60 segundos.

1.4.6 Componentes del suelo.

El aire y el agua son elementos constitutivos del suelo, además de los sólidos y los gases. Los guijarros son fragmentos de roca con diámetros (ϕ) > 2 cm. Las gravas tienen dimensiones entre 2 mm y 2 cm. La arena gruesa desde 0,2mm < ϕ < 0,2 cm; la arena fina entre 0,005 mm < ϕ < 0,2 mm. Se denomina limos a las partículas con diámetro aparente entre 0,005 mm y 0,05 mm. Con los análisis granulométricos, las arcillas son los constituyentes de diámetro aparente inferior a 0,002 mm (o 2μ), pero el término arcilla tiene otro sentido, adicionalmente, no granulométrico.

1.5 La Arcilla.

Son grupos minerales definidos, como caolinita, illita y montmorillonita, donde participan estructuras octaédricas y tetraédricas. La arcilla, como el humus, posee propiedades coloidales. Las arcillas, en el sentido mineralógico, son cristales microscópicos cuyos átomos están dispuestos en planos.

Al interior de una trama de átomos de oxígeno, cuyas esferas iónicas son voluminosas, se encuentran cationes de sílice (Si) y aluminio (Al). Si el volumen lo permite, los cationes de hierro (Fe), magnesio (Mg), calcio (Ca) o potasio (K) reemplazan al sílice (Si) y al aluminio (Al).

Las arcillas tienen una capacidad de intercambio iónico grande. Otros iones diferentes a los enunciados pueden completar las capas y unirlas, y también, las cargas eléctricas libres pueden ser equilibradas por iones intercambiables.

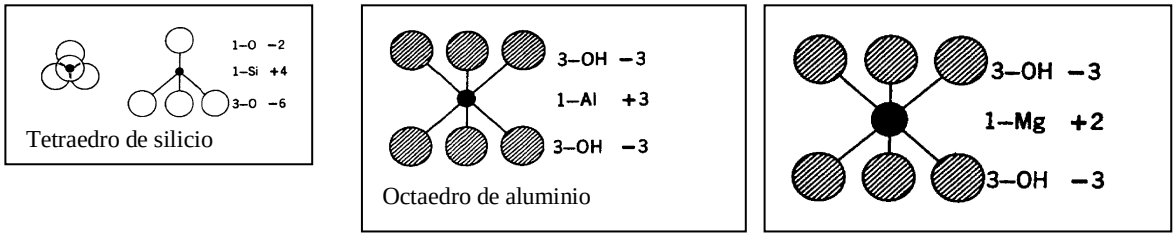

Figura 1.10 Tres unidades estructurales básicas y radios iónicos

Gibsita: (G) Lámina de alúmina, fruto de la combinación de octaedros de aluminio (Al).

Brucita: (B) Lámina hidratada, fruto de combinar octaedros de magnesio (Mg).

Láminas de sílice: Tetraedros (SiO_4) de sílice dispuestos en lámina. Ver trapecios.

Las arcillas 1:1 son arreglos de octaedro G o B (rectángulo) y T de Silicio (trapecio)

Las arcillas 2:1 son 2 tetraedros de silicio y en medio de ellos un octaedro G o B.

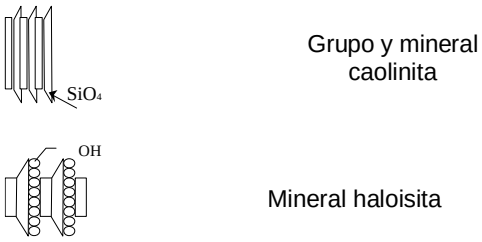

Figura 1.11 Estructuras básicas y radios iónicos

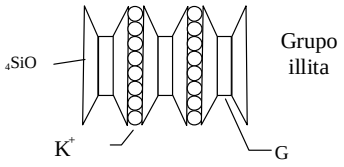

Figura 1.12 Estructura de la illita

1.5.1. Las Caolinitas: Principal grupo de arcillas que presenta baja capacidad de intercambio, 10 – 12 me (miliequivalentes) cada 100 gr, y con dos capas de cationes, las llamadas arcillas 1:1 (capa tetraédrica más capa octaédrica de alúmina hidratada). El arreglo, que se repite indefinidamente da una carga eléctrica neutra del mineral caolinita, cuya estructura no es expansiva, por no admitir agua en su retícula. Estas arcillas son moderadamente plásticas, de mayor permeabilidad y mayor fricción interna. Del grupo son: HALOISITA, CAOLINITA (por definición), ENDELLITA, DICKITA, ALOFANO, NACRITA Y ANAUXITA. La haloisita, aunque tiene la misma fórmula del caolín, contiene moléculas extras dentro de su estructura. En la figura 1.11 Gibsita = SiO_4 (En la "Carta de Plasticidad" las caolinitas están bajo la línea A = limos).

1.5.2. Illita: Es una arcilla 2:1, cuya capacidad de intercambio es de unos 40 me/100gr, lo que la hace algo expansiva. Las láminas de alúmina están entre dos láminas de SiO_4, y estas se ligan por iones de potasio, que le dan cierta estabilidad al conjunto. La actividad de la illita es 0,9, de la caolinita es de 0,38. El coeficiente de fricción interno y la permeabilidad son menores que en la caolinita y mayores que en la montmorillonita.

1.5.3. Montmorillonita: Arcilla 2:1 cuya capacidad de intercambio es de unos 120 me/100gr, lo que las hace muy expansivas. Entre las dos láminas de sílice se encuentra una brucita o una gibsita, y este arreglo se repite indefinidamente. La unión entre minerales individuales es débil, por lo cual el agua se inserta, introduciendo moléculas para producir el hinchamiento del suelo. Además de ser expansiva, la montmorillonita es muy plástica y se contrae al secarse, mejorando su resistencia y haciéndose impermeable. La actividad de la montmorillonita es 7,2.

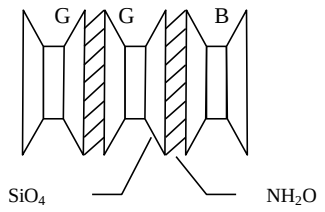

Figura 1.13 Grupo de la montmorillonita (puede tener brucita)

Entre las montmorillonitas se identifican: La MONTMORILLONITA (por definición), HECTORITA, SAPONITA, BEIDELLITA, SAUCONITA, TALCO, PORFILITA y NONTRONITA.

Bentonitas: Suelos montmorilloníticos altamente plásticos y altamente expansivos, de grano tan fino que al tacto es jabonoso (sí es húmedo). Se utilizan para cellar fugas en depósitos y canales.

Vermiculita, clorita, sericita, etc., son otros minerales arcillosos no clasificados en los anteriores tres grupos.

1.5.4. Actividad:

Este parámetro lo expresó Skempton (1953) como la pendiente de la línea que relaciona el índice plástico de un suelo con su contenido de minerales de tamaño arcilloso, como se verá en el Capítulo 4, numeral 4.1 y fórmula 4.3. Una actividad normal es de 0,75 a 1,25. Más de 1,25 es alta y menos de 0,75 es inactiva. Actividad supone cohesión, expansividad y plasticidad. Véase Tabla 4.2- Actividad de las Arcillas.

1.6 Definiciones

Saprolito: Suelo residual en el que se conservan relictos con la textura y la estructura de la roca original. Normalmente el saprofito presenta una textura limosa o areno-limosa y colores abigarrados en los que predominan los tonos rojizos debido a la oxidación del hierro y los minerales primarios.

Regolito: Término genérico utilizado para designar los materiales de la corteza terrestre que se encuentran entre la superficie y el sustrato rocoso, sean ellos residuales o transportados. Es un sinónimo de suelo que comprende los fragmentos de roca, suelos residuales, depósitos aluviales, lacustres, glaciales, eólicos y marinos, suelos orgánicos y depósitos antrópicos.

Suelo residual: Suelo formado por la meteorización in situ del material parental.

Suelo transportado: El que se forma lejos de la roca madre (alóctono).

Lixiviación: Remoción de material soluble y coloides del suelo por el agua de percolación.

Humus: Material de color pardo o negro formado por la descomposición parcial de materia orgánica (vegetal o animal). Es la porción orgánica del suelo.

Relictos: Estructuras heredadas por el suelo, de la roca madre (diaclasas, fracturas, etc.).

Coluvión: Son masas de suelo depositadas en la base de las laderas de pendientes moderadas, con al contribución de la gravedad. Estos depósitos están conformados por limos, arcillas, arenas mal gradadas, gravas o bloques. Son depósitos gravitacionales y se generan a partir de los movimientos en masa.

Aluvión: Depósitos de suelo originado por componentes transportados por una corriente de agua y posteriormente depositados por sedimentación.

Subsidencia: Hundimiento por presencia de cavernas kársticas o fallas activas.

Fixible: Que se exfolia, es decir, se separa en láminas delgadas.

Abrasión: Desgaste mecánico de las rocas por fricción e impacto, producido por la acción del agua, el viento y los glaciares.

Gelivación: Agrietamiento del suelo por acción del hielo.

Geoforma: Rasgo físico reconocible en la superficie de la tierra, como una forma propia característica. Las geoformas pueden tener una extensión tal que las haga asimilables a unidades geomorfológicas propiamente dichas como el caso de mesetas, valles llanuras; es preferible reservar este término para rasgos individuales, identificables en cartografía a escalas entre 1:10.000 y 1:50.000, o menores, como escarpes, terrazas, conos volcánicos, taludes, abanicos aluviales.

Tabla 1-1. Perfil de meteorización del macizo Rocoso (Adaptado de: notasingenierocivil.blogspot.com.co)

Vegetación	**Ígnea y Metamórficas**	**Limolitas Y Margas**	**Ígneas y Areniscas**	**Ígneas y Metamórficas**	**Todas las rocas**
	Hz IA Con humus	IV Alteración Completa	Suelo Residual	Zona superior	Hz 6-Suelo con Humus
	Hz IB				Hz 5-Suelo sin Humus
	Saprolito IC Roca descompuesta	IV Alteración Parcial			Hz 4-Completamente descompuesto
	Suelo de Transición	III Alteración Parcial	Residual Joven	Zona Intermedia	Hz 3-Altamente descompuesto
	Meteorización Parcial	II Alteración Parcial	Roca desintegrada	Zona parcialmente alterada	Hz 2-Parcialmente descompuesto
	Roca Sana	Roca Inalterada	Roca sana	Roca inalterada	Hz 1-Roca sana
	Deere-Paton 1971	**Chandler 1969**	**Vargas 1951**	**Sowers 1954-1963**	**Duque-Escobar 2002**

Tabla 1.2- CALIDAD DE LAS ROCAS IN SITU

Calidad [1 MPa = 10,197 Kg/cm2]	**Resistencia a la Compresión Simple (MPa)**	**Resistencia a la Compresión Simple (Kg/cm^2)**
Muy dura	> 200	> 2500
Dura	120– 200	1000-2500
Medio dura	60 – 102	500-1000
Medio blanda	30 – 60	250-500
Blanda	10 – 30	50-250
Muy blanda	< 10	10-15
Fuentes:	Walsh, en ifcextapps.ifc.org	Conanma, en conanma.com

Imagen 1.14- Los Macizos rocosos en Manizales		
Complejo Quebradagrande	Formación Manizales	Formación Casabianca
Unidad Cretácica constituida por dos miembros: uno volcánico y otro, el que se muestra, metasedimentario, constituido por areniscas líticas, brechas sedimentarias, chert, lutitas, grauvacas, etc.	Formación del Terciario, edad de 4 a 8 millones de años. Suprayace a Quebradagrande y es suprayacida por la Formación Casabianca o por la secuencia volcaniclástico de Manizales.	Unidad conglomerática del Terciario Superior, de color rojizo o amarillo y alto grado de meteorización. Con la anterior FM y las Cenizas de cobertura, constituye el supraterreno de Manizales.

Tabla 1.2- ALTERACIÓN DE SILICATOS COMUNES (Leet y Judson 1977)

Mineral	**Composición**	**Productos**
Olivino	$(Fe, Mg)_2 Si O_4$	Limonita, Hematita, Carbonatos de Fe y Mg, Cuarzo dividido, Sílice en solución
Hornblenda, Augita y Biotita	Silicatos de Al, con Fe, Mg, Ca	Arcilla, Calcita, Limonita, Hematita, Carbonatos solubles, Cuarzo dividido, Sílice en solución
Anortita y Albita	$Ca (Al Si_3 O_8)$ y $Na (Al Si_3 O_8)$	Arcilla, Cuarzo dividido, Calcita
Ortoclasa	$K (Al Si_3 O_8)$	Arcilla, Carbonato de K soluble
Cuarzo	$Si O_2$	Granos de Cuarzo y algo de Sílice en solución

Tabla 1.3. SUELOS FINOGRANULARES: IDENTIFICACIÓN MANUAL

Nombre descriptivo	Resistencia enestado seco	Reacción a la dilatancia	Tenacidad del hilo plástico	Tiempo de asentamiento (P. dispersión)
Limo arenoso	Ninguna a muy baja	Rápida	Débil a friable	30seg a 60min
Limo	Muy baja a baja	Rápida	Débil a friable	15min a 60 min
Limo arcilloso	Baja a media	Rápida a lenta	Media	15min a varias hr
Arcilla arenosa	Baja a alta	Lenta a ninguna	Media	30min a varias hr
Arcilla limosa	Media a alta	Lenta a ninguna	Media	15min a varias hr
Arcilla	Alta a muy alta	Ninguna	Alta	Varias hr a días
Limo orgánico	Baja a media	Lenta	Débil a friable	15min a varias hr
Arcilla orgánica	Media a muy alta	Ninguna	Alta	Varias hr a días
Fuente: Peck, Hanson y Thornburn, 1974.				

DOCUMENTOS DE COMPLEMENTO ON LINE:

Apuntes sobre suelos: algunas relaciones roca-mineral-suelo. Jaramillo Jaramillo, Daniel Francisco (1987) http://www.bdigital.unal.edu.co/1728/

El Intemperismo: Duque Escobar, Gonzalo (2014)**.** Universidad Nacional de Colombia, Manizales. See more at: http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/286/intemperismoometeorizacion.pdf

Fisiografía y geodinámica de los Andes de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo and Duque Escobar, Eugenio (2016) Universidad Nacional de Colombia. Manizales http://www.bdigital.unal.edu.co/52776/1/fisiografiaygeodinamicadelosandesdecolombia.pdf

ROCAS ÍGNEAS – Manualgeo Cap 07 | http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/281/rocasigneas.pdf

ROCAS METAMÓRFICAS – Manualgeo Cap 13 | http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/306/rocasmetamorficas.pdf

ROCAS SEDIMENTARIAS – Manulageo Cap 09 | http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/287/rocassedimentarias.pdf

GEOMECÁNICA. Duque Escobar, Gonzalo and Escobar P., Carlos Enrique. Universidad Nacional de Colombia (2016). See more at:
http://galeon.com/geomecanica