TOMO II
MECÁNICA DE SUELO

Adrián Oscar Macías Loor
Luis Santiago Quiroz Fernández
Daniel David Carvajal Rivadeneira
Denny Augusto Cobos Lucio
Betsy Elizabeth Fienco Sánchez
Jaime Adrián Peralta Delgado
Jimmy Manuel Zambrano Acosta

Ingeniería y Tecnología

3ciencias

TOMO II
MECÁNICA DE SUELO

Adrián Oscar Macías Loor
Luis Santiago Quiroz Fernández
Daniel David Carvajal Rivadeneira
Denny Augusto Cobos Lucio
Betsy Elizabeth Fienco Sánchez
Jaime Adrián Peralta Delgado
Jimmy Manuel Zambrano Acosta

Editorial Área de Innovación y Desarrollo,S.L.

Quedan todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida, distribuida, comunicada públicamente o utilizada, total o parcialmente, sin previa autorización.

© del texto: **los autores**

ÁREA DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO, S.L.

C/ Els Alzamora, 17 - 03802 - ALCOY (ALICANTE) info@3ciencias.com

Primera edición: **abril 2018**

ISBN: **978-84-948577-7-5**

DOI: http://dx.doi.org/10.17993/IngyTec.2018.36

AUTORES

Adrián Oscar Macías Loor, Ingeniero en Petróleos, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, Máster en Administración de Empresas con Mención en Recursos Humanos, Universidad Laica "Eloy Alfaro de Manabí", Manta, Ecuador. Investiga temas: Gestión por procesos en la Administración Pública ecuatoriana, Uso de materiales alternativos para la Construcción, Geología de Manabí. Director de Talento Humano Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rocafuerte, Manabí. Director de Planificación Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rocafuerte, Manabí. Consultor de procesos de reingeniería de procesos para varias organizaciones ecuatorianas públicas y privadas. Actualmente profesor de la Universidad Estatal del Sur de Manabí.

Luis Santiago Quiroz Fernández, Ingeniero Civil por la Universidad Técnica de Manabí. Magíster en Administración Ambiental por la Universidad de Guayaquil. Doctor en Ciencias Técnicas por la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". Actualmente Director del Instituto de Posgrado de la Universidad Técnica de Manabí.

Daniel David Carvajal Rivadeneira, Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Manabí Portoviejo, Ecuador; Magister en Administración Pública, Mención Desarrollo Institucional, Universidad Tecnológica América. Quito, Ecuador. Investiga temas: Proyectos de Obra Pública, Fiscalización y Administración de Proyectos, Administración Publica Ecuatoriana, Gobiernos por Resultados, Materiales de Construcción, Auditoría de Obras. Ha trabajado como fiscalizador, inspector de materiales y hormigones, inspector de obra y en los estudios y diseños de grandes obras en Manabí, Auditor Técnico de Obras, Director de Auditoría Interna, Director de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Portoviejo, Auditor General Internos de los GAD´s en la Contraloría General del Estado, Coordinador General del Gobierno Provincial de Manabí. Ha sido profesor en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Campus Manabí, y actualmente es profesor de la Universidad Estatal del Sur de Manabí.

Denny Augusto Cobos Lucio, Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. Magister en Construcción de Obras Viales, Universidad Técnica de Manabí. Investiga temas: Identificación de zonas seguras para edificaciones de categoría baja en la ciudad de jipijapa, Ecuador. Libre ejercicio profesional en actividades de ingeniería civil como contratista, fiscalizador, residente, consultor. Actualmente profesor en la Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador.

Betsy Elizabeth Fienco Sánchez, Arquitecta, Universidad Estatal de Guayaquil, Guayas, Ecuador, Máster en Gerencia Educativa, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Ecuador. Investiga temas: Alternativas en construcción relacionada a las ciencias técnicas. Jefa departamental en el área de planificación y urbanismo en el Gobierno Municipal de Puerto López, Manabí. Contratista de obras civiles. Actualmente profesor de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador.

Jaime Adrián Peralta Delgado, Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Manabí, Manabí, Ecuador; Master en Gestión Ambiental con Mención en la Evaluación del Impacto Ambiental, Universidad de Pinar del Rio, Pinar del Rio, Cuba; Investiga tema "Índices Ambientales para la construcción de Vías en el Ecuador", Contratista de Obras. Director de Fiscalización de obras civiles. Actualmente Profesor de la Universidad Estatal del Sur de Manabí.

Jimmy Manuel Zambrano Acosta, Ingeniero Zootecnista de la Universidad Técnica de Manabí, Magister en Investigación y Gestión de Proyectos Universidad Técnica de Manabí, actualmente estoy terminando el Doctorado en "Educación" en el Centro de Perfeccionamiento de la Educación Superior de la Universidad de la Habana-Cuba. Investiga en temas: Estudios para la creación de una planta procesadora de lácteos en el Cantón Chone, Desarrollo de Habilidades investigativas en estudiantes de Pregrado y Postgrado, desarrollo de habilidades investigativas en estudiantes de informáticas, Virtualización de los Procesos Universitarios, Actualmente Profesor Investigador titular Principal Tiempo Completo: Facultad de Filosofía Letras y Ciencias de la Educación y Coordinador del Instituto de Postgrado de la Universidad Técnica de Manabí

ÍNDICE

CAPÍTULO I: LA GEOLOGÍA. SU ALCANCE E IMPORTANCIA PARA LA INGENIERÍA CIVIL. ELEMENTOS DE MINERALOGÍA: DESCRIPCIÓN, CLASIFICACIÓN Y PROPIEDADES DE LOS MINERALES.....11

1.1 Introducción a la asignatura.....13

1.2 Elementos de mineralogía: descripción, clasificación y propiedades de los minerales 15

1.2.1 Elementos de Mineralogía 15

1.2.2 Para su clasificación los minerales se dividen principalmente por sus propiedades químicas y actualmente constan de ochos (8) clases 16

1.2.3 Propiedades de los minerales 16

CAPÍTULO II: ROCAS. CLASIFICACIÓN GENERAL Y SUS USOS EN LA CONSTRUCCIÓN. ROCAS ÍGNEAS, FORMAS DE YACENCIA, TEXTURA Y ESTRUCTURA. ROCAS METAMÓRFICAS: ORIGEN Y CLASIFICACIÓN. ROCAS SEDIMENTARIAS: ORIGEN Y CLASIFICACIÓN 19

2.1 Clasificación general de las rocas. Ciclo de las rocas.....19

2.1.1 Rocas ígneas 20

2.1.2 Rocas sedimentarias 20

2.1.3 Rocas metamórficas.....20

2.2 Formas de yacencia de las rocas ígneas.....21

2.3 Estructura y textura de las rocas ígneas.....21

2.4 Textura de las rocas ígneas.....21

2.5 Relación entre el tipo de roca ígnea y su textura 22

2.5.1 Rocas intrusivas 22

2.5.2 Rocas hipabisales.....22

2.5.3 Rocas volcánicas 23

2.6 Clasificación de las rocas ígneas.....23

2.7 Clasificación química de las rocas ígneas 23

2.8 Las rocas metamórficas. El metamorfismo 24

2.8.1 Factores del metamorfismo 24

2.8.2 Estructuras de las rocas metamórficas 24

2.8.3 Clasificación y descripción de las rocas metamórficas.....24

2.9 Rocas Sedimentarias 27

CAPÍTULO III: ELEMENTOS DE GEOLOGÍA ESTRUCTURAL: IMPORTANCIA, PRÁCTICA PARA EL INGENIERO CIVIL DE LOS FENÓMENOS DE YACENCIA DE LOS ESTRATOS, ESTRATIGRAFÍA, PLEGAMIENTOS, FALLAS, DIACLASAS Y DEL ESTUDIO DE LAS DISLOCACIONES TECTÓNICAS 31

3.1 Las dislocaciones tectónicas.....34

3.2 Estudio de los plegamientos. Clasificación.....34

3.2.1 Elementos de los pliegues 35

3.2.2 Clasificación de los pliegues.....35

3.2.3 Importancia práctica del estudio de los pliegues 37

3.3 Diaclasas 38

3.4 Fallas 39

3.4.1 Elementos de una falla.....39

3.4.2 Importancia práctica del estudio de las fallas.....41

CAPÍTULO IV: ELEMENTOS DE GEODINÁMICA INTERNA Y EXTERNA. METEORIZACIÓN Y EROSIÓN. FORMACIÓN DEL SUELO. RECONOCIMIENTO DE LOS SUELOS. ACTIVIDAD GEOLÓGICA DE LOS RÍOS Y LOS MARES. AGUAS SUBTERRÁNEAS. DESLIZAMIENTOS DE TIERRA. EL CARSO Y SUS IMPLICACIONES EN LA CONSTRUCCIÓN 43
4.1 Elementos de Geodinámica 43
4.2 Meteorización y erosión 44
4.2.1 Meteorización 44
4.2.2 La erosión 44
4.3 Formación del suelo 44
4.4 Perfil geológico del suelo 44
4.5 Actividad geológica de los ríos y mares 45
4.5.1 Hidratación 46
4.5.2 Aguas Subterráneas 46
4.5.3 Rocas acuíferas 47
4.5.4 Acuífero libre 47
4.5.5 Problemas que ocasionan las Aguas Subterráneas para la construcción 48
4.6 El Carsismo 48
4.6.1 Problemas del Carsismo para la construcción 48
CAPÍTULO V: INVESTIGACIONES INGENIERO – GEOLÓGICA. LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO. MAPAS GEOLÓGICOS. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS 49
5.1 Investigaciones geológicas 49
5.2 Pasos de la investigación ingeniero geológica 49
5.3 Levantamiento geológico 53
5.4 Interpretación de los mapas geológicos 53
CAPÍTULO VI: PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS. RELACIONES FUNDAMENTALES VOLUMÉTRICAS Y GRAVIMÉTRICAS 55
6.1 Tipos de suelos por su origen 55
6.2 Estructura de los suelos 57
6.3 Depósito de suelo y análisis granulométrico 58
6.4 Consistencia del suelo 64
6.5 Clasificación del suelo 65
6.5.1 Sistemas de clasificación 65
CAPÍTULO VII: SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS. CAPILARIDAD Y PERMEABILIDAD 67
7.1 Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) 69
7.2 Procedimiento paso a paso para la clasificación de suelo 72
BIBLIOGRAFÍA 73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Relación Geología-Ingeniería Civil 15
Tabla 2: Minerales comunes en las rocas metamórficas.....28
Tabla 3: Clasificación simplificada de las principales rocas metamórficas.....29
Tabla 4: Clasificación de algunas rocas sedimentaria y productos relacionados 30
Tabla 5: Clasificación simplificada de las rocas sedimentarias.....31
Tabla 6: Espaciamiento de calas según proyecto para las redes de perforación con la densidad y profundidad requerida.....52
Tabla 7: Profundidad de las calas en cimentación de edificios (m).....52
Tabla 8: Límites de tamaño de suelos separados (pág.3 L/T Brajas M. Das).....58
Tabla 9: Tamaño de maya estándar en EE.UU. (pág.8 L/T Brajas M. Das).....59
Tabla 10: Análisis por medio de mallas (masa de muestra de suelo seco = 450g). (pág.9 L/T Brajas M. Das) 60
Tabla 11: Resultados de un análisis por cribado 62
Tabla 13: Descripción cualitativa de depósitos de suelo granular. (pág. 23 L/T Brajas M. Das).....65
Tabla 14: Relación de vacío, contenido de agua y peso específico seco. (pág. 23 L/T Brajas M. Das) 65
Tabla 15: Sistema de clasificación AASHTO.....71
Tabla 16: Símbolos de grupo para suelo tipo grava 72
Tabla 17: Símbolos de grupo para suelos arenosos 73
Tabla 18: Símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos 73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Elementos de un estrato (pág. 172 L/T Geología para Ingenieros T: I Sergio Paz).....32
Figura 2: Rumbo y buzamiento de un estrato (pág. 178 L/T Geología para Ingenieros T: I Sergio Paz) 32
Figura 3: Elementos de una falla (pág. 259 L/T Geología para Ingenieros T: I Sergio Paz).....39
Figura 4: Curvas de distribución de tamaño de partículas (curvas granulométricas). (pág.12 L/T Brajas M. Das) 58
Figura 5: Tipos diferentes de curvas gravimétricas (pág.12 L/T Brajas) 59
Figura 6: (a) Elemento de suelo en estado natural, (b) tres fases de elementos de suelo. (Pág.18 L/T Brajas M. Das).....61
Figura 7: Tres fases separadas de un elemento de suelo con volumen de sólidos de suelo igual a 1. (Pág.21 L/T Brajas M. Das).....62
Figura 8: Límites de Atterberg (Pág.27 L/T Brajas M. Das) 64
Figura 9: Carta de plasticidad (Pág.34 L/T Brajas M. Das).....64

CAPÍTULO I: LA GEOLOGÍA. SU ALCANCE E IMPORTANCIA PARA LA INGENIERÍA CIVIL. ELEMENTOS DE MINERALOGÍA: DESCRIPCIÓN, CLASIFICACIÓN Y PROPIEDADES DE LOS MINERALES

Objetivo

Caracterizar la asignatura, su objeto de estudio, la geología, y alcance, así como su interdisciplinariedad con otras ciencias, a través de la carrera de Ingeniería Civil, logrando inculcar en el estudiante la F.V como respeto a las legislaciones, normas y regulaciones del país..

Introducción

El lugar para ubicar un supermercado fue fijado estratégicamente en la intersección de dos calles principales, aunque la mayor parte del terreno era la ladera de la colina. A fin de disponer de suficiente espacio horizontal para la construcción del edificio y para el estacionamiento de los automóviles, se hizo un amplio de corte al pie de talud, lo que aumentó la pendiente de la ladera, pero como el suelo era aparentemente muy firme, el constructor supuso que estaría segura. Unos meses después, el propietario notó que se levantaba la esquina posterior de su nuevo edificio que estaba a seis metros del pie del corte, al mismo tiempo, la calzada entre el edificio y la colina se hacía más angosta. Según el constructor, la causa de este fenómeno era el deslizamiento de la tierra al pie del talud, por lo cual construyó un muro de sostenimiento de tierras de concreto para impedir el movimiento. En vez de detenerse el deslizamiento, el muro y la colina se movieron hacia el edificio y la ladera para soportar el muro de concreto y la colina. El movimiento continuo del mismo modo. Finalmente, y ya desesperado, construyó una viga horizontal de concreto armado contra el tablestacado soportada por pilotes inclinados de acero de sección H hincados hasta la roca. La ladera, el muro, el tablestacado y la viga continuaron avanzando hacia el edificio.

Una investigación de las condiciones del suelo reveló que la arcilla firme de la ladera de la colina adsorbió agua, y se expansionó cuando el peso sobre el suelo se redujo al hacerse el corte del pie de talud. La expansión se produjo lentamente, por eso el talud recién excavado parecía estable. El suelo expansionado era mucho más débil que en su estado natural y no podía sostenerse así mismo con la nueva pendiente del talud. El muro de sostenimiento de tierras y el tablestacado se proyectaron, siguiendo las fórmulas usuales, y fueron insuficientes para resistir la masa de tierra sin soporte, que se movía en la ladera.

El proyecto no era y el costo de excavación y edificio fue de un poco más de 100,000 dólares. El costo del muro de sostenimiento, el tablestacado y la viga de hormigón fue de 80,000 dólares, casi tanto como el costo del proyecto original, pero fue inútil para corregir los defectos. En ese momento la totalidad del proyecto era un desastre económico, porque las obras de reparación de la inestable ladera fueron más costosas que el propio edificio.

El propietario decidió que la única alternativa que tenía para la bancarrota era mantener en servicio el negocio. Arrendó una pala mecánica y un camión, y cada semana quitaba y el pie de talud, el suelo que se deslizaba lo transportaba a la cima del área que se deslizaba, descargándolo sobre la masa de suelo que se movía. Su objetivo era rellenar la depresión formada por el deslizamiento y proteger una calle de la ciudad y algunas casas situadas más arriba en la colina. El relleno solo agravó el movimiento y no pudo soportar el terreno que estaba arriba del deslizamiento. Primero una calle, después una tubería principal de gas y, por último, las casas distantes quedaron destruidas y, al final todo lo tuvo que pagar el dueño del establecimiento. Las ventas en este lugar eran tan buenas, que aun siendo muy costoso el creciente deterioro, no se decidía a interrumpirlas. Finalmente, después de tres años, obtuvo servicios profesionales e instaló un sistema de drenaje que redujo gradualmente el agua en la ladera, cesando virtualmente el movimiento. El costo de la solución del técnica del problema fue menor que la cantidad gastada.

Estos fracasos no son raros, ilustran la necesidad de hacer estudios cuidadosos y científicos del suelo, aun en los casos de pequeños proyectos. Aunque las condiciones encontradas en el ejemplo anterior no son normales, pudieron haber sido previstas, si se hubiera hecho una investigación que hubiera costado menos de 1,000 dólares, y se hubiera podido hacer un proyecto seguro para la ladera de la colina y la estructura, dentro de los límites económicos del proyecto total.

Tradicionalmente, los ingenieros y constructores no le han dado a los problemas del suelo la atención que requieren. Muy a menudo, las obras de construcción que implican problemas de suelos se han basado en tanteos ciegos, pero los costosos fracasos y la muerte de trabajadores son un precio demasiado alto que se paga por la experiencia.

De ahí la importancia del estudio de la Ingeniería Geotécnica en la carrera de Ingeniería Civil.

La ingeniería Geotécnica es la rama de la Ingeniería Civil e Ingeniería Geológica que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de los suelos, hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes de la tierra. Los Ingenieros Geotécnicos investigan el suelo y las rocas por debajo de la superficie para determinar sus propiedades y diseñar las cimentaciones para estructuras tales como: edificios, puentes, centrales hidroeléctricas, estabilizar taludes, construir túneles y carreteras. Por ello además de entender los principios de la mecánica y de la hidráulica, se necesita un adecuado dominio de los conceptos básicos de la geología. Es de especial importancia conocer las condiciones bajo las cuales determinados materiales fueron creados o depositados, y los posteriores procesos estructurales o deagéneticos (proceso metamórficos, de sustitución, cristalización) que han sufrido.

Diseños para estructuras construidas por encima de la superficie, incluyen cimentaciones superficiales (zapatas), cimentaciones profundas (pilotes y muros de construcción). Presas y diques son estructuras que pueden ser construidas de suelo o roca y que para su estabilidad y estabilización dependen en gran medida de los

materiales sobre los que están asentados o de los cuales se encuentran rodeados. Finalmente los túneles son estructuras construidas a través del suelo o roca y que dependen en gran medida de las características de los materiales a través de los cuales son construidos, para definir el sistema de construcción, la duración de la obra y los costos.

Los Ingenieros Geotécnicos también investigan el riesgo para los seres humanos, las propiedades y el ambiente de fenómenos naturales o propiciados por la actividad humana (antropogénicos) tales como: deslizamientos de tierras, hundimientos de tierra, flujos de lado y caídas de rocas.

Antiguamente a la Geotecnia se le identificaba como la mecánica de los suelos, pero el termino se amplió para incluir temas como la Ingeniería Sísmica, la elaboración de materiales geotécnicos, mejoramiento de los suelos, interacción suelo – estructura y otros. Sin embargo la Geotecnia, es una de las ramas más jóvenes de la Ingeniería Civil y, por tanto, sigue evolucionando activamente.

Se considera a Karl Terzaghi como el padre de la ingeniería Geotécnica y la Mecánica de los Suelos. (T. William Lambé & Whitman., 1896)

Nota: En la geología aplicada a la ingeniería se entiende por suelos las rocas utilizadas como objetivo de la actividad técnica del hombre

1.1 Introducción a la asignatura

Geotecnia: aplicación de los principios geológicos e ingenieros, así como de los métodos, para resolver problemas de la Ingeniería Civil. Incluye la mecánica de suelos, la mecánica de rocas y los aspectos ingenieros de la geología aplicada.

Tabla 1: Relación Geología-Ingeniería Civil.

Geología	**Ingeniería Civil**
Geotecnia	
Ingeniería geológica Empírico- descriptiva	Mecánica de Suelo Teórico-Analítica Experimental

Ingeniería-geológica: Estudia los factores geológicos que afectan la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de estructuras ingenieras.

Mecánica de suelo: ciencia teórica y aplicada del comportamiento mecánico de los suelos; representa una rama de la mecánica aplicada que tiene que ver con la respuesta del suelo a (estados tensionales, cargas) de su entorno físico.

Mecánica de suelo (Terzaghi): es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con suelos.

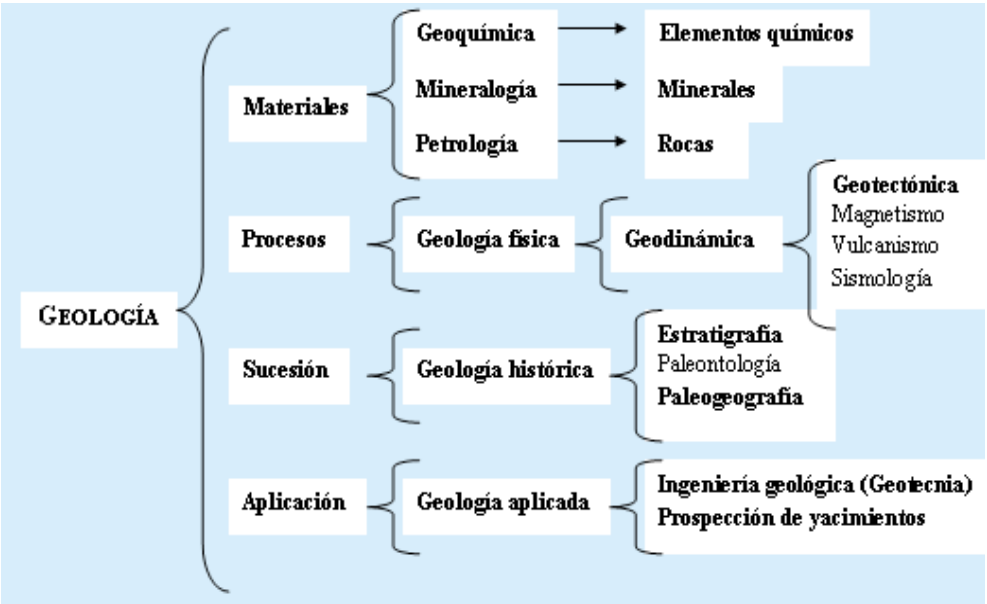
La geología, su alcance

Geología: según su etimología --- geo- tierra, logia—tratado, estudio

La geología constituye una rama de las ciencias naturales que trata sobre nuestro planeta.

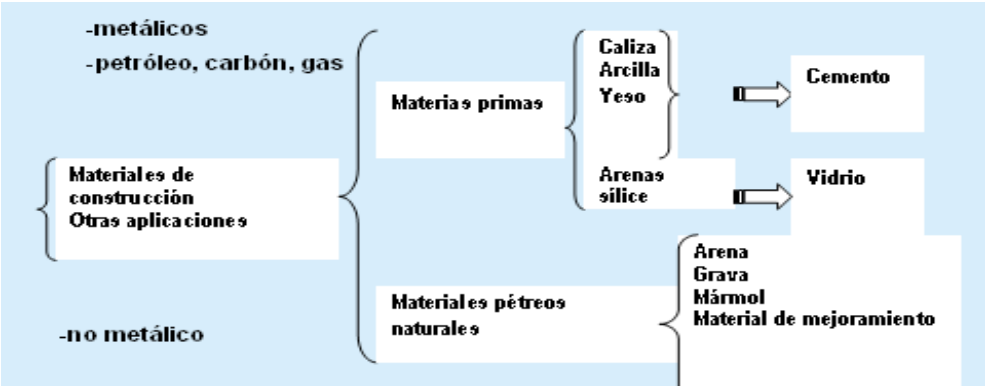
Geología: estudia la composición, estructura y desarrollo del planeta Tierra. Su objeto principal de estudio es la litosfera (esfera pétrea, que constituye la capa sólida, exterior de la Tierra, donde se producen grandes cambios)

La geología estudia los siguientes aspectos:



Alcance o campo de aplicación

a. Investigaciones para la búsqueda y evaluación de yacimientos minerales



b. Investigaciones para las zonas de emplazamiento de obras: viales, edificaciones, hidráulicas, túneles, etc.

1.2 Elementos de mineralogía: descripción, clasificación y propiedades de los minerales

Objetivo

Reconocer los elementos básicos de la mineralogía, teniendo en cuenta la clasificación y propiedades de los minerales, logrando consolidar la formación de una concepción científica del mundo que le permitan interpretar los problemas geológicos y geotécnicos, para desarrollar el pensamiento lógico como F.V.

Introducción

Estudiaremos aspectos básicos de mineralogía, conocimiento elemental que debe tener el ingeniero a la hora de realizar una investigación ingeniero-geológica o realizar una interpretación del informe. Se introducirá el estudio de la composición de la Tierra, es decir, de los materiales que componen la corteza terrestre. Entre ellos, como ustedes deben recordar, se encuentran los minerales que serán el objeto de estudio fundamental de la conferencia.

1.2.1 Elementos de Mineralogía

Por mineral se comprende cualquier compuesto formado naturalmente y que integran la corteza terrestre. Minerales se consideran también todos los elementos químicos que se encuentran en la corteza terrestre en estado libre. Pueden ser gaseosos, líquidos o sólidos.

Como todos los compuestos no son estables en las condiciones existentes en la corteza terrestre, la cantidad de ellos es limitada, en total se conocen cerca de 3000 minerales diferentes. La mayoría son compuestos cristalinos sólidos. Los minerales amorfos conocidos son muy pocos.

La distribución de los minerales en la corteza terrestre es muy irregular, y en la formación de las rocas sólo desempeñan un papel principal cerca de 10 llamados minerales formadores de rocas. Estos minerales se hallan dentro de la clase de los silicatos. La mayoría de los restantes denominados minerales accesorios están presentes en las rocas en cantidades no considerables, sin embargo tienen gran significación económica, ya que entre ellos están todas las minas de los minerales no ferrosos y además, ejercen gran influencia sobre las distintas propiedades de las rocas.

En la naturaleza, los minerales pueden encontrarse en forma de cristales y granos aislados, diseminados en las rocas, en forma de masas policristalinas y terrosas, en concreciones, sedimentos, así como incrustaciones y módulos. Algunos cristales de cuarzo, feldespato y espodumena pueden tener grandes dimensiones, pero la mayoría de los minerales se encuentran en forma de cristales pequeños. (Ralph B. Peck, Walter E. Hanson, & ., 1990)

1.2.2 Para su clasificación los minerales se dividen principalmente por sus propiedades químicas y actualmente constan de ochos (8) clases

1. Elementos nativos.
2. Sulfuros y sulfominerales.
3. Óxidos y óxidos hidratados.
4. Haluros
5. Nitratos, carbonatos y baratos.
6. Fosfatos, cromatos, molibdatos y wolframatos.
7. Fosfatos, areniscas y vanadatos.
8. Silicatos.

1.2.3 Propiedades de los minerales

1. **Propiedades físicas:**
    - **Exfoliación y fracturas.**
    - **Dureza:** oposición que ofrece el mineral a dejarse rayar, escala de dureza (de menor a mayor) de Mohs, comprende 10 minerales:
        1. Talco
        2. Yeso
        3. Calcita
        4. Fluorita
        5. Apatito
        6. Feldespato ortosa
        7. Cuarzo
        8. Topacio
        9. Corindón
        10. Diamante
    - **Peso específico:** es la relación entre el peso y el volumen de una masa de suelo.
    - **Tenacidad:** resistencia de un mineral a dejarse romper, moler, doblar o desgarrar.
        - » Frágil: si se rompe o se deja reducir a polvo.
        - » Flexible: Si se dobla sin romperse, no recupera su forma original.
        - » Elástico: Si cuando cesan los esfuerzos deformantes, recobra su forma y volumen.
        - » Maleable: si se deja reducir a hojas.
        - » Dúctil: si puede reducirse a hilos.

» Sextil: si se deja cortar con un cuchillo.

2. **Propiedades ópticas:**

- brillo
- color
- diafmidad (transmitir la luz)
- magnetismo

Principales minerales:

- Olivino: es un silicato de magnesio y hierro $(Mg, Fe)_2 SiO_4$ y por tal motivo es un mineral ultrabásico.
- Piroxeno
- Anfíboles
- Feldespato: feldespato potásico u ortosa.
  - » Feldespato sódico – cálcios o plagioclasas
- Micas: biotita o mica oscura
  - » Moscovita o mica clara
- Cuarzo

3. **Los minerales pueden dividirse por su contenido en:**

- Sílice (silicatos): son el grupo más abundante del mundo inorgánico. El 20% de los minerales de la CT con silicatos y ellos forman las rocas ígneas. Estos minerales están presentes en todas las rocas y constituyen más del 90% de la corteza terrestre.
- Félsicos: feldespato, cuarzo.
- Máficos: (alto contenido de Fe y Mg): olivino, los piroboles y la biotita.

.

CAPÍTULO II: ROCAS. CLASIFICACIÓN GENERAL Y SUS USOS EN LA CONSTRUCCIÓN. ROCAS ÍGNEAS, FORMAS DE YACENCIA, TEXTURA Y ESTRUCTURA. ROCAS METAMÓRFICAS: ORIGEN Y CLASIFICACIÓN. ROCAS SEDIMENTARIAS: ORIGEN Y CLASIFICACIÓN

Objetivo

Reconocer las principales rocas cubanas y establecer, a partir de las características generales de las rocas y de los principales minerales que la componen, su utilidad en la construcción, logrando el pensamiento lógico y la capacidad de razonamiento a partir de la conciencia económica.

Introducción

Estudiaremos el ciclo de formación de la roca y el suelo en la naturaleza, y nos detendremos en el estudio y clasificación de las rocas magmáticas. Estos conocimientos serán básicos a la hora de tomar decisiones en el diseño y construcción de un terraplén, o cualquier otra obra civil. Por ejemplo, ¿Sobre qué base se va a construir (cimentar)?

¿Qué características posee? ¿Podrán o no utilizarse estos materiales en la construcción? ¿Cuál será su comportamiento?

2.1 Clasificación general de las rocas. Ciclo de las rocas

La clasificación general de las rocas toma como base su origen, dividiéndose en ígneas, sedimentarias y metamórficas.

Si analizamos las teorías sobre el origen de nuestro planeta, todas coinciden en que el mismo sufrió una etapa de fusión, pasada la cual, ocurrió la solidificación de su corteza. A tales rocas formadas de este modo, se les denomina con propiedad rocas ígneas o primarias.

Las rocas ígneas expuestas al intemperismo se descompusieron química y mecánicamente. Los productos obtenidos pudieron transportarse y acumularse, y con el transcurso del tiempo pudieron consolidarse, dando lugar a un segundo grupo de rocas, las sedimentarias.

Las rocas formadas, tanto ígneas como sedimentarias, estuvieron sujetas a grandes variaciones de temperatura y presión, originándose de este modo las rocas metamórficas.

En los procesos metamórficos la temperatura puede elevarse a tal magnitud, que en algunos casos, las rocas pueden volver a un estado de fusión similar al que originó las rocas ígneas. Esto nos permite formar un ciclo, conocido con el nombre de “ciclo de las rocas.” (Juérez Badillo Eulalio, 1990.)

Rocas:

Las rocas se clasifican (según su génesis) en:

» Rocas ígneas (magmáticas).
» Rocas sedimentarias.
» Rocas metamórficas.

Rocas ígneas: (figura 3.3)

Clasificación genética: se basa en la yacencia geológica (en su posición en la corteza terrestre).

- Intrusivas:

Profundas o abisales: se forman a gran profundidad, están totalmente cristalizadas, estructuras macrogranuda.

Semiprofundas o hipabisales: se forman cerca de la superficie y presentan cristales microscópicos rodeados por una posta microcristalina, que constituye la estructura porfídica.

- Extrusivas: son superficiales

Distinción de los tipos fundamentales de rocas

2.1.1 Rocas ígneas

a. Generalmente son cristalinas, aunque pueden presentar vidrio.
b. En general son rocas muy duras y compactas.
c. Nunca son fosilíferas.
d. No poseen fragmentos de otras rocas.
e. Raramente son estratificadas.

2.1.2 Rocas sedimentarias

a. Generalmente están formadas por elementos que se disponen desordenadamente.
b. Son poco coherentes.
c. Algunas son cristalinas, pero más blandas que las ígneas.
d. En general son estratificadas.
e. Son fosilíferas por excelencia.
f. Es típico la presencia de calcita y arcilla.

2.1.3 Rocas metamórficas

(Mostrar roca)

a. Son cristalinas, de aspecto parecido a las ígneas.
b. Es típica la orientación de sus elementos.
c. Raramente son fosilíferas.
d. Es típico la presencia de actinolita, granates, etc.

Resumiendo

- Rocas Ígneas (duras, cristalinas, compactas)\
- Rocas Sedimentarías (estratificadas, fosilíferas, blandas)
- Rocas Metamórficas (orientadas, cristalinas)

2.2 Formas de yacencia de las rocas ígneas

La formación de los cuerpos magmáticos está determinada por varios factores, tales como la composición del magma, la forma y tamaño de los cuerpos, las características de las rocas de caja, y la proximidad a la superficie. Todo este proceso está íntimamente ligado a la actividad tectónica, es decir, a los movimientos que sufre la corteza, y en tan alto grado que muchos autores consideran que no puede haber magmatismo, si no existe tectonismo.

2.3 Estructura y textura de las rocas ígneas

Antes de comenzar este aspecto, veamos primero qué se entiende por estructura y textura.

Los rasgos arquitectónicos de las rocas se dividen para su estudio en dos grupos:

a. Rasgos morfológicos de mayor envergadura (estratificación, columnas, bloques, etc.).
b. Rasgos morfológicos de menor envergadura (tamaño de los granos, forma, etc.)

Los primeros son denominados textura y los segundos estructura, según la nomenclatura soviética. La terminología norteamericana es todo lo contrario. Nosotros siempre emplearemos la terminología norteamericana.

Después de conocer los términos, pasemos a estudiar las estructuras y texturas de las rocas ígneas.

2.4 Textura de las rocas ígneas

Los factores que se toman como base para su estudio son:

a. Grado de cristalización.

b. Tamaño de los granos.
c. Relaciones mutuas entre granos.

Las texturas pueden ser:

a. Grado de cristalización
   Mostrar rocas:
   1. Holocristalinas (toda cristal)
   2. Holovítreas (todo vidrio)
   3. Merocristalina (vidrio y cristal)

b. Tamaño de los granos
   Mostrar rocas:
   1. Faneríticas (visibles a simple vista)
   2. Afanítica (no visibles)

c. Relaciones mutuas
   Mostrar rocas:
   1. Equigranular (granos iguales)
   2. Porfídicas (inequigranular)

Debemos aclarar que para definir la textura de una roca hay que analizar todos los factores. Además dentro de la textura porfídica pueden existir diferentes tipos.

Ejemplo: Textura porfídica con pasta afanítica

2.5 Relación entre el tipo de roca ígnea y su textura

Para estudiar estas relaciones analizaremos la formación de las texturas de los diferentes tipos de rocas.

2.5.1 Rocas intrusivas

Como ya sabemos, las rocas intrusivas consolidan a grandes profundidades y en cuerpos de dimensiones gigantescas, esto hace que los mismos tengan una cantidad de calor extraordinaria, por lo que la disminución de temperatura es muy lenta.
Ello hace que el magma pueda cristalizar formando grandes cristales. Como las condiciones de consolidación son similares para toda la masa, los cristales formados serán más o menos iguales. Por tanto, la textura de las rocas intrusivas es holocristalina, equigranular y fanerítica.

2.5.2 Rocas hipabisales

Las rocas hipabisales se forman en cuerpos regulares a profundidades intermedias. Al ascender el magma, va perdiendo temperatura, cristalizando primero los minerales de mayor punto de fusión. Esto primero ocurre a profundidades considerables, donde existen buenas condiciones de cristalización, por lo que se

formarán cristales grandes, que quedarán dentro de la fase líquida que asciende. Al ubicarse el magma en cuerpos de regulares dimensiones, la temperatura disminuirá algo más rápido, por lo que el resto del material estará integrado por cristales menores, aunque visibles. Por tanto, la textura de las rocas hipabisales es porfídica con pasta fanerítica. Existen otras texturas, pero son poco frecuentes, por lo que no las analizaremos.

2.5.3 Rocas volcánicas

La lava que consolida en la superficie, ya contiene minerales que han consolidado en la profundidad, es decir, cristales que serán visibles. El resto del material fundido, consolida en la superficie, donde la temperatura disminuye bruscamente, formándose entonces cristales muy pequeños o vidrio. Por tanto, las rocas volcánicas pueden tener textura porfídica con pasta afanítica, holovítreas o afanítica.

2.6 Clasificación de las rocas ígneas

Uno de los problemas fundamentales en Petrografía es la determinación de un sistema o clasificación natural, que permita agrupar la enorme variedad de rocas ígneas presente. Para fijar las categorías, es necesario tomar en consideración una serie de factores, tales como el origen, composición, estructura, etc., y es aquí donde precisamente radican las grandes dificultades. Esto se debe a que las rocas se estudian desde muy variados puntos de vista.

Se deduce, que ha surgido una enorme variedad de sistemas de clasificación, y se han tomado como base:

Yacencia geológica
Composición mineralógica
Composición química

2.7 Clasificación química de las rocas ígneas

Esta clasificación toma como base el % de sílice (SiO_2) que contiene la roca, debido a que la misma constituye el carácter químico esencial.

Se distinguen en cuatro categorías de rocas de acuerdo con el contenido de sílice, que son:

Ácidas	> 66%
Medias	66-52%
Básicas	52-45%
Ultrabásicas	< 45%

De modo muy aproximado estas cuatro categorías pueden distinguirse por el color, así las rocas de composición ácida son de tonos claros, mientras que las básicas son oscuras. Esto se debe a que los minerales claros de las rocas ígneas (félsicos) son muy ricos en sílice, por ejemplo el cuarzo, los feldespatos potásicos, etc., mientras que los minerales oscuros (máficos) son ricos en hierro y magnesio, pero pobres en

sílice, por ejemplo: olivino, piroxeno, etc. (Juérez Badillo & Alfonso., 1983.)

2.8 Las rocas metamórficas. El metamorfismo

El proceso de formación de las rocas metamórficas se denomina metamorfismo y el mismo se define como:

Metamorfismo: es la respuesta de las rocas al ser sometidas a nuevas condiciones físicas y/o químicas, de la corteza terrestre, condicionadas por temperaturas y presiones no ambientales.

2.8.1 Factores del metamorfismo

Los factores que veremos a continuación son los que provocan los cambios metamórficos. Convencionalmente ellos son: la temperatura, la presión y los fluidos activos.

Rocas metamórficas:

Se forman por la transformación de los minerales de rocas anteriores por la acción de la temperatura, la presión y los fluidos activos.

Se dividen en:

- Orientadas: pizarras, la filitas, los esquitos y los neis.
- Macizas: la cuarcita, el mármol y la serpentina.
- Cataclástica: brechas tectónicas, las cataclasitas y las manolitas.

2.8.2 Estructuras de las rocas metamórficas

La estructura de las rocas metamórficas se puede dividir de modo muy simple en dos grupos.

- Orientadas (paralelas) foliación estructura foliada o esquistosa
- No orientadas (masivas)

Las estructuras orientadas son producto de la acción de las presiones sobre las rocas.

2.8.3 Clasificación y descripción de las rocas metamórficas

Para su clasificación, las rocas metamórficas se dividen en dos grupos, de acuerdo con su estructura, ellos son: rocas orientadas y rocas no orientadas.

A continuación describiremos las rocas metamórficas más importantes:

I. Rocas orientadas:

La clasificación de las rocas orientadas se basa en el grado de desarrollo de los gra-

nos minerales y en la composición de las mismas

A. Pizarras

Son rocas de granos finamente escamosos, con esquistosidad (pizarrosidad). Ellas poseen gran cantidad de minerales arcillosos y sus granos no se ven a simple vista. Se originan debido al metamorfismo regional de grado bajo sobre rocas arcillosas y tobas.

B. Filitas

Son rocas muy similares a las pizarras pero con los granos algo más desarrollados aunque continúan siendo microscópicos. A simple vista se nota un brillo sedoso.

C. Esquistos

Ya en esta roca los minerales tienen un desarrollo tal, que permiten su identificación a simple vista, además posen una esquistosidad notable. El nombre de estas rocas depende de la composición mineralógica. Por ejemplo esquistos cuarcíferos micáceo, etc., El origen de estas rocas es muy variado, pero podemos decir que se deben al metamorfismo regional de diferentes tipos de rocas.

II. Rocas no orientadas:

A. Mármoles

Son rocas compuestas por granos de calcita recristalizada muy bien unidos entre sí. Pueden estar formados por dolomita, pero son menos frecuentes. Su origen es debido a la acción del metamorfismo de contacto o regional sobre calizas. Su textura es granular, notándose claramente la calcita como individuos, esta es la diferencia con la caliza. Reacciona con el ácido clorhídrico. Su color es variable, dependiendo de las impurezas.

B. Cuarcitas

Está compuesta por granos de cuarzo muy unidos entre sí, de textura granular. Su origen es debido al metamorfismo regional o de contacto sobre areniscas cuarcíferas.

C. Serpentinitas

Son rocas compuestas por uno o varios minerales del grupo serpentinita. Su reconocimiento se limita a distinguir los minerales del grupo, es decir, bastita, serpofita, antigorita, o crisolito. Su origen se debe al autometamorfismo de las rocas ultrabásicas. Son rocas muy abundantes en toda Cuba.

D. Anfibolitas

Formadas por plagioclasas y anfíbol. Tienen estructura masiva. Se originan producto del metamorfismo regional sobre rocas ígneas de composición básica, sedimentos carbonatados impuros, etc.

E. Productos cataclásticos

Se trata de rocas muy trituradas, originadas por el metamorfismo dinámico. Estos productos se clasifican tomando como base el tamaño de los fragmentos en:

- brechas tectónicas
- cataclásticas
- milonita

Tabla 2: Minerales comunes en las rocas metamórficas**.**

Mineral	Origen más frecuente
Cuarzo	Por introducción, recristalización O como residuo.
Feldespatos	Por introducción y como resultado del metamorfismo térmico.
Hornablenda	A partir de rocas medias y básicas.
Termalita y actinolita	Generalmente por alteración de hornablenda o piroxenos, también por reorganización de la roca a temperaturas moderadas.
Wollastonita	A partir de la caliza.
Moscovita	A partir de sedimentos arcillosos y de rocas con feldespato potásico.
Biotita	A partir de sedimentos arcillosos
Magnetita	A partir de sedimentos ferruginosos.
Calcita	Por cristalización de caliza.
Dolomita	Por cristalización de dolomitas.
Grafito	A partir de sustancias carbonatadas de las rocas sedimentarias.
Clorita	Por recristalización de minerales arcillosos, por alteración de biotita y hornablenda.
Serpentinita	A partir de peridotitos y piroxenitas.
Talco	Generalmente por alteración de serpentinita.
Epidota	A partir de minerales ígneos generalmente, con proporciones adecuadas de calcio, aluminio y silicio.
Granates	Formación muy compleja a temperaturas muy elevadas en diversos ambientes geológicos.
Andalucita	A partir de sedimentos arcillosos.
Cianita	Formación compleja a elevadas temperaturas y presiones.
Estaurolita	Similar a cianita.

Tabla 3: Clasificación simplificada de las principales rocas metamórficas.

Según su estructura	Rocas	Principales características
Rocas orientadas	Pizarras	Rocas finamente foliadas. Granos muy finos.
	Filitas	Foliada. Se observan pequeños cristales. Se observa brillo sedoso.
	Esquitos	Esquistosidad notable. Minerales que se pueden identificar macroscópicamente.
	Gneis	Rocas de granos gruesos con bandas alternas claras y oscuras.
Rocas no orientadas	Mármol	Rocas carbonatadas formadas por granos de calcita o dolomita bien desarrollada.
	Cuarcita	Formada por granos de cuarzo bien unidos entre sí. Rallan al vidrio.
	Serpentinita	Formadas por uno o varios de los minerales del grupo serpentinita. Color abigarrado.
Rocas cataclásticas	Brecha tectónica	Formada por fragmentos grandes derivados de la trituración.
	Cataclástica	Integrada por fragmentos medianos.
	Milonitas	Rocas finamente trituradas.

2.9 Rocas Sedimentarias

Las rocas sedimentarias tienen una gran importancia, tanto desde el punto de vista teórico como práctico. Muchas de esas rocas se emplean como materia prima para la fabricación de importantes materiales de la construcción (cal, cemento, etc.), mientras que otras resultan materiales pétreos naturales (arena, arcilla).La mayor parte de la superficie de las tierras emergidas está cubierta de rocas sedimentarias, por lo que la mayoría de las construcciones se levantan sobre las mismas.

Son las más abundantes sobre la superficie de la terrestre y las que más amplio uso tienen en la construcción.

Estas rocas se originan de tres maneras diferentes:

A. Agentes mecánicos: acción física sobre la roca, desintegrándola y reduciéndola a clastos y fragmentos, por la acción del viento, la lluvia, el hielo, los cambios de temperaturas.

B. Agentes químicos: pueden actuar en dos sentidos por descomposición o por precipitación. Por descomposición de las rocas se obtienen soluciones que disuelven las sales y residuos insolubles de la roca que quedan en el lugar. Por precipitación química se forman las rocas a expensas de la precipitación de

las sales que se hallan en una cuenca marina y al aumentar su concentración forman las precipitaciones que dan origen a las rocas. Así se forman las calizas por la precipitación del $CaCO_3$ (carbonato de calcio).

C. Agentes orgánicos: los organismos vivos segregan $CaCO_3$ o sílice y forman grandes acumulaciones de rocas organógenas formadas por caparazonas o conchas.

Estos factores no activan de forma aislada, sino que concurren todos ellos para originar la roca sedimentaria. Lo que sucede es que un agente prevalece sobre los restantes y por eso se dice que la roca tiene un origen de uno u otro tipo.

Las rocas sedimentarias son la fuente de materia prima que se utilizan en la construcción, sin embargo las rocas metamórficas se emplean poco. (Manuel., 1990.)

Tabla 4: Clasificación de algunas rocas sedimentaria y productos relacionados.

Tipos generales	Rocas principales	Textura y/o estructura clásica	Composición generalizada
Rocas clásicas	Conglomerado y brecha Arenisca Limolita Lutita (S.L)	Fragmento en mm: Grava > 2 sefítica Arena 2-1/16 samítica Limo 1/16 -1/256 pelítica Arcilla < 1/256 pelítica	Fragmentos de rocas diversas. Granos de rocas y minerales diversos. Granos de minerales diversos. Minerales arcillosos, carbonato.
Rocas cristalinas, químicas, organógenas.	Caliza de muchos tipos: Dolomita Pedernal Evaporita Fosforita	Cristalina, pelitomorfa, organógena. Cristalina sacaroidal. Densa, afanítica, fractura concoidal. Cristalina, granular. Densa, pelitomorfa.	Calcita: Dolomita, calcita. Sílice en forma de ópalo y calcenia. Yeso – anhidrita, halita. Fosfato, glaucomita, calcita, minerales arcillosos.
Combustibles	Turba Asfáltica	Amorfa Amorfa, colomorfa.	Restos vegetales semicarbinizados. Hidrocarburos oxigenados.
Productos residuals	Lateritas serpentiníticas.	Pelitomorfa, concrecionaría.	Nontronita, limonita, restos de serpentinita.

Tabla 5: Clasificación simplificada de las rocas sedimentarias.

Grupos	Categorías	Nombres de las rocas		Características
Clásticas	Canto, guijarro o grava. (> 2 mm)	Conglomerados		Formados por fragmentos redondeados.
		Brechas		Formados por fragmentos angulosos.
	Arenas (2 a 0,0625mm)	Areniscas		El fragmento es de un tamaño máximo al de una munición de cartuchos para cazar.
	Limos (0,062 5 -0,004mm)	Limolita		El fragmento máximo no se ve a simple vista, sino que se siente su granularidad al tacto cuando se moja.
	Arcillas (menos de < 0,004mm)	Lutita		Las partículas de arcilla al mojarse se comportan perfectamente plásticas.
Químicas	Solubles (evaporizas)	Yeso Anhidrita Halita Silvita		Son blandas y algunas se reconocen por su sabor.
	Poco solubles	Caliza		Reacción violenta con el HCL. No raya vidrio.
		Silicitas	Pedernal Calcedonia Ópalo	No hay reacción con el HCL. Raya el vidrio.
		Dolomitas		Reacción lenta con el HCL
		Hematina Limonita		Color característico, rojo, amarillo, pardo y lustre metálico.
		Margas		Reacción violenta con el HCL, cuando se moja hace fuego.

Organógenas	Calcareas	Calizas organógenas: coquinas, conchíferas, coralinas, travérticales, etc.	Se observan fósiles a simple vista, hace reacción con el HCL.
		Greta	No se observan fósiles a simple vista, poco peso, hace reacción con el HCL.
	Silíceas	Radiolarita Diatomita Trípoli	No se observan fósiles a simple vista, poco peso, y no reacciona con el HCL.
	Combustibles	Sapropel Turba Lignito Hulla Antrocita	Procede de los vegetales.
		Asfaltita	Procede del petróleo.

CAPÍTULO III: ELEMENTOS DE GEOLOGÍA ESTRUCTURAL: IMPORTANCIA, PRÁCTICA PARA EL INGENIERO CIVIL DE LOS FENÓMENOS DE YACENCIA DE LOS ESTRATOS, ESTRATIGRAFÍA, PLEGAMIENTOS, FALLAS, DIACLASAS Y DEL ESTUDIO DE LAS DISLOCACIONES TECTÓNICAS

Objetivo

Identificar los principales fenómenos geológicos que se presentan de forma evidente en la naturaleza y establecer la importancia, práctica del estudio de los mismos para la proyección y construcción de obras civiles, a partir de una conciencia medioambiental.

Introducción

Hasta el momento hemos estudiado la parte de la geología que trata sobre los materiales que componen la tierra, es decir, los minerales y rocas. Pero como ustedes recuerdan la geología estudia los procesos, la sucesión y la aplicación práctica. Hoy comenzaremos el estudio de la parte de la geología que se relaciona con la "arquitectura de la Tierra", en tanto es determinada por movimientos terrestres y sinónimo de tectónica (es el estudio de deformación de las rocas y el desarrollo estructural de la corteza terrestre). Se estudiaran los estratos y sus elementos, las dislocaciones tectónicas, tratando específicamente sobre los plegamientos, los diferentes tipos de deformaciones que sufren las rocas cuando son sometidas a tensiones tectónicas. Donde en este sentido, recordamos que en las rocas se manifiestan los tres tipos de deformaciones de los cuerpos sólidos: elásticas, plásticas y de rotura.

Desarrollo

Antes de comenzar con los aspectos básicos de la Geología Estructural debemos conocer qué es un ESTRATO, que no es más que un volumen de rocas que se extiende horizontalmente y paralelas entre si. También se le conoce como capas.

Una secuencia de estratos puede estar formada por un mismo tipo de roca o por diferentes litologías. Cuando el estrato es menor de 10 o 12mm de espesor constituye una lámina.

Ejemplo práctico: Calcular los elementos de un estrato existente.

El espesor aparente de un estrato es de 40m y su ángulo de buzamiento 30°.

a) ¿Cuál será el espesor real?

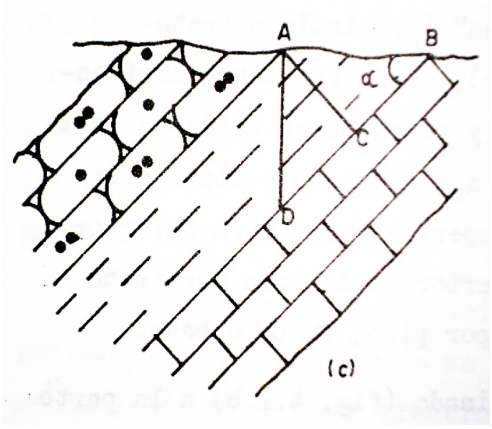


Figura 1: Elementos de un estrato (pág. 172 L/T Geología para Ingenieros T: I Sergio Paz).

AB – Espesor aparente = 40m.

$\alpha = 30^{\circ}$ Ángulo de buzamiento.

AC – Espesor real: distancia perpendicular entre el piso y el techo.

$$sen30^{\circ} = \frac{catop}{Hip} = \frac{AC}{AB}$$

$$AC = AB \times sen30^{\circ} = 40 \times sen30^{\circ} = 40 \times \frac{1}{2} = 20m$$

Buzamiento: Es la máxima pendiente y representa la máxima inclinación del estrato.

Elementos de yacencia de un estrato (se mide hacia abajo a partir del plano horizontal).

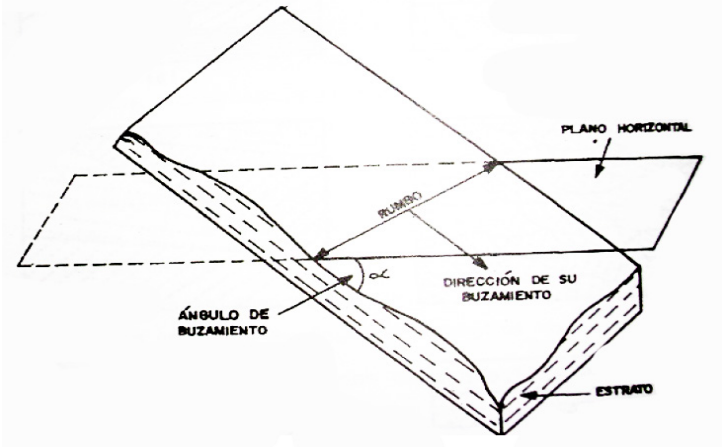


Figura 2: Rumbo y buzamiento de un estrato (pág. 178 L/T Geología para Ingenieros T: I Sergio Paz).

Nota: Se mide hacia abajo a partir del plano horizontal.

Por tanto la estratigrafía estudia las capas de las rocas sedimentarias que forman la corteza terrestre.

Geología estructural: estudia las formas estructurales: plegamiento de rocas, fracturas, diaclasas y fallas.

De modo general, se define como capa o estrato a una masa pétrea limitada por superficies más o menos planas.

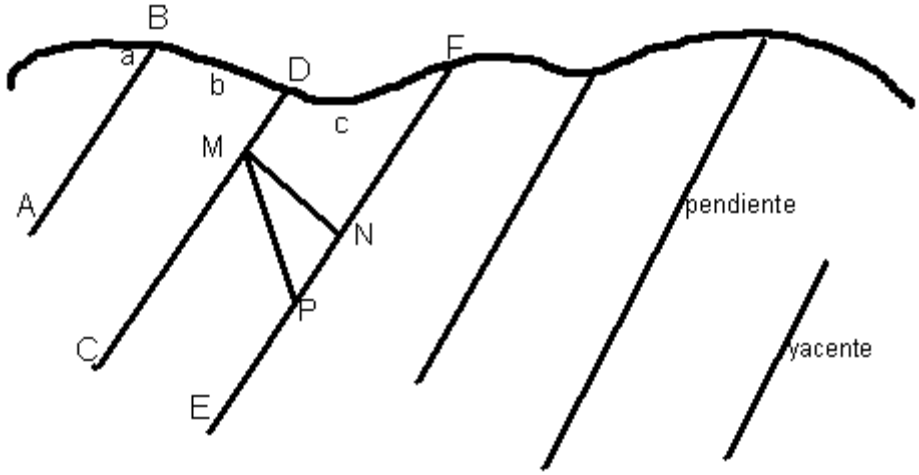
Estrato: cuerpo geológico que tiene una forma aproximada de una losa o tabla, que puede variar sus propiedades físicas lateralmente e incluso transformarse en otro tipo de roca lateral.

Una serie de capas o estratos superpuestos y ligados por un índice cualquiera (edad, origen, composición petrográfica, etc.) se denomina haz o serie de capas o estratos (estratificación).

La estratificación de las rocas es típica en las sedimentarias, aunque en ocasiones las metamórficas y las ígneas presentan esta disposición. Por ejemplo las rocas volcánicas.

Los estratos que tienen espesores de 2 cm. o menos se llaman “láminas”.

Los estratos o capas presentan una serie de elementos, los cuales se describen a continuación:



Techo: Es la superficie que limita el estrato y que tiene la edad más joven del mismo.

Piso: Es por el contrario la superficie más antigua que limita el estrato.

Lógicamente los estratos que yacen inalterados presentan el piso en la parte inferior y el techo en la superior. En la capa “C”, el techo es el plano CD, siendo este, a su vez, el piso de la capa “b”.

Potencia (espesor): Es la distancia que separa al piso del techo, medida perpendicularmente. Un mismo estrato puede variar su potencia gradualmente

hasta desaparecer, diciéndose en estos casos que el estrato se “acuña”. Se distingue la potencia real, vertical y horizontal.

Los estratos de las rocas se pueden observar en los llamados “afloramientos”, que son lugares donde las rocas se encuentran directamente en la superficie, es decir, que no están cubiertas de suelo. (Crespo Villalaz, 1981)

Resumiendo

El elemento principal de las rocas sedimentarias es la capa o estrato. Dichos elementos se forman como consecuencia de cambios en las condiciones de acumulación de los sedimentos.

3.1 Las dislocaciones tectónicas

Las deformaciones en las rocas son originadas por movimientos de la corteza terrestre, es decir, que son el resultado de la acción de esfuerzos sobre los estratos. Las fuentes de energía de los movimientos tectónicos no son conocidas aún con precisión, pero muchas hipótesis y teorías se han desarrollado en este sentido, para tratar de explicar el origen de esas fuerzas gigantescas, que han sido capaces de provocar plegamientos y fallas en las rocas que forman la corteza terrestre.

Se han realizados múltiples experimentos de laboratorio, con el objetivo de reproducir en una escala y un tiempo menor los fenómenos tectónicos, pero ello resulta sumamente difícil, pues por un lado, no es posible evaluar la influencia de tiempo geológico, y por otro, la escala no guarda equivalencia con los volúmenes reales.

Entre las teorías geotectónicas más conocidas se encuentran:

- Hipótesis de la contracción. E. Beau Montt. 1852
- Hipótesis de la dilatación.
- Hipótesis de las pulsaciones. (W. Bucher- M. Usov)
- Teoría de las traslaciones continentales. A Wegenes.
- Teoría de la isostasia.
- Teoría de las corrientes convectivas.
- Nueva tectónica global (Placas tectónicas). Revista tecnología No 3/74.

La acción de los esfuerzos tectónicos sobre las rocas provoca deformaciones en las mismas, que conducen a dislocaciones. Ellas se dividen en dislocaciones cohesivas (o plicativas) y dislocaciones de fractura (o disyuntivas).

3.2 Estudio de los plegamientos. Clasificación

Primero que todo veamos la definición de pliegues, para luego estudiar las características generales de los mismos, como sus elementos, clasificación, etc.

Pliegue: deformación de la corteza terrestre que se expresa en un arrugamiento u ondulación de las rocas principalmente, las sedimentarias estratificadas. Las rocas

volcánicas y las metamórficas foliadas, también están sometidas a plegamientos y las rocas ígneas intrusivas presentan, en mayor o menor grado, estructuras plegadas.

3.2.1 Elementos de los pliegues

Los elementos fundamentales que componen un pliegue son:
Núcleo: Es simplemente la región central del pliegue, compuesto por las rocas de la parte interior del mismo.
Flancos: Son las alas o costados del pliegue, compuesto por las rocas más externas del mismo.
Plano axial: Es la superficie que divide al pliegue longitudinalmente en dos partes iguales y constituye un plano de simetría.
Charnela: Es el punto o la zona donde los estratos cambian de buzamiento, es decir, la zona de infección de los estratos que define los dos francos (En el texto se considera la Charnela como sinónimo de eje axial).
Eje axial: Es la línea de intersección del plano axial del pliegue con la superficie del terreno.
Para definir geométricamente un pliegue son necesarios los siguientes parámetros:

1. Rumbo y buzamiento del plano axial.
2. Buzamiento del eje axial.
3. Ángulo de los flancos.
4. Radio de curvatura de la cresta.
5. Coordenadas geográficas.

3.2.2 Clasificación de los pliegues

Los pliegues pueden clasificarse tomando como base diferentes aspectos, como por ejemplo, forma, dimensiones, origen, etc.

Las estructuras elementales que forman los estratos plegados son de dos tipos fundamentales, que analizaremos a continuación.

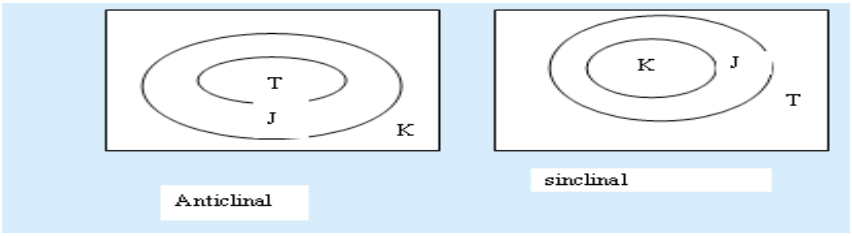
Pliegue anticlinal:

Un pliegue anticlinal es aquel en que las estructuras se encuentran combadas o arqueadas hacia arriba, como se muestra en las siguientes diapositivas.

Pliegue sinclinal

Es aquel que los estratos se encuentran combados o arqueados hacia abajo, es decir, es todo lo opuesto al anticlinal. En la foto puede verse una foto de este tipo.

En los mapas geológicos aparecerían de la siguiente forma.



Es importante resaltar que en las estructuras de la corteza terrestre no determinan su relieve, es decir, que no deben asociarse los anticlinales con elevaciones y los sinclinales con depresiones. El relieve es el resultado de diversos procesos geológicos que tienen lugar en la superficie, combinados con otros procesos internos.

Atendiendo a la posición del plano axial de los pliegues pueden ser rectos, inclinados y horizontales.

En realidad, generalmente los pliegues se encuentran formando sistemas. Así existen los pliegues isoclinales, que son aquellos en que los planos axiales son paralelos. Otros, según su forma pueden ser, en abanico, en cofre, etc.

Por otra parte, los pliegues pueden ser buzantes o no buzantes. En los buzantes el eje axial forma un cierto ángulo con la horizontal, mientras que en los no buzantes, la charnela es paralela al plano horizontal.

En el mapa geológico el lugar donde cada estrato muestra la curvatura máxima, se conoce, en el caso del anticlinal, como nariz estructural. Cuando se trata de un sinclinal se denomina nariz sinclinal o sierre sinclinal.

Los pliegues se pueden clasificar atendiendo a su longitud y ancho. La longitud se mide a lo largo del eje axial y su ancho perpendicularmente. Según sea esa relación se dividen en:

a. Braquipliegues: Es cuando la relación entre la longitud y el ancho está entre 7 y 3. los Braquipliegues pueden ser braquianticlinales o braquisinclinales.
b. Domo o cúpula: Cuando en una estructura anticlinal su relación es 3-1; en el caso de sinclinales se denomina cuenca o cubeta.
c. Pliegues lineales: Son aquellos que presentan una relación longitud entre ancho mayor a 7.

Resumiendo

- Según su forma, las estructuras más elementales pueden ser: anticlinales o sinclinales.
- Según la posición del plano axial: rectos, inclinados, horizontales, etc.
- Según su longitud y ancho: braquipliegues, lineales y cubetas o domos.

En las zonas móviles de la corteza terrestre (geosinclinales), por ejemplo en Cuba, son propias estructuras complejas, denominadas anticlinorios y sinclinorios. Dichas estructuras son alargadas y miden desde decenas hasta cientos de kilómetros. Están formadas por la unión de pliegues más pequeños, anticlinales y sinclinales, sumamente tectonizados que forman parte de la estructura en general.

Un anticlinorio es una estructura levantada regionalmente, formada por anticlinales y sinclinales, mientras que un sinclinorio es una estructura deprimida.

Las clasificaciones genéticas de los pliegues son las más adecuadas pues nos sugieren el desarrollo geológico del pliegue pero resultan muy complejos para establecerla por lo que no las estudiamos.

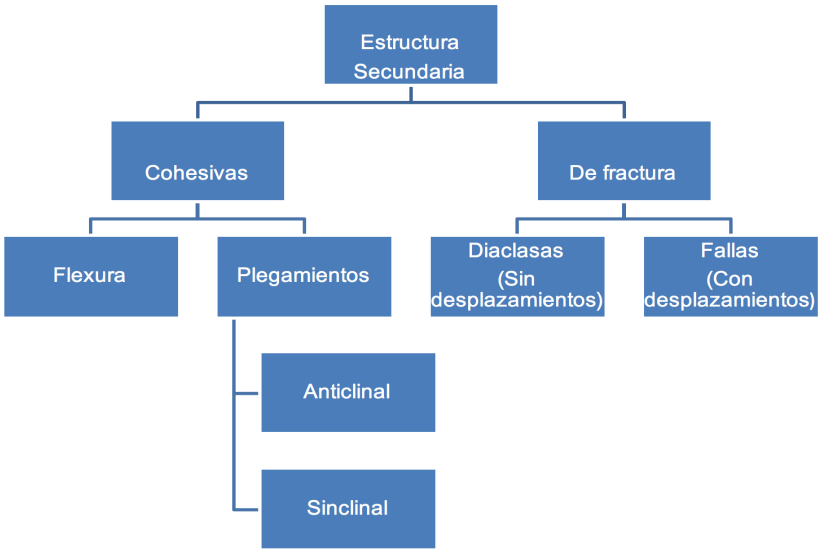
Si es conveniente señalar que tales dislocaciones se originan en uno de los modos siguientes o bien el estrato conserva su integridad, o sea, que no experimenta fragmentación sino que se deforma plásticamente, o bien se desgarra en fragmentos separados cada uno de los cuales no sufre transformación alguna, y solo queda ligeramente girado respecto al anterior, produciendo solamente en conjunto la impresión de los pliegues. Desde luego que en muchos casos se presentaran deformaciones plásticas y de rotura combinadas, según las características de las rocas.

3.2.3 Importancia práctica del estudio de los pliegues

Con las dislocaciones plicativas se encuentra relacionada la génesis de yacimientos minerales de gran interés. El más notable de ellos es el petróleo donde estas estructuras sirven de trampa que permiten su acumulación.

Desde el punto de vista ingenieril también tienen gran importancia, pues los mismos pueden ocasionar grandes trastornos en obras soterradas así como aquellos que impliquen profundas excavaciones.

Ejemplo de esos trastornos es la interrupción de la construcción del canal de Panamá debido al deslizamiento de los pliegues de la ribera.



Los tipos de dislocaciones son: cohesiva (plicativa) o pliegue y fractura (disyuntiva) o falla. En cuanto a la clasificación de los pliegues, vimos que son muchos los factores que pueden tomarse como base, como son: dimensiones, posiciones, origen, etc.

Señalamos además que las estructuras plegadas elementales son los anticlinales y sinclinales. (Gallo Ortiz, Espino Mérquez, I, & Montes, 1997.)

3.3 Diaclasas

Las diaclasas son la superficie planas que dividen a las rocas en bloques, prácticamente no hay desplazamiento. Aunque pueden tener un cierto movimiento perpendicular a su superficie, dando lugar a las diaclasas abiertas.

Los elementos para fijar la posición de la diaclasa son los mismos que para el estrato, y sus dimensiones pueden ser desde unos centímetros hasta centenares de metros, existiendo sistemas que se extienden por centenares de kilómetros. También pueden alcanzar cientos de metros de profundidad.

Se clasifican en:

- Clasificación geométrica (está basada en la posición de la diaclasa de acuerdo con la estratificación).
    - » Diaclasa de rumbo.
    - » Diaclasa de buzamiento.
    - » Diaclasa de estratificación.
    - » Diaclasa oblicua.
- Clasificación según su exposición a la superficie:
    - » Cubierta (no se ven, se manifiestan cuando se rompe la roca)
    - » Cerradas (se ven a simple vista sin separación)
    - » Abiertas (presentan separación)
- Clasificación según su forma:
    - » Recta
    - » Curvas
    - » Quebradas
    - » Dentadas
    - » Pulidas
    - » Asperas
- Clasificación genética:
    - » Tectónica: es la conocida como: “columnas de basalto“
    - » Atectónica: se forman en la superficie por procesos exógenos (movimientos gravitacionales, enfriamiento de masas ígneas, disecación, etc.).

El estudio de las diaclasas tiene un gran interés práctico en el campo de la ingeniería civil, fundamentalmente en el proyecto y construcción de cimentaciones sobre rocas, presas de bóvedas, túneles, metros, etc.

3.4 Fallas

Las fallas son dislocaciones de fracturas con desplazamientos. En ellas ha ocurrido un movimiento entre los bloques divididos por un plano de fractura.
Pueden tener longitud desde menos de un metro hasta centenares de Km, con desplazamientos que pueden alcanzar decenas de Km.
Es uno de los fenómenos geológicos más importantes y su resultado es la complicación geológica de la corteza terrestre.

3.4.1 Elementos de una falla

Los elementos geométricos de una falla son:

a. Plano de falla
b. Bloque colgante (o superior)
c. Bloque yaciente (o inferior)
d. Amplitud
e. Rechazo
f. Espejo de falla

Resumiendo

Los elementos geométricos de las fallas son: bloque superior, bloque inferior, rechazo, plano de falla, amplitud, etc.

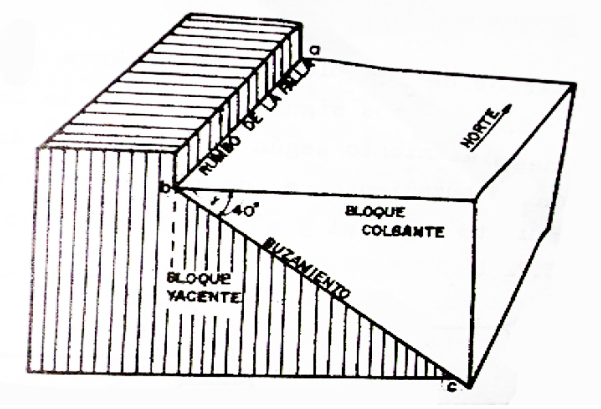


Figura 3: Elementos de una falla (pág. 259 L/T Geología para Ingenieros T: I Sergio Paz).

Nota: Elementos de una falla: Bloques colgantes y yacentes, plano de falla abc, línea o rumbo y buzamiento de la falla, ángulo de buzamiento $\alpha = 40^{\circ}$.

Diferentes tipos de desplazamientos.

a. Según su rumbo.
b. Según su buzonamiento.
c. Desplazamiento neto.
d. Vertical.
e. Horizontal.

Clasificación de las fallas según la geometría:

- Según el movimiento aparente de la falla.
  - » Falla normal
  - » Falla inversa
- Según el desplazamiento neto:
  - » Falla de desplazamiento de rumbo.
  - » Falla de desplazamiento de buzonamiento.
  - » Falla de desplazamiento diagonal.
- Según la posición de la falla en relación con la estratigrafía:
  - » Falla de rumbo.
  - » Falla de buzonamiento.
  - » Falla de estratificación.
  - » Falla diagonal.
  - » Falla longitudinal.
  - » Falla transversal.

Algunas estructuras regionales:

- Cabalgamientos: son fallas inversas de carácter regional de gran ángulo de buzonamiento.
- Sobrecogimiento: son fallas inversas de pequeño ángulo, de 10 o menos, en que ha ocurrido un movimiento de un manto de rocas en un desplazamiento que puede llegar a centenas de kilómetros.

Criterios para el reconocimiento de fallas:

- Criterios geológicos.
  - » Discontinuidad de estructuras.
  - » Repetición u omisión de estratos.
  - » Rasgos característicos de los planos de falla.
  - » Silificación y mineralización.
  - » Cambios súbitos en fases sedimentarias.

- » Desplazamientos visibles en capas o diques.

- Criterios geomorfológicos.
  - » Colinas desplazadas.
  - » Escarpas de fallas.
  - » Truncamiento de estructuras.
  - » Modificaciones de los cursos de agua.
  - » Manantiales alineados.
  - » Cambios bruscos de vegetación.

3.4.2 Importancia práctica del estudio de las fallas

Sin lugar a dudas la mayor importancia práctica de las fallas radica en que las mismas suelen albergar, con mucha frecuencia, yacimientos minerales de importancia económica. Entre ellos se encuentran las famosas trampas de petróleo.

Con relación a la importancia práctica del estudio de las fallas con fines de ingeniería se pueden citar varios aspectos. Uno de los más relevantes es el relacionado con la ubicación de las obras. Resulta especial su análisis cuando se trata de fallas activas, pues como se deduce, puede acarrear serios problemas.

El estudio detallado de la ubicación de una falla en una zona dada, permite a los ingenieros trabajar con mayor seguridad, pues la ubicación de una obra o complejo industrial sobre una zona de fallas puede provocarnos los siguientes trastornos:

- Asentamientos diferenciales provocados por la diferente naturaleza de los materiales a ambos lados de la falla.
- Cimentaciones sobre rocas milonitizadas.
- Colapso de obras soterradas durante su perforación.
- Rotura de tuberías y otras instalaciones soterradas.
- Anisotropía en el comportamiento estructural de los macizos de rocas.
- Alteraciones de la circulación de las aguas subterráneas.
- Fugas de aguas en las presas (en la parte de los hombros)
- Posibilidad de ocurrencia de deslizamientos de tierra, etc. (Betancourt Suérez Max & Luis., 1991.)

CAPÍTULO IV: ELEMENTOS DE GEODINÁMICA INTERNA Y EXTERNA. METEORIZACIÓN Y EROSIÓN. FORMACIÓN DEL SUELO. RECONOCIMIENTO DE LOS SUELOS. ACTIVIDAD GEOLÓGICA DE LOS RÍOS Y LOS MARES. AGUAS SUBTERRÁNEAS. DESLIZAMIENTOS DE TIERRA. EL CARSO Y SUS IMPLICACIONES EN LA CONSTRUCCIÓN

Objetivo

Determinar los factores que propician la acción de los distintos tipos de meteorización, teniendo en cuenta los tipos de suelos según su origen, aspectos esenciales de las aguas superficiales y subterráneas, su actividad geológica así como su influencia en la construcción de una obra civil, a partir de una formación y concepción científica del mundo que les permita interpretar los problemas geológicos y geotécnicos.

Introducción

Comenzaremos el estudio de la parte de la geología que trata sobre los "procesos", es decir, la geología física o dinámica.

Los fenómenos geodinámicos se pueden dividir para su estudio en dos tipos básicos:

- Geodinámica externa
- Geodinámica interna

Los procesos de geodinámica externa son aquellos que se encuentran vinculados con la actividad de la atmósfera en la parte más externa de la corteza terrestre o en su superficie, como son los movimientos de las masas de agua y de aire, las reacciones químicas que se establecen con la litosfera, la circulación de las aguas superficiales y subterráneas, el viento la acción de los organismos etc.

El segundo grupo abarca a todos los procesos que tienen su origen en el interior del planeta. Dichos procesos pueden manifestarse o no en la superficie de la corteza terrestre. Entre ellos tenemos al magmatismo y los movimientos tectónicos (terremotos).

Los procesos exógenos y endógenos no son independientes, sino que constituyen un conjunto muy complejo de cambios mutuamente relacionados que unidos condicionan las diferentes formas de relieve de la corteza terrestre.

4.1 Elementos de Geodinámica

Geodinámica: Ciencia que estudia los fenómenos geotécnicos que presenta la superficie terrestre. Estos fenómenos se originan por fuerzas internas, llamadas endógenas, que actúan por debajo de la corteza terrestre y fuerza externas (exógenas) por arriba de la corteza terrestre.

4.2 Meteorización y erosión

La meteorización o interperismo es el conjunto de procesos que destruyen las rocas y en última instancia origina la corteza de interperismo y los suelos.

4.2.1 Meteorización

- Física: destrucción de las rocas en fragmentos más pequeñas, agentes, calor, la lluvia y el viento.
- Químicas: transformaciones químicas que sufren los minerales de las rocas.
- Biológicas: acción de las raíces de las plantas, bacterias, hongos, algas, líquenes y musgo.

En general se producen de forma simultánea, pero siempre predomina una de ellas. Corteza de interperismo: está situada en la parte superior de la corteza terrestre, formada por fragmentos de rocas y productos in situ de lo meteorización. Depende fundamentalmente del tipo de roca madre, de la intensidad de la meteorización, de la geomorfología del lugar y de las condiciones climáticas. (Bowles., 1985)

4.2.2 La erosión

Mientras la meteorización es un proceso estático que tiende a la acumulación de arcilla y otros minerales residuales. La erosión es un proceso dinámico que traslada los fragmentos de rocas a otros lugares, a veces a grandes distancias.

La erosión es el desprendimiento y transporte de los fragmentos de rocas mediante un grupo de agentes tales como la gravedad, el viento, los glaciares en países fríos, los mares y los ríos. Cuando estos agentes cesan estos minerales depositan y después por los procesos de diagénesis se forman las rocas sedimentarias.

4.3 Formación del suelo

El suelo se encuentra sobre la superficie de la corteza de intemperismo y está compuesto por materia orgánica que forma el humus y minerales sueltos, desintegrados y homogéneos en tamaño que representa el resultado final de la meteorización.

4.4 Perfil geológico del suelo

La meteorización y el estudio de los suelos tienen gran importancia en ingeniería civil. Para utilizar las rocas en la construcción, es necesario conocer su comportamiento ante los agentes de la meteorización y su durabilidad. De acuerdo con esto se determina si se puede usar en ornamentación, para áridos o como componentes en la fabricación del cemento. También hay que determinar las propiedades mecánicas del suelo, para conocer su comportamiento a las cargas que tienen que soportar de acuerdo con el tipo de obra.

4.5 Actividad geológica de los ríos y mares

El agua es el más importante agente de erosión, moviendo una cantidad enorme de materiales principalmente de las vías hacia las grandes cuencas marinas.

El río tiene las siguientes características:

1. Un cauce por donde corre con riberas inclinadas.
2. El nacimiento situado en una cota más alta y la desembocadura en una cota más baja.
3. Su flujo no es uniforme (laminar y turbulento) y su velocidad varía a lo largo del cauce.
4. Transporta en su masa y en solución, gran cantidad de materiales.

Coeficiente de sismosidad: es la relación que existe entre la verdadera longitud del río (l), entre su nacimiento y desembocadura, y está misma distancia en línea recta (d).

$$S = \frac{l}{d}$$

Si S ≈ 1, nos indica que el río es recto y este es un criterio para suponer una falla.

Las aguas subterráneas. El carsismo:

El agua subterránea la originan las lluvias, ellas penetran entre los huecos y aberturas del suelo. Una parte del agua infiltrada queda cerca de la superficie en el suelo y la otra desciende a mayor profundidad hasta una zona donde los poros de la roca están saturados de agua. En las investigaciones ingeniero geológico se debe determinar mediante calas las cotas del nivel freático.

Los mares:

Estudio independiente: realizar trabajo investigativo sobre la actividad geológica de los mares y su importancia en la construcción.

Deslizamiento de tierra:

Puede ser:

1. **Arrastre.**
2. **Deslizamiento o corrimiento de tierra.**
3. **Desprendimiento de rocas.**

1. **Arrastre:** deslizamientos lentos que sólo afectan a la superficie y desplazan al suelo y parte de las rocas laderas abajo. No preocupan desde el punto de la ingeniería civil.
2. **Corrimientos:** Son desplazamientos, ladera debajo de una porción del terreno.

Las principales causas son: la atracción de la gravedad, el agua subterránea, el

buzamiento de los estratos, las sequías prolongadas, el tipo de roca, la erosión diferencial, las fallas, la vegetación, las lluvias y la acción del hombre (causa antrópica).

3. **Desprendimiento de rocas:** conocida como avalanchas o aludes, son enormes masas de rocas que caen libremente y se caracteriza porque no tiene superficie de deslizamiento y es más bien un movimiento traslacional.

Por arriba de esta zona de saturación, se halla una capa en que los poros solo tienen aire. A partir de una profundidad mayor hay una capa en que las rocas están consolidadas, sus aberturas y poros están cerrados por compactación o rellenos de mineral, y el agua no puede infiltrarse.

El nivel freático es el límite de la zona saturada de agua y por debajo de este límite dicha zona saturada recibe el nombre de capa freática.

Estas aguas tienen una actividad geológica importante, pues dan lugar a fenómenos sobre las rocas como hidratación, la oxidación, la descomposición de silicatos, la deposición de minerales y la disolución de rocas calcarías conocido como carsismo. (Goodman, 1989)

4.5.1 Hidratación

Es el proceso mediante el cual un mineral incorpora moléculas de agua y se transforma en otro.

Este el caso de la anhidrita que al incorporar moléculas de aguas se convierte en yeso. Dando lugar a un suelo expansivo que en la construcción es extremadamente problemático.

Como hemos vistos las aguas subterráneas son muy importantes en la construcción, pues hay que considerarlas como un factor desfavorable. Ellas actúan por debajo de los cimientos y son causas del ablandamiento de las rocas o su disolución originando el hundimiento de una edificación. En otros casos actúan sobre suelos expansibles, (arcillas) ocasionando el levantamiento de pisos y hasta de la estructura. La elevación del nivel freático origina inundaciones. También provoca deslizamiento de taludes.

4.5.2 Aguas Subterráneas

Estas con seguridad son uno de los recursos minerales más importantes que existen en el subsuelo y tienen un uso amplio y muy necesario en la vida del hombre. Una gran parte del volumen de agua potable o apta para el consumo humano se extrae del subsuelo. No obstante, lo anterior las aguas subterráneas tienen sus efectos negativos, los que debemos conocer en la Ingeniería Civil para tratar de evitarlos o minimizarlos en la ejecución de obras.

Generalmente las aguas superficiales se originan por las lluvias; ellas penetran los huecos y aberturas del suelo. Una parte del agua infiltrada queda cerca de

la superficie en el suelo y otra parte desciende a mayor profundidad hasta una zona donde los poros de las rocas están saturados de agua. Por arriba de esta zona de saturación, se halla una capa en que los poros sólo tienen aire. A partir de una profundidad mayor hay una capa en que las rocas están consolidadas, sus aberturas y poros están cerrados por compactación o rellenos de minerales, y el agua no puede infiltrarse.

El nivel máximo del agua freática o subterránea es denomina "superficie freática" o "nivel del manto freático" (NMF). Este nivel freático se encuentra generalmente cerca de la superficie en la primera o segunda decena de metros y no es un nivel constante, varía en tiempos de lluvia y seca. Se ha observado que sigue la topografía del terreno pero en una forma más suave en dependencia de las condiciones geológicas.

4.5.3 Rocas acuíferas

Son rocas permeables que permiten la circulación del agua a la capa freática. Están formados por arenas, gravas, areniscas, calizas o cualquier otra roca que tenga permeabilidad.

Queda claro que mientras mayor permeabilidad presente la roca, serán mejores acuíferos. Las rocas calizas cavernosas son fuentes excelentes de acumulación de aguas subterráneas. Por el contrario las rocas Ígneas, las Metamórficas y algunas Sedimentarias son pobres materiales acuíferos, a menos que estén altamente fisurados o agrietados.

Sello: roca impermeable, generalmente arcillosa.

4.5.4 Acuífero libre

El nivel freático puede oscilar libremente en la roca permeable o acuífera.

- Representar un acuífero libre y otro colgado.

  Acuífero artesiano:

Se denomina así a aquellas aguas subterráneas obtenidas de un material acuífero el cual está sometido a la presión hidrostática. Para ello se construyen pozos artesianos mediante los cuales fluye el agua sin necesidad de bombearla. Para que ello ocurra debe existir:

1. Una capa aflorante, inclinada y que esté sellada por dos capas impermeables.
2. Suficiente suministro de aguas superficiales que mantengan un nivel freático por arriba del lugar donde se piensa perforar el pozo.
3. Que no existan diaclasas, ni fallas en las capas impermeables que originen pérdidas de agua.

- Representar acuífero artesiano

4.5.5 Problemas que ocasionan las Aguas Subterráneas para la construcción

Las aguas subterráneas afectan desfavorablemente a las construcciones actuando por debajo de los cimientos en las siguientes formas:

a. Ablandamiento o disolución de rocas que origina hundimientos.
b. Actúa sobre suelos expansibles (arcillas o anhidritas) y causan levantamientos.
c. La elevación del nivel freático causa inundaciones o humedad en la obra, supresiones.
d. Provoca deslizamiento de taludes.

4.6 El Carsismo

Denominado así por las características de la región de Karst, Yugoslavia, el carsismo es el resultado de la disolución de las rocas carbonatadas por la acción de las aguas con contenido de CO_2. Esto ocurre mientras exista CO_2 en las aguas que forma el H_2CO_3 con cationes de H^+ que le dan carácter ácido a la solución y disuelve la roca.

El carsismo puede reconocerse por rasgos característicos que conforman una topografía cársica y son los siguientes:

a. Terra Rossa: o suelos rojos procedentes de la caliza.
b. Lapiaz o lenar: Es una superficie acanalada con surcos.
c. Mogotes: Son cerros, testigos remanentes del a erosión.
d. Sumideros: Depresión en forma de embudo que se abre en la superficie.
e. Dolinas: Depresión en forma ovalada y bordes inclinados, rellenos de terra rossa.
f. Uvala: Unión de varias dolinas.
g. Polje: Llanura cársica de bordes empinados, de fondo llano y rellena de terra rossa.
h. Cuevas: es un cauce natural, vacío y subterráneo.

4.6.1 Problemas del Carsismo para la construcción

Es necesario el estudio de estas regiones pues la morfología cársica se caracteriza por la presencia de numerosas oquedades que quedan ocultas o enmascaradas a poca profundidad, de ahí se debe lo peligroso de esto para la base de cualquier construcción (edificaciones, presas, terraplenes).

En estas zonas es necesario realizar investigaciones minuciosas mediante calas o métodos geofísicos, que permiten detectar cavernas, sumideros y demás que puedan afectar la obra.

CAPÍTULO V: INVESTIGACIONES INGENIERO – GEOLÓGICA. LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO. MAPAS GEOLÓGICOS. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Objetivo

Conocer los distintos métodos o procedimientos que pueden emplearse durante las investigaciones así como sus características principales, a partir de las distintas etapas de investigación ingeniero geológica, en función del tipo y categoría de la obra, teniendo en cuenta el respeto a las legislaciones, normas y regulaciones, así como elevar una cultura general e integral y la conciencia económica en el educando.

Introducción

Las investigaciones del subsuelo tienen como fin conocer las características de los materiales a distintas profundidades (propiedades físicas, mecánicas, composición química, mineralógica y petrológica) así como las condiciones geológicas generales (fallas, grados de agrietamientos, características de las aguas subterráneas, etc.)
Ustedes conocen que existen diferentes métodos de investigación del subsuelo y ellos pueden dividirse en dos grandes grupos directos e indirectos.

Desarrollo

Para la investigación de las condiciones del subsuelo que afectan el proyecto y construcción de una obra, las mismas deben ser sistemáticas, y en esta conferencia estudiaremos las particularidades de cada uno de sus pasos.

5.1 Investigaciones geológicas

El objetivo de las investigaciones ingeniero geológica es la determinación de las condiciones del subsuelo que afectan al proyecto de la obra, y estas condiciones son tan importantes como lo pueden ser el hormigón y el acero, ya que todo ese conjunto forma la estructura.

5.2 Pasos de la investigación ingeniero geológica

1. La investigación de reconocimiento en la etapa inicial del proyecto.
2. L a investigación detallada que proporciona las bases reales para el desarrollo del proyecto.
3. La investigación durante la construcción en obras grandes en la etapa de ejecución del proyecto, en que se corroboran los datos de los pasos anteriores.

Tabla 6: Espaciamiento de calas según proyecto para las redes de perforación con la densidad y profundidad requerida.

Estructura o Proyecto	Espaciamiento (m)
Carreteras	300 – 600
Para cubicar material de préstamo	30 – 120
Presa de tierras, diques	30 – 60
Edificios de varios pisos	15 – 30
Fábrica de una sola planta	30 - 90

Tabla 7: Profundidad de las calas en cimentación de edificios (m).

Ancho de edificios (m)	Números de pisos				
	1	2	4	8	16
30	3.5	6	10	16	24
60	4.0	6.5	12.5	21	33
10	4.0	7	13.5	25	41

En la investigación detallada se presenta especial atención a los problemas que hagan peligrar la obra como la estabilidad, el asentamiento. Hay que tener un criterio económico y no realizar investigaciones innecesarias. Tendrán 0 o 3 etapas, según la importancia de la obra.

En la obra más importante tales como presas, puentes, túneles, centrales energéticas es necesaria la presencia del geólogo para observar, tomar muestras en toda la excavación y corroborar la veracidad de los datos de la investigación realizada y hacer un mapa donde refleje todos los fenómenos observados como fallas, diaclasas, así como el tipo de roca encontrada, manifestaciones de agua, etc. (Jiménez Salas, 1992.)

El volumen de la investigación depende de:

a. Cálculo de las cargas que sean transmitidas al suelo.
b. Fines de construcción.
c. Capas y condiciones geológicas existentes que permitan elegir el tipo de cimentación que se ajuste los resultados de la investigación geológica.

Para recomendar una buena cimentación, se debe tener en cuenta ciertos factores que influyen decisivamente:

a. Estabilidad del suelo: los deslizamientos van acompañados de grandes dificultades, por lo que no s debe construir en pendientes y cuando se reconoce una superficie deslizante que haga peligrar la futura construcción lo más aconsejable es cambiar la ubicación. Resulta difícil detectar una superficie deslizante por lo que se pueden evitar las

complicaciones si se realiza una buena investigación ingeniero geológica.

b. Cavidades por debajo del suelo: se originan por causas geológicas en Cuba, principalmente por carsismo. También pueden ser producidas por el hombre como la actividad minera. Por tanto en zonas donde haya calizas, hay que realizar una investigación minuciosa con perforaciones, si el área es muy extensa se emplean métodos geofísicos.

c. Asentamiento debido a las deformaciones de las capas superficiales: El asentamiento tiene lugar por la acción de las cargas sobre el suelo. En cimentaciones sobre suelos comprensibles siempre es necesaria una investigación para determinar el asentamiento de las capas que se hallan sobre la roca madre. Las cargas pueden transmitirse a los suelos de dos formas:

    1. Por una zapata corrida, aislada o combinada.
    1. Por pilotes.

d. Cambios de volúmenes de suelos: pueden originarse por cambios de humedad. Ocurre un aumento o disminución del volumen.

En el caso de la disminución de volumen por inundación se produce en los suelos colapsibles como con el loess.

En el caso del aumento por inundación ocurre un levantamiento como sucede con la arcilla montmorillonítica y la anhidrita que son suelos expansibles.

La montmorillonítica disminuye su volumen en época de seca y en época de lluvia aumenta de volumen y origina un levantamiento.

La anhidrita se convierte en yeso en presencia de agua y aumenta su volumen.

Para construir en estos suelos se tienen poco espesor, lo mejor es remplazarlo por un material compacto no expansible. Si el espesor es muy grande, lo mejor es cambiar la ubicación de la obra.

a. Agua subterránea: La determinación del nivel freático es una de las tareas más importantes en la investigación así como sus fluctuaciones porque si hay agua en los cimientos o cerca de ellos, puede causar humedad o inundación en las edificaciones.

b. Vibraciones: ocasionadas por tráfico intenso y la acción de las maquinaria. Se deben investigar las propiedades elásticas del suelo. Influencia de las condiciones geológicas para la elección del tipo de cimentación.

La cimentación más segura es la que puede asentarse directamente sobre la roca y dependiendo de esta en el perfil del suelo, así será el tipo de cimentación que se elegirá:

1. Cuando las rocas están en la superficie o muy cerca de ella, la investigación geológica es muy sencilla y se reduce a estimar la resistencia de la roca y los fenómenos tectónicos que la afectan.

Esta situación no es muy frecuente porque las ciudades se suelen asentar al lado de los ríos, donde el espesor de los sedimentos es grande.

2. Cuando la roca se halla a mayor profundidad pero económicamente se puede alcanzar con los cimientos, se usa la cimentación por pilotes y la investigación ingeniero geológica debe ser detallada. Investigando el nivel del manto freático y la disposición y características de las capas hasta la roca firme y por consiguiente hacer los ensayos de mecánica de suelos.
3. Cuando la roca se encuentra a una profundidad tal que no es posible alcanzarla con los cimientos se exige una investigación más precisa pues la cimentación en depósitos sueltas es más complicada.

Mapas geológicos:

El mapa geológico tiene un doble objetivo: científico y económico. Científico porque es la base indispensable desde donde hay que partir para investigar cualquier problema científico que se presente en las diferentes ciencias geológicas y económica porque es la vía que se utiliza para la búsqueda y exploración de yacimientos minerales, agua, petróleo, materiales de construcción, investigaciones ingeniero geológicas e hidrogeológicas.

Pueden ser:

Generales: contienen la estructura geológica, las edades de los complejos estratigráficos, el magmatismo que afectado a la región y demás datos principales que sirvan para interpretar las condiciones geológicas desde un punto de vista teórico y práctico. Además son orientadores para la prospección de yacimientos minerales y petróleo, problemas hidrogeológicos e investigaciones ingeniero geológicas.

Especiales:

- Mapas litológicos.
- Mapas estratigráficos.
- Mapas estructurales y tectónicos.
- Mapas hidrogeológicos.

Escalas:

- Mapas geológicos de reconocimiento o de resumen:
  1:1000 000 y menores.
- Mapas geológicos regionales:
  1:250 000 a 1:100 000
- Mapas geológicos básicos :
  1:50 000 a 1:25 000
- Mapas geológicos detallados :
  1:25 000 y mayores.

5.3 Levantamiento geológico

Es el conjunto de trabajos de campo y gabinete que se realiza con el objetivo de confeccionar el mapa geológico y su informe final.

Consta de las siguientes etapas:

1. Etapa de proyecto.
2. Etapa de trabajos previos antes de entrar en el campo.
3. Etapa de reconocimiento.
4. Etapa de levantamiento geológico.
5. Etapa de gabinete.
6. Etapa de discusión del informe y el mapa.

El mapa ingeniero geológico debe basarse en los siguientes mapas:

1. Mapa de las condiciones ingeniero geológica muestra los depósito precuaternarios frecuentemente sombreados y los espesores de los depósito cuaternarios por variación en la intensidad del calor o por un número. Los fenómenos geodinámicos (desplazamiento, carsismo) por un símbolo. El mapa debe acompañarse de perfiles por las secciones más importantes.
2. Mapa hidrogeológico: agrupa datos de aguas superficiales, subterráneas, permeabilidad de las rocas, áreas de inundación, manantiales, humedad de los suelos y propiedades químicas del agua.
3. Mapa de documentación: aparecen todos los afloramientos, manifestaciones, perforaciones, laboreas y otros datos obtenidos. (Goodman, 1989)

5.4 Interpretación de los mapas geológicos

Para interpretar un mapa lo primero es estudiar atentamente la leyenda del mapa y comprobar si coincide con los datos del mismo.

Se debe estudiar la columna estratigráfica y analizar los diferentes complejos y las discordancias que los separan.

Observar los contactos de las formaciones y seguirlos en el mapa.

CAPÍTULO VI: PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS. RELACIONES FUNDAMENTALES VOLUMÉTRICAS Y GRAVIMÉTRICAS

Objetivo

Establecer el origen, formación y estructura de los suelos. Métodos para su reconocimiento y clasificación, así como el estudio y formas de determinación de sus principales propiedades físicas y mecánicas y la influencia de las mismas en el comportamiento mecánico de los suelos como material de construcción y como elemento de sustentación de las estructuras.

Introducción

En sentido general suelo se define como un agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas.

El suelo se usa como material de construcción en diversos proyectos de ingeniería civil y sirve para soportar las cimentaciones estructurales.

Por esta razón deben estudiarse las propiedades de los suelos:

- Origen
- Distribución granulométrica
- Capacidad para drenar agua
- Comprensibilidad
- Resistencia cortante
- Capacidad de carga

El suelo es producido por interperismo, por la fractura y rompimiento de varios tipos de rocas en piezas más pequeñas mediante procesos mecánicos y químicos.

6.1 Tipos de suelos por su origen

1. Residuales: permanecen donde se forman y cubren la superficie rocosa de la que se derivan.
2. Transportados:
    - Aluviales: fluviales, depositados por agua en movimiento.
    - Glaciales: depositados por acción glacial.
    - Eólicos: depositados por la acción del viento.
3. Turbas: descomposición de materia orgánica encontrados en área de poca altura donde el nivel freático está cerca o arriba de la superficie del terreno. La presencia de un nivel alto del agua freática ayuda o soporta el crecimiento de plantas acuáticas, que al descomponerse, forman la turba.

Este tipo de suelo se encuentra en áreas costeras.

3. Orgánico: mezcla de turba en grandes cantidades y suelo inorgánico. Tienen como característica un contenido natural de agua entre 200% y 300% y son altamente comprensibles bajo carga, se obtiene gran asentamiento, debido a la consolidación secundaria de los suelos orgánicos.

De acuerdo al tamaño de las partículas:

- Grava: fragmento de rocas ocasionalmente con partículas de cuarzo, feldespato y otros minerales.
- Arena: partícula formadas principalmente de cuarzo, feldespato y otros granos minerales.
- Limos: fracciones microscópicas de suelo que consisten en gravas muy finas de cuarzo y algunas partículas en forma de escamas (hojuelos) que son fragmentos de minerales icáceos.
- Arcillas: partículas submicroscópicas de forma de escama de mice, minerales arcillosos y otros minerales.

Tabla 8: Límites de tamaño de suelos separados (pág.3 L/T Brajas M. Das).

Nombre de la organización	**Tamaño del grano (mm)**			
	Grava	***Arena***	***Limo***	***Arcilla***
Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT)	> 2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	< 0.002
Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)	> 2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	< 0.002
Asociación Americana de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	< 0.002
Sistema unificado de clasificación de suelos (U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of Reclamation, American society for Testing and Materials)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (es decir, limos y arcillas) < 0.075	

6.2 Estructura de los suelos

Densidad de sólidos (Gs)

Se determina en el laboratorio. La mayoría de los suelos poseen densidades que caen el rango de 2.6 a 2.9.

Análisis mecánico del suelo (determinación del rango del tamaño de la partícula del suelo).

Métodos:

- Análisis con cribado para partículas mayores que 0.075mm (arenas y gravas).
- Análisis hidrométrico para partículas menores que 0.075mm (limo y arcilla).

Tabla 9: Tamaño de maya estándar en EE.UU. (pág.8 L/T Brajas M. Das).

Malla No.	Abertura (mm)
4	4.750
6	3.350
8	2.360
10	2.000
16	1.180
20	0.850
30	0.600
40	0.425
50	0.300
60	0.250
80	0.180
100	0.150
140	0.106
170	0.088
200	0.075
270	0.053

Distribución granulométrica:

Los resultados del análisis mecánico se presentan generalmente en gráficas semilogarítmicas como curvas de distribución granulométricas (o de tamaño de grano). Los diámetros de las partículas se grafican en escala logarítmica y el porcentaje correspondiente de finos en escala aritméticas. (Aysen, 2002)

Ejemplo 1 (tabla 7.3)

Tabla 10: Análisis por medio de mallas (masa de muestra de suelo seco = 450g). (pág.9 L/T Brajas M. Das).

Malla No. (1)	Diámetro (mm) (2)	Masa de suelo retenido en cada malla (g) (3)	Porcentaje de suelo retenido en cada malla* (4)	Por ciento que pasa** (5)
10	2.000	0	0	100.00
16	1.180	9.90	2.20	97.80
30	0.600	24.66	5.48	92.32
40	0.425	17.60	3.91	88.41
60	0.250	23.90	5.31	83.10
100	0.150	35.10	7.80	75.30
200	0.075	59.85	13.30	62.00
Pan	-	278.99	62.00	0

* columna 4 = (columna 3)/ (masa total del suelo) x 100
** A esto también se le llama porcentaje que pasa

6.3 Depósito de suelo y análisis granulométrico

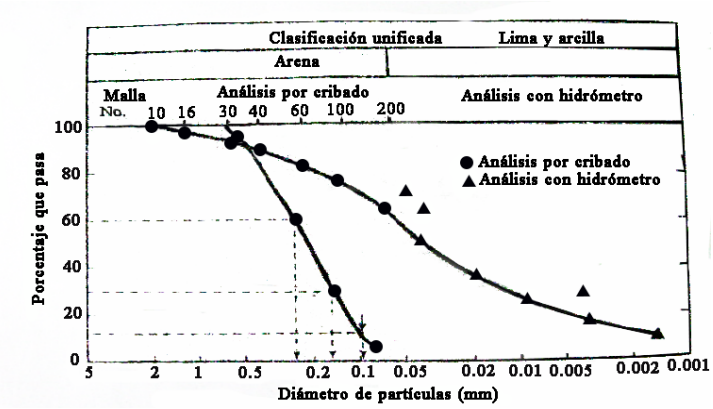


Figura 4: Curvas de distribución de tamaño de partículas (curvas granulométricas). (pág.12 L/T Brajas M. Das).

El porcentaje de grava, arena, limo y partículas de tamaño de arcilla presentan que en un suelo se obtienen de la curva de distribución granulométrica. De acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS), el suelo tiene los siguientes porcentajes.

Grava: (límite de tamaño mayores que 4.75mm) = 0%

Arena: (límite de tamaño mayores que 4.75 a 0.075mm) = porcentaje de más finos que 4.15mm – porcentaje de más finos que 0.075 = 100% - 62% = 38%

Limo y arcilla = (límite de tamiz menores que 0.075mm) = 62%

Tamaño efectivo o diámetro efectivo, coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura.

Estos son parámetros básicos que se determinan con las curvas granulométricas para clasificar los suelos granulares.

Diámetro efectivo = 10% de finos en la curva de distribución del tamaño de la partícula, se conoce como D_{10}.

Coeficiente de uniformidad: $Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$

D_{60} = diámetro correspondiente al 60% de finos en la curva de distribución granulométrica.

Coeficiente de curvatura: (Cz)

$$Cz = \frac{D_{30}{}^{2}}{D_{60} \times D_{10}}$$

D_{30}: diámetro correspondiente al 30% de finos.

La curva de distribución granulométrica muestra además la distribución de varios tamaños de partículas.

Ejemplo: fig.1.7 pág.13. Tipos de curvas granulométricas.

I: suelo mal graduado.

II: suelo bien graduado.

IV: granulometría discontinua.

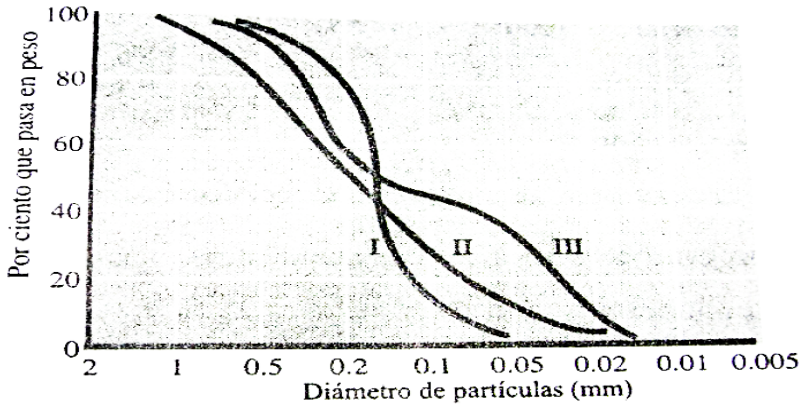


Figura 5: Tipos diferentes de curvas gravimétricas (pág.12 L/T Brajas).

Ejercicio:

Problema resuelto., analice la siguiente tabla y defina el grado de graduación.

Tabla 11: Resultados de un análisis por cribado.

Malla (U.S) No.	Masa de suelo retenido en cada malla (g). C_2	Porcentaje de suelo retenido en cada malla. = C_2 / masatotalX100%	Por ciento que pasa
4	0	0	100
10	26.1	4.8	95.2
20	49.5	11.0	84.2
40	102.6	22.8	61.4
60	89.1	19.8	41.6
100	95.6	21.24	20.36
200	60.4	13.42	6.94
Pan	31.2	6.94	-
Masa total = 450(g)		*100%*	

Tamiz no.4 no retiene (es una arena)

$D_{10} = 0.08$ $D_{30} = 0.2$ $D_{60} = 0.5$

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.5}{0.08} = 6.25$$

$$Cz = \frac{D_{30}{}^2}{D_{60} \times D_{10}} = \frac{(0.2)^2}{0.5 \times 0.08} = \frac{0.04}{0.04} = 1$$

Es una arena bien graduada Cu > 6. y Cz =1.

Relaciones volumétricas y gravimétricas.

En estado natural los suelos son sistemas de tres fases: sólido, agua y aire.

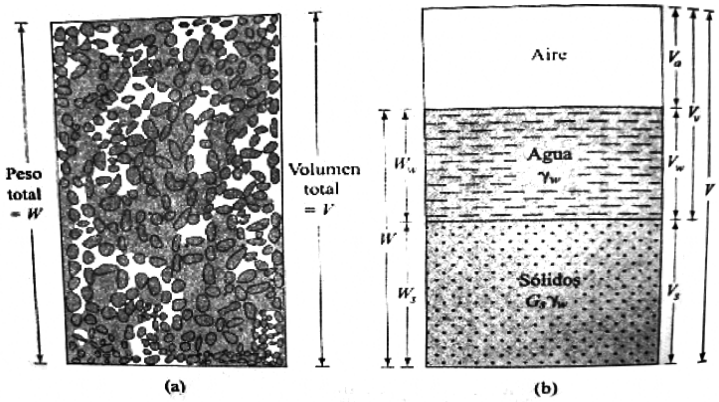


Figura 6: (a) Elemento de suelo en estado natural, (b) tres fases de elementos de suelo. (Pág.18 L/T Brajas M. Das).

Va: volumen de aire.

Vw: volumen de agua.

Vs: volumen de sólido.

Vv: volumen de vacíos.

El peso del aire es desperdiciable: W = Ws + Ww.

Peso total = W

Volumen total = V

Relaciones volumétrica que se establecen:

a. Relación de vacíos (e) $e = \frac{Vv}{Vs}$

b. Porosidad (n) $n = \frac{Vv}{V}$

c. Grado de saturación (S) $S = \frac{Vw}{Vs}$

Se expresa como porcentaje.
La relación entre la relación de vacíos (e) y la porosidad (n) se expresa como:

$$n = \frac{e}{1+e}$$

Relaciones gravimétricas:

a. Contenido de humedad (w), ó contenido de agua. $w = \frac{Ww}{Ws}$

b. Peso específico(γ), es el peso del suelo por volumen unitario.

$\gamma = \frac{W}{V}$ Peso específico húmedo $\gamma d = \frac{ws}{V}$ Peso específico seco

Relación entre peso específico, peso específico seco y contenido de agua.

$$\gamma d = \frac{\gamma}{1+w}$$

Relación entre peso específico, relación de vacío, contenido de agua y densidad de sólidos.

Peso del sólido: $Ws = Gs \times \gamma w$

Peso del agua: $Ww = w \times Ws$

$Ww = W \times Gs \times \gamma w$

Consideración en volumen de suelo = 1

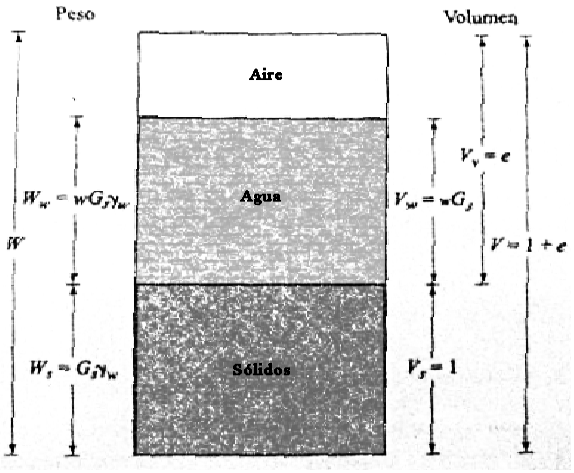


Figura 7: Tres fases separadas de un elemento de suelo con volumen de sólidos de suelo igual a 1. (Pág.21 L/T Brajas M. Das).

De ahí que:

Densidad: $\rho = \frac{(1+w) \times Gs \times \rho w}{1+e}$

Densidad seca: $\rho d = \frac{Gs \times \rho w}{1+e}$

Densidad saturada: $\rho_{sat} = \frac{(Gs+e) \times \rho w}{1+e}$

ρw =densidad del agua = 1000Kg/m^3

Ejercicio: ejemplo 2.1 L/T Pág. 24

Compacidad relativa: es la flojedad in situ del suelo granular, se define como:

$$Cr = \frac{e_{máx} - e}{e_{máx} - e_{mín}}$$

Cr: compacidad relativa, dada como porcentaje.

e: relación de vacío in situ del suelo.

e máx.: relación de vacío del suelo en la condición más suelta.

e mín.: relación de vacío del suelo en la condición más densa.

Tabla 13: Descripción cualitativa de depósitos de suelo granular. (pág. 23 L/T Brajas M. Das).

Compacidad relativa (%)	Descripción de depósitos de suelo
0 – 15	Muy suelto
15 – 50	Suelto
50 – 70	Medio
70 – 85	Denso
85 – 100	Muy denso

Tabla 14: Relación de vacío, contenido de agua y peso específico seco. (pág. 23 L/T Brajas M. Das).

Tipo de suelo	Relación de vacío	Contenido natural de agua en estado saturado (%)	Peso específico Seco γ_d (Kn/m^3)
Arena suelta uniforme	0.8	30	14.5
Arena densa uniforme	0.45	16	18
Arena limosa suelta de grano angular	0.65	25	16
Arena limosa densa de grano angular	0.4	15	19
Arcilla firme	0.6	21	17
Arcilla suave	0.9 – 1.4	30 – 50	11.5 – 14.5
Loess	0.9	25	13.5
Arcilla orgánica suave	2.5 – 3.2	90 – 120	6 – 8
Tilita glacial	0.3	10	21

6.4 Consistencia del suelo

Se determina cuando existen minerales de arcilla en un suelo de grano fino y este puede ser recomendable en presencia de alguna humedad sin desmoronarse.

Se usa el método de Aherberg, que describe la consistencia de los suelos de grano fino con contenidos de aguas variables.

- Limites de Atterberg.

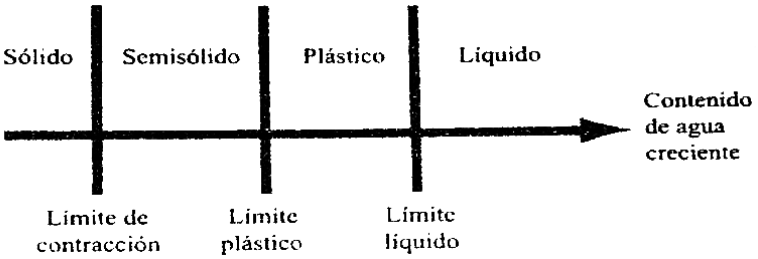


Figura 8: Límites de Atterberg (Pág.27 L/T Brajas M. Das).

Índice de plasticidad (PI)

$$PI = LL - Pl$$

Límite de contracción (SL), contenido de agua, en porcentaje bajo el cual el cambio de volumen de la masa del suelo cesa.

SL=

Índice de liquidez

$$LI = \frac{w - PL}{LL - PL}$$

W: contenido de agua del in situ.

Carta de plasticidad

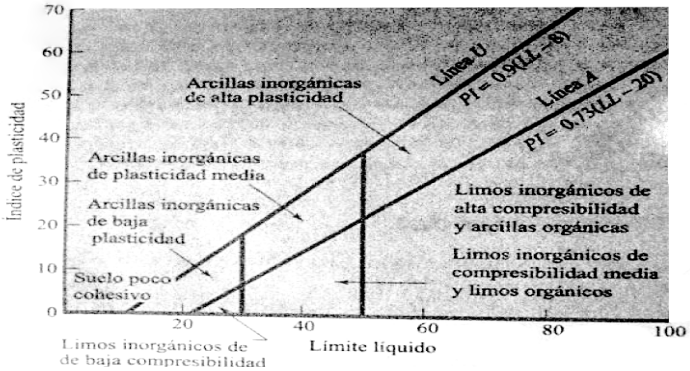


Figura 9: Carta de plasticidad (Pág.34 L/T Brajas M. Das).

Es la base para la clasificación de los suelos cohesivos en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

6.5 Clasificación del suelo

Los suelos con propiedades similares se clasifican en grupos y subgrupos basados en su comportamiento ingenieril.

Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas sin una descripción detallada. (Bardet, 1997.)

6.5.1 Sistemas de clasificación

- AASHTO: (caminos estatales y de condados)
- SUCS: (lo prefieren los ingenieros geotécnicos)

CAPÍTULO VII: SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS. CAPILARIDAD Y PERMEABILIDAD

Objetivo

Clasificar un suelo a partir de sus propiedades físicas y determinar qué suelos tienen las mejores características para ser usados en la construcción de terraplenes y cimentaciones.

Introducción

Estudiaremos los sistemas de clasificación de suelos por dos métodos distintos: el de la AASHTO y SUCS.

Los sistemas de clasificación de suelos proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas sin una descripción detallada.

Desarrollo

Los suelos con propiedades similares se clasifican en grupos basados en su comportamiento ingenieril.

Existen dos sistemas de clasificación:

1. AASHTO (Sistemas de clasificación de la oficina de caminos públicos 1929, comité para la clasificación de materiales para subrasantes y caminos tipo granulares del consejo de investigaciones carreteras 1945.
2. SUCS.

El sistema de clasificación de las AASHTO:

El suelo se clasifica en siete grupos mayores A-1 al A-7.

Los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares donde el 35% o menos de las partículas pasan el tamiz 200.

Los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 más del 35% pasa por el tamiz 200.

La mayoría están formada por materiales tipo limo y arcilla.

Este sistema se basa en los siguientes criterios.

1. Tamaño del grano:

Grava: fracción que pasa la malla de 75mm y es retenida en la malla no. 10 (2mm) de E unidos.

Arena: fracción que pasa la malla no. 10 (2mm) E U y es retenida en la malla no.200 (0.075mm) EU.

Limo y Arcilla: fracción que pasa la malla no.200.

2. Plasticidad: el término limoso se aplica cuando las fracciones de finos del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menor. El término arcilloso

se aplica cuando las fracciones de finos tienen como índice de plasticidad de 11 o mayor.

2. Si cantos rodados y bolsos (tamaños mayores de 75 mm) están presente, estos se excluyen de la porción de la muestra de suelo que está clasificando. Sin embargo, el porcentaje de tal material se registra.

En la tabla 2.4 .Clasificación de materiales para subrasantes de carreteras, los datos de pruebas se aplican de izquierda a derecha. Por un proceso de eliminación, el primer grupo desde la izquierda en que los datos de prueba se ajusten en la clasificación correcta.

Para la evaluación de la cantidad de un suelo como material para subrasantes de carreteras, se incorporan también un número llamado índice de grupos (GI) junto con los grupos y subgrupos del suelo. Este número se escribe en paréntesis después de la designación del grupo o subgrupo. El GI está dado por la ecuación.

I: por ciento que pasa la malla no.200.

LL: límite líquido.

PI: índice de plasticidad.

Reglas para la determinación del índice de grupo:

1. Si la ecuación da un valor negativo para GI, este se toma igual a cero.
2. el índice de grupo se redondea al número entero más cercano (por ejemplo, GI = 3.4 se redondea a 3, GI = 3.5 se redondea a 4).
3. No hay un límite superior para el índice de grupo.
4. El GI de suelos que pertenecen a los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 siempre es cero.
5. Al calcular el GI para suelos que pertenecen a los grupos A-2-6 y A-2-7, use el índice de grupo parcial para PI ó GI = 0.01X (I -15) X (PI-10).

En general, la calidad del comportamiento de un suelo como material para subrasantes es inversamente proporcional al índice.

Ejemplo:

1. Clasifique los suelos dados en la tabla según el sistema de clasificación AASHTO.

Tabla 15: Sistema de clasificación AASHTO.

Suelo	**Análisis por cribado, por ciento que pasa:**			**Plasticidad para la porción que pasa por la malla No. 40.**	
No.	***Malla No.10***	***Malla No.40***	***Malla No.200***	***Limite líquido***	***Índice de plasticidad***
1	100	82	38	42	23
2	48	29	8	-	2
3	100	80	64	47	29
4	90	76	34	37	12

Suelo 1: material limo – arcilla, porque el por ciento que pasa el tamiz 200 es mayor que 35, procediendo de izquierda a derecha encontramos A – 7, para saber si es A – 7 – 50.

A – 7 – 6 calculamos PI = 23 > LL – 30
= 23 > 42-30
= 23 > 12 por tanto A – 7 – 6

Luego calculamos el índice de grupo:

$$GI = (F-35)\times[0.2+0.05\times(LL-40)]+0.01\times(F-15)\times(PI-10)$$

$$GI = (38-35)\times[0.2+0.05\times(42-40)]+0.01\times(38-15)\times(23-10)$$

$$GI = 3.8 \approx 4$$

$$GI = 4$$

Por lo tanto el suelo es A – 7 – 6 (4).

7.1 Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)

Este sistema fue propuesto por Casagrande en 1942 para usarse en la construcción de aeropuertos durante la segunda guerra mundial.

- Clasifica los suelos en dos amplias categorías.

    1. Suelos de granos gruesos que son de naturaleza tipo grava arenosa con menos del 50% pasando por la malla no. 200.

        Los símbolos comienzan con G o S.

        G: grava o suelo arenoso.

        S: arena o suelo arenoso.

2. Los suelos de grano fino con 50% o más pasando por la malla no.200.

Los símbolos de grupo:

M: limo inorgánico.

C: arcilla inorgánica.

O: limos y arcillas orgánicas.

Pt: turbos, lodos y otros suelos orgánicos.

Otros símbolos usados son:

W: bien graduados.

P: mal graduado.

L: baja plasticidad (LL< 50).

H: alta plasticidad (LL > 50).

Tabla 16: Símbolos de grupo para suelo tipo grava.

Símbolo de Grupo	Criterios
GW	Menos de 5% pasa la malla no. 200, $C_u = D_{60} / D_{10}$ mayor que o igual que 4, $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3.
GP	Menos de 5% pasa la malla no. 200, no cumple ambos criterios para GW.
GM	Más de 12% pasa la malla no.200, los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura 2.12) o el índice de plasticidad menor que 4.
GC	Más de 12% pasa la malla no.200, los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura 2.12), índice de plasticidad mayor que 7.
GC-GM	Más de 12% pasa la malla no.200, los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL – ML en la figura 2.12.
GW-GM	El porcentaje que pasa por la malla no. 200 está entre 5 y 12, cumple los criterios para GW y GM.
GW-GC	El porcentaje que pasa por la malla no. 200 está entre 5 y 12, cumple los criterios para GW y GC..
GP-GM	El porcentaje que pasa por la malla no. 200 está entre 5 y 12, cumple los criterios para GP y GM.
GP-GC	El porcentaje que pasa por la malla no. 200 está entre 5 y 12, cumple los criterios para GP y GC.

Tabla 17: Símbolos de grupo para suelos arenosos.

Símbolo de Grupo	Criterios
SW	Menos de 5% pasa la malla no. 200, $C_u = D_{60} / D_{10}$ mayor que o igual que 6, $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1y 3.
SP	Menos de 5% pasa la malla no. 200, no cumple ambos criterios para SW.
SM	Más de 12% pasa la malla no.200, los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura 2.12) o el índice de plasticidad menor que 4.
SC	Más de 12% pasa la malla no.200, los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura 2.12), índice de plasticidad mayor que 7.
SC – SM	Más de 12% pasa la malla no.200, los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL – ML en la figura 2.12.
SW – SM	Porcentaje que pasa por la malla no. 200 está entre 5 y 12, cumple los criterios para SW y SM.
SW – SC	Porcentaje que pasa por la malla no. 200 está entre 5 y 12, cumple los criterios para SW y SC.
SP – SM	Porcentaje que pasa por la malla no. 200 está entre 5 y 12, cumple los criterios para SP y SM.
SP – SC	Porcentaje que pasa por la malla no. 200 está entre 5 y 12, cumple los criterios para SP y SC.

Tabla 18: Símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos.

Símbolo de Grupo	Criterios
CL	Inorgánico, LL < 50, PI > 7, se grafica sobre o arriba de la línea A (Véase zona CL en la figura 2.12).
ML	Inorgánico, LL < 50, PI > 4, se grafica sobre debajo de la línea A (Véase zona ML en la figura 2.12).
OL	Orgánico, LL – seco en horno)/ (LL – sin secar), < 0.75, LL <50 (Véase zona OL en la figura 2.12).
CH	Inorgánico, LL ≥ 50, PI , se grafica sobre o arriba de la línea A (Véase zona CH en la figura 2.12).
MH	Inorgánico, LL ≥ 50, PI , se grafica sobre debajo de la línea A (Véase zona MH en la figura 2.12).
OH	Orgánico, LL – seco en horno)/ (LL – sin secar), < 0.75, LL ≥ 50 (Véase zona OL en la figura 2.12).
CL-ML	Inorgánico, se grafica en la zona sombreada en la figura 2.12.
Pt	Turba, lodos y otros suelos altamente orgánicos.

Para una clasificación apropiada con este sistema, debe conocerse algo o todo de la información siguiente:

1. Porcentaje de grava, es decir la fracción que pasa la malla de 76.2mm y es retenida en la malla no.4 (abertura de 4.75mm)
2. Porcentaje de arena, la fracción que pasa la malla no.4 (abertura de 4.75mm) y es retenida en la malla no.200 (abertura de 0.075mm).
3. Porcentaje de limo y arcilla, fracción de finos que pasa la malla 200 (aberturas de 0.075 mm).
4. Coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Ct).
5. Límite líquido e índice de plasticidad de la porción de suelo que pasa por la malla no.40. (Fredlund & Rahardjo, 1993.)

7.2 Procedimiento paso a paso para la clasificación de suelos

Paso 1. Determine el porcentaje de suelo que pasa la malla no.200 (F).

Si F < 50: suelo grano grueso, grava o arenoso.

Si F = porcentaje de granos más finos que la malla no.200, paso 2.

Si ≥ 50%: suelo grano fino, paso 3.

Paso 2. Para un suelo de grano grueso, (100 – F) es la fracción gruesa en porcentaje. Determine el porcentaje que pasa la malla no.4 y es retenido en la malla no.200, F_1.

Si $F_1 < (100 – F)/2$, entonces el suelo tiene más grava que arena. Ir a la tabla 2.5 y fig. 2.12 para determinar símbolo de grupo y luego a la fig. 2.13 para determinar el nombre de grupo propio del suelo.

Si $F_1 \geq (100 – F)/2$, suelo arenoso, tabla 2.6 y fig. 2.12 para determinar el símbolo de grupo y a la fig. 2.13 para obtener el nombre del grupo de suelo.

Paso 3. Para un suelo de grano fino, ir a la tabla 2.7 y fig. 2.12 para obtener el símbolo de grupo. Si se trata de un suelo inorgánico visitar a la fig. 2.14 para obtener el nombre del grupo. Si se trata de un suelo orgánico ir a la fig. 2.15 para obtener el nombre del grupo.

BIBLIOGRAFÍA

Aysen, A. S. (2002). Basic concepts and engineering applications. Australia: University of Southern Queensland.

Badillo, E. J., & Rodríguez, A. R. (1968.). Mecánica de Suelos. Tomo I, II Y III. Ecuador: Ediciones Revolucionarias.

Badillo, E. J., & Rodríguez., A. R. (1997). Mecánica de Suelos. Tomo I. Decimaoctava reimpresión de la III Edición. Mexico: Limusa Noriega Editores.

Bardet, J. P. (1997.). Experimental Soil Mechanics. Pearson Education.

Betancourt Suérez Max, & Luis., A. S. (1991.). Reglamento de construcciones. México D.F. : Editorial Trillas.

Bowles., J. (1985). Physical and Geotechnical Properties of Soils. Partes I, II y III. . Ecuador: Pueblo y Educación.

Crespo Villalaz, C. (1981). Mecénica de Suelos y Cimentaciones. México, D.F.: Editorial Limusa, segunda edición.

Das, B. (2001). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. México: Thomson Learning.

Fredlund, D. G., & Rahardjo, H. (1993.). Soil Mechanics for Unsaturated Soils. . Wiley-Interscience.

Gallo Ortiz, G. O., Espino Mérquez, L. I., I, O., & Montes, A. (1997.). Diseflo Estructural de Casa Habitación. México D.F.: Editorial McGraw-Hill.

Goodman, R. E. (1989). Introduction to Rock Mechanics 2da Ed. Wiley.

Holtz, R. D., & Kovacs., W. (1981). Introduction to Geotechnical Engineering. Prentice Hall.

Ishihara, K. (1996.). Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics. Oxford University Press.

J., M. R., & Reséndiz., D. (1975.). Presas de Tierra y Enrocamiento. Limusa.

Jiménez Salas, J. A. (1992.). Geotecnia y Cimientos. 2da. Ed. Rueda.

Juárez Badillo, E. y. (2001.). Mecánica de Suelos. 3ra. Ed. Limusa.

Juérez Badillo Eulalio, R. R. (1990.). Mecdnica de suelos Tomo I ", fundamentos de la mecdnica de suelos". Mexico, D.F.: Editorial Limusa, tercera edicibn.

Juérez Badillo, E., & Alfonso., R. R. (1983.). Mecdnica de suelos Tomo II. México, D.F.: Editorial Limusa, segunda edicidn.

Kramer, S. L. (1995.). Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice Hall.

Lambe, W., & Whitman, R. (1972). Mecánica de suelos. Limusa.

Manuel., D. V. (1990.). Ingenieria de Cimentaciones "fundamentos e introduccién at antlisis geotécnico" . México D.F. : Editorial Alfaomega, segunda edición, .

Mitchell, J. K. (1976). Fundamentals of Soil Behaviour. John Wiley & Sons Inc.

Olivella, S. (2003.). Problemas resueltos. Geotecnia. Mecánica de Suelos. UPC.

Paz Morales, S. (1984). Geología para Ingenieros. Tomo I y II. Ecuador: Pueblo y Educación.

Perloff, W., & Baron, W. (1977). Soil Mechanics Principles & Applications. John Wiley & Sons Inc.

Potts, D., & Zdravkovic, L. (1999). Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering. Telford Publishing.

Powrie, W. S. (2004.). Concepts & Applications. 2da. Ed. Spon Press.

Ralph B. Peck, Walter E. Hanson, & ., T. H. (1990). Ingenieria de Cimentaciones. . México D.F.: Editorial Limusa cuarta reimpresidn.

Rodríguez., E. J. (1996). Mecánica de Suelos. Tomo II. Decimaquinta reimpresión de la II Edición. Mexico: Limusa Noriega.

Rodríguez., E. J., & Rico, A. (1971). Mecánica de Suelos. Tomo III. Ecuador: Ediciones Revolucionarias.

Santamarina, J. C., & K. A. Klein, A. F. (2001). Particulate Materials Behavior. Characterization and Process Monitoring. John Wiley & Sons, .

Sowers, G. F., & Sowers, G. B. (1987). Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Partes I y II. Ecuador: Ediciones Revolucionarias.

T. William Lambé, & Whitman., R. V. (1896). Mecénica de Suelos. México,D.F.: Editorial Limusa octava reimpresibn.

Terzaghi, K. R., & Mesri., G. (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice. 3ra Ed. Wiley.

Ingeniería y Tecnología

3ciencias