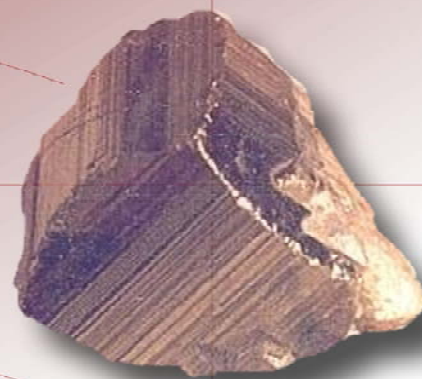
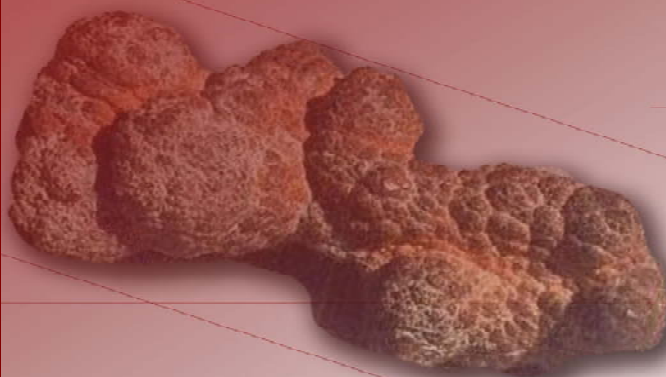




UNIVERSIDAD CENTRAL DE LAS VILLAS
FACULTAD DE CONSTRUCCIONES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Diploma
Apuntes para la elaboración de un libro
de Geología e Ingeniería Geológica



Autor: Anaisy García Pulido

Tutores: Sergio Betancourt Rodríguez

Domingo E Delgado Martínez

2008

Año 50 de la Revolución

PENSAMIENTO



Pensamiento

*.... Lo que da al hombre el poder no es ese mero conocimiento que
viene del uso de los sentidos sino de ese otro conocimiento más
profundo que se llama ciencia....*

José Martí

DEDICATORIA



Dedicatoria

A mi mamá, dueña de mi corazón, quien cumple hoy uno de sus mayores sueños

A mi papá, a quien quiero mucho

A mis tías, por su apoyo incondicional

A mis abuelos, maestros de cada día

A Joel, duende incansable que me ha tenido mucha paciencia

A esas personas que van y vienen por la vida dejando huellas imborrables:

Ana Laura, Greisy, Juana, Yandi, Frank Alberto

A Rubén y Magali quienes oran por mi cada día

A todos aquellos que dan sin esperar recibir nada a cambio

AGRADECIMIENTOS



Agradecimientos

A todas aquellas personas que hicieron lo posible e imposible por este trabajo

A mis tutores Domingo y Sergio, pilares fundamentales en mi formación

A Tania y Gilberto por todo lo que han hecho por mi

A mis amigos

A todos los organismos y entidades que prestaron su colaboración, sin ellos

esta obra estaría incompleta

RESUMEN



Resumen

En el trabajo se presentan los apuntes para un libro. El libro se elabora con el objetivo de contribuir al proceso de enseñanza-aprendizaje en la carrera de Ingeniería Civil, aunque puede emplearse en otras carreras como la Ingeniería Hidráulica.

Para la realización del libro titulado: Nociones de Geología e Ingeniería Geológica, se emplearon varios métodos de investigación, entre los que se destacan el análisis de documentos, así como las encuestas aplicadas a estudiantes, profesores y especialistas. Se realizó una valoración del mismo a partir del criterio emitido por varios especialistas los cuales lo avalaron satisfactoriamente.

El libro, Nociones de Geología e Ingeniería Geológica es un material bibliográfico que abarca las temáticas básicas a dominar por el egresado de ingeniería civil; además, cuenta con un número importante de tablas, figuras y problemas propuestos que ilustran y ejercitan los contenidos tratados.

Este libro puede constituir, a la vez, el texto básico de estos temas en la asignatura Geotecnia y ser empleado por los estudiantes de las modalidades de estudio presencial y semipresencial al poder estar disponible de forma impresa y digital.

ÍNDICE



Índice

Índice	Pág.
Introducción.....	1
Capítulo I: Estado actual del conocimiento.....	7
1.1 Análisis de la enseñanza de la Ingeniería Civil y la asignatura Geotecnia desde el punto de vista histórico social.....	7
1.2 Empleo de los medios de enseñanza. Características, funciones dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje.....	12
1.3 Los Medios de Enseñanza de uso directo. El papel de los materiales impresos como complemento para el trabajo independiente.....	18
1.4 El trabajo independiente como método de enseñanza dentro del proceso de aprendizaje.....	21
1.5 Las TIC al servicio de la enseñanza.....	25
1.6 Estado actual de la bibliografía para la enseñanza de la Geología en la Ingeniería Civil en Cuba.....	29
1.7 Principales deficiencias existentes en la enseñanza de la Geología dentro de la asignatura Geotecnia.....	30
Conclusiones parciales del capítulo I.....	34
Capítulo II: Metodología de trabajo y análisis de los resultados.....	35
2.1 Metodología de trabajo y análisis de los resultados.....	35
2.2 Universo y muestra.....	35
2.3 Los métodos de investigación.....	36
2.3.1 Métodos de nivel empírico.....	37
2.4 Análisis de los resultados.....	41
2.4.1 Constatación de necesidades.....	41
2.5 Elaboración de un libro de texto de Geología e Ingeniería Geológica en soporte digital e impreso.....	47
2.5.1 Propuesta del libro de texto.....	47
2.5.2 Propuesta impresa del libro de texto de Geología e Ingeniería Geológica.....	49

2.5.3 Volumen de información y estructura del libro de texto de Geología e Ingeniería Geológica en soporte digital.....	50
2.6 Metodología para la valoración por criterio de especialistas.....	51
2.6.1 Establecimiento del sistema de indicadores.....	51
2.6.2 Elección de los especialistas.....	52
2.6.3 Determinación del sistema de valoración.....	52
2.6.4 Conformación del sistema de valoración seleccionado.....	52
Conclusiones parciales del capítulo II.....	54
Capítulo III: Propuesta y valoración.....	55
3.1 Características de los medios elaborados.....	55
3.1.1 Libro de texto: Nociones de Geología e Ingeniería Geológica.....	55
3.1.2 Presentación del libro de texto de Geología e Ingeniería Geológica en la red de la facultad.....	59
3.2 Resultados de la valoración por criterio de especialistas.....	60
3.3 Procesamiento de los resultados de la encuesta.....	60
3.3.1 Libro de texto: Nociones de Geología e Ingeniería Geológica.....	61
3.3.2 Libro de texto de Geología e Ingeniería Geológica en soporte digital..	61
Conclusiones parciales del capítulo III.....	63
Conclusiones.....	64
Recomendaciones.....	65
Bibliografía.....	69
Anexos.....	70

INTRODUCCIÓN



Introducción

La Geología es la ciencia que se encarga del estudio de la Tierra y su principal objeto de análisis es la litosfera, la esencia de los procesos que tienen lugar en su seno y la historia de su desarrollo. Es fundamental para un país el estudio de la misma ya que influye en el planeamiento económico porque se hace sumamente necesario conocer las reservas de recursos ya sean minerales, de petróleo o hidráulicos con los que cuenta. Dentro de la Geología podemos hablar de la Geología Aplicada la que se relaciona con la Mineralogía y la Petrografía que estudian el tipo de roca y los minerales que la forman, sus características estructurales; también se relaciona con la estratigrafía que ayuda a conocer la posición de las capas en el subsuelo, su composición e inclinación y ayuda a correlacionar los datos para reconstruir en la región la disposición de los estratos y sus relaciones.

La Geología es una ciencia que abarca muchas esferas. Ella abarca todo lo referente a composición, estructura y evolución de la Tierra.

Debido a la cantidad de materias que trata se ha dividido su estudio en varias ramas independientes que en la actualidad conforman las ciencias geológicas. Siendo las mismas: Mineralogía, Petrología, Estratigrafía, Geotectónica, Magmatismo, Geofísica y Geoquímica entre otras.

Es a la aplicación de la Geología a la Ingeniería Civil que irá encaminada la investigación.

Para los Ingenieros Civiles se hace imprescindible el conocimiento de las características de la zona donde se emplazará una obra, tanto es así que internacionalmente existen empresas y asociaciones que se dedican específicamente al estudio de los suelos y su repercusión para la ingeniería civil, que van desde laboratorios especializados, hasta reconocimientos de un área y estudio de las características de la misma.

A la hora de emplazar una obra se llevan a cabo investigaciones Ingeniero-Geológicas donde entre otros aspectos se determina el tipo de suelo o roca, sus propiedades, fenómenos geológicos que puedan presentarse o sean propios del lugar como fallas, cavernosidades, también se debe conocer el nivel freático de la zona, actividad sísmica. Todo esto se realiza y aún más de acuerdo con el tipo de obra y su nivel de complejidad, estando destinado a encontrar las soluciones racionales tanto en lo referente al diseño como en el aspecto económico y confortable para la construcción.

Entre otros aspectos el estudio de los materiales componentes de la corteza terrestre es importante, ya que aquellos que cumplen con las propiedades necesarias pueden ser empleados como materiales de construcción o materia prima para la conformación de los mismos. Además con el conocimiento de dichas propiedades se elegirán los métodos y medios constructivos más adecuados desde el punto de vista técnico-ejecutivo y económico garantizándose por tanto una obra segura y confortable.

El análisis del suelo o roca donde se cimentará es de vital importancia ya que influirá en el tipo de cimentación a utilizar, corrigiéndose así posibles fallos en la estructura, lo que vincula muy estrechamente a la Geología con la Mecánica de Suelos a tal punto que ambas son imposibles de separar.

La Geología se imparte a los ingenieros civiles dentro de la asignatura Geotecnia que abarca las condiciones geológicas, propiedades físicas e ingenieriles de los suelos y aspectos de la ingeniería práctica como asentamientos, estabilidad de taludes, control de la calidad, cimentaciones etc., por lo que su estudio se hace necesario para la formación de Ingenieros Civiles, no sin dejar de mencionar cuan importante es para otras carreras como la Ingeniería Hidráulica. En el actual plan de estudio (Plan D) Geotecnia y Cimentaciones se considera como una disciplina otorgándole la importancia que se merece, la misma se divide en dos asignaturas Geotecnia y Cimentaciones y Estructuras de Contención.

Para lograr los objetivos de la asignatura y formar futuros profesionales capaces de dar una respuesta satisfactoria desde el punto de vista técnico-económico-profesional a los posibles problemas que se presenten se necesita contar entre otros aspectos con materiales bibliográficos que cubran los requerimientos del actual plan.

Para lograr un proceso de enseñanza-aprendizaje de avanzada entre otros factores se necesita de un amplio análisis bibliográfico que permita definir las metodologías, tratar de unificar la bibliografía existente sobre el tema, que en la mayoría de los casos se encuentra en idioma extranjero, y así conformar un material bibliográfico para la asignatura de Geotecnia que aborden el tema con la adecuada actualización.

Problema científico:

Actualmente en Cuba no existe un documento donde se abarquen en su totalidad y con el grado de detalle necesario los conocimientos acerca de la Geología e Ingeniería Geológica para Ingenieros Civiles y otras carreras como la Ingeniería Hidráulica, y que presente, las consideraciones y criterios fundamentales necesarios para perfeccionar el conocimiento acerca del tema; que tome en cuenta los criterios vigentes en la bibliografía internacional y la experiencia existente en el país. ¿Cómo llegar a elaborar en un documento único los principales conocimientos, consideraciones y criterios existentes acerca de la Geología y la Geología Aplicada a la Ingeniería Civil?

Hipótesis:

Si se elabora un material bibliográfico sobre Geología e Ingeniería Geológica para Ingenieros Civiles y otras carreras como la Ingeniería Hidráulica que tome en cuenta lo planteado la bibliografía internacional y la experiencia existente en el país y que asimile, entre otros aspectos, consideraciones y criterios de carácter general y particular para su estudio, entonces se puede contribuir a perfeccionar

la enseñanza de la Geología, contándose con un material bibliográfico más completo.

Objetivo general:

Elaborar un material bibliográfico sobre la Geología e Ingeniería Geológica para Ingenieros Civiles y otras carreras como la Ingeniería Hidráulica en el que se tome en cuenta la bibliografía internacional y la experiencia existente en el país y que incluya, entre otros aspectos, consideraciones y criterios de carácter general y particular para su conformación.

Objetivos específicos:

1. Analizar el estado actual del conocimiento sobre el tema objeto de investigación para determinar cuáles son las tendencias investigativas contemporáneas y definir la línea de trabajo a seguir.
2. Definir y demostrar la necesidad de un material con conocimientos, consideraciones y criterios para la enseñanza de la geología.
3. Elaborar y proponer un material bibliográfico sobre la Geología e Ingeniería Geológica, que abarque los aspectos teóricos más importantes.
4. Publicar en formato PDF el material bibliográfico elaborado.
5. Valorar por criterio de especialistas la propuesta del material bibliográfico para las condiciones actuales de la educación en Cuba.

Tareas científicas:

1. Análisis bibliográfico preliminar de literatura, publicaciones acerca del tema y ____definición del diseño de investigación
2. Definición de la estructura y redacción de la primera versión del Capítulo I: Estado actual del conocimiento
3. Presentación del Capítulo I en la primera revisión parcial del trabajo
4. Definición de la estructura y escritura del Capítulo II: Metodología de trabajo y análisis de los resultados

5. Definición de la estructura y redacción de la primera versión del Capítulo III: Propuesta y valoración
6. Redacción de las Conclusiones y Recomendaciones del trabajo
7. Presentación en la pre-defensa del trabajo
8. Análisis global de la tesis y conformación definitiva de la misma

Novedad científica

Elaboración de un material bibliográfico en el que se aborden aspectos teóricos, criterios, consideraciones acerca de la Geología e Ingeniería Geológica, que se basa en la experiencia nacional e internacional y constituyendo un material de consulta tanto para los estudiantes como para los profesionales en esta materia.

Aporte científico

El principal aporte científico que se genera está relacionado con la agrupación en un documento único de gran parte de la información más actualizada sobre el tema, la cual se encuentra dispersa, facilitando por tanto el aprendizaje de la materia. Además este material cuenta con la experiencia de décadas de formación de Ingenieros por lo que incluirá las temáticas necesarias y con el adecuado nivel para formar profesionales de perfil amplio.

Valor metodológico

Se elaborará un material bibliográfico que posibilita la impartición presencial o semipresencial de la asignatura que recoge los conocimientos acerca de la Geología e Ingeniería Geológica con el adecuado nivel que debe conocer el futuro profesional.

Estructura de la tesis

La estructura de la tesis guarda una estrecha relación con la metodología de la investigación establecida, especialmente con cada una de las fases de la investigación. La misma se encuentra estructurada de la siguiente forma:

- Resumen
- Índice
- Introducción
- Capítulo I. Estado actual del conocimiento
- Capítulo II. Metodología de trabajo y análisis de los resultados
- Capítulo III. Propuesta y valoración
- Conclusiones
- Recomendaciones
- Bibliografía
- Anexos

Campo de aplicación

El presente trabajo se puede aplicar en la impartición de la asignatura Geotecnia la cual se imparte en el tercer año de la carrera de Ingeniería Civil en el actual plan de estudio, plan D ; pudiendo ser utilizado también por otras carreras de ingeniería como la Ingeniería Hidráulica.

CAPÍTULO I



Capítulo I

Estado actual del conocimiento

1.1 Análisis de la enseñanza de la Ingeniería Civil y la asignatura Geotecnia desde el punto de vista histórico social

Durante la dominación española en Cuba, no fue posible realizar estudios técnico-profesionales de nivel superior a pesar de la existencia de la Universidad de La Habana la cual había sido fundada en 1728. El nivel de técnico medio era el más elevado a que podía aspirarse en esta esfera del conocimiento. El cubano que quisiera estudiar Ingeniería en aquel entonces tenía que hacerlo en el extranjero debiendo enfrentar su alto costo económico.

Como afirma Gómez del Valle (2007) en la antigüedad se consideraba un solo oficio el de la construcción, no fue hasta el siglo XVIII que existieron diferencias entre los aspectos de diseño y las tecnologías para la construcción; a partir del siglo XVIII se le otorga la primicia a los aspectos estéticos y los problemas de diseño, debiéndose a la división de las tareas surgidas y la especialización en la profesión, que se produce entonces la separación entre el proyectista y el constructor, concretándose entonces la separación de las tareas entre arquitectos e ingenieros. A partir de entonces la tendencia a manifestarse esta separación en la enseñanza de los futuros profesionales se hizo latente, incluidos América y Cuba. En el año 1900 con la creación de la Escuela de Ingenieros, Electricistas y Arquitectos comienza en Cuba el estudio de la temática a analizar.

En 1902 esta escuela se trasladó a donde actualmente reside La Universidad de La Habana. En aquel entonces los planes de estudio de las carreras en general no estaban divididos por años académicos, lo cual no surge hasta el curso 1901-1902, con igual período de duración de 5 años para Ingenieros Civiles y Arquitectos.

Los primeros planes de estudio que existieron en Cuba fueron elaborados teniendo como base las instituciones extranjeras semejantes de Europa y Estados Unidos, los mismos eran planes eclécticos no se ceñían a ningún patrón, pero en cuanto al marco en que se impartían presentaban lo más avanzado del momento histórico. Eran muy similares entre si, presentándose una base técnica mayor que lo que era normal para la época en el mundo.

La Escuela de Ciencias en el curso 1908-1909 realizó reformas en la enseñanza por lo que los planes de estudio iniciales aunque ligeras, sufrieron modificaciones, quedando hasta el curso 1924-1925 sin variabilidad.

Desde el curso 1925-1926 hasta el curso 1929-1930 se impartió el nuevo plan, siendo el último aplicado hasta que la tiranía Machadista clausurara debido a la actitud de los universitarios ante la situación existente en el país, la Universidad. Este último plan de estudios aplicado, con respecto a los anteriores, constituyó un paso de avance fundamentalmente en cuanto a las materias básicas y específicas de cada profesión impartida; en el caso de la ingeniería se llevó a posiciones de avanzada la enseñanza práctica con la creación y mejoramiento de los laboratorios, llegando a las puertas de la especialización.

La creación por primera vez de una Facultad de Ingeniería y Arquitectura, que incluía la escuela con el mismo nombre, es contemplada en la ley docente de 1937, donde se establecía además que cada facultad podría regular libremente sus planes de estudio y asimismo la extensión de las diferentes asignaturas. Con excepción de los nombres de algunas asignaturas la diferencia entre el área de las ciencias básicas varió poco o casi nada en comparación con el plan de 1925, este plan al igual que los anteriores presenta la dificultad de concentrar la ciencias básicas en los dos primeros años de la carrera, por lo que el ingeniero no se acercaba a su futura profesión hasta el tercer año, no se realizaban prácticas laborales, ni laboratorios, así como las demás insuficiencias en la formación tecnológica del Ingeniero Civil.

Con posterioridad se divide la Escuela de Ingeniería y Arquitectura; aplicándose desde 1943 hasta el curso 1945-1946 el plan de estudio del curso 1937-1938, el cual estuvo vigente hasta el curso precedente al Triunfo de la Revolución el 1^{ro} de enero de 1959.

El país se enfrentó a muchas tareas posterior al triunfo de la revolución entre ellas comenzó el análisis y depuración de las universidades incluyéndose los planes de estudio. En el año 1960 se contaba con un nuevo plan para las carreras de Ingeniería Civil y Arquitectura comenzándose a aplicar en este mismo año, fue aquí donde se inició la vinculación del alumno con su especialidad desde su primer año de estudio. Entre otras asignaturas se comenzó a impartir Geología en el 1^{er} año de la carrera con el fin de acercar al ingeniero a su profesión.

El principio de estudio trabajo se introduce en el curso 1971-1972. En el año 1976 surge el Ministerio de Educación lo que provocó que se iniciara un plan de reformas continuo de los planes de estudio, surgiendo así los sucesivos planes A, B, C y D.

Fue en el curso 1977-1978 donde se inició la implantación del plan A. en dicho plan se impartía la asignatura Geotecnia separada en Geología y Mecánica de Suelos.

El plan B se instaura en el curso 1983-1984 el cual mantiene los aspectos estructurales y normativos del plan A, pasados los períodos turbulentos del acontecer histórico desde el triunfo de la revolución hasta la culminación del plan B, la enseñanza en ambas especialidades se caracterizó por el predominio del diseño, aunque se comienza a profundizar en los aspectos de organización de la construcción, pero no se tomaba en cuenta la dirección y gerencia de empresas.

El plan C es creado a partir de una reestructuración que comenzó en el curso 1990-1991 dada la necesidad del país de contar con ingenieros de amplio perfil. Este plan significó un vuelco en la enseñanza de la Ingeniería Civil en el país; principalmente en la temática tratada, pues se formaba un profesional con

mayores conocimientos como diseñador y constructor. Al transcurrir los años se llegó a la conclusión de que el grado de complejidad de algunas asignaturas era sumamente elevado tanto así que el 2^{do} y 3^{er} año de la carrera tenían una gran carga docente, por lo que en el año 1999 se inició la elaboración una nueva versión del plan vigente creándose el plan “C” donde tomaron parte activa todas las universidades del país donde se impartía dicha carrera.

A su vez en la UCLV a este nuevo plan se le realizaron determinadas adecuaciones que la Comisión de Carreras de la Facultad de Construcciones consideró necesarias, dado por la nueva conformación de las API, el cambio de nombre de algunas asignaturas y la creación de algunas otras como la Geotecnia, no obstante este nuevo plan “C” y ajustado es muy similar al original.

Todo el acontecer mundial en cuanto al desarrollo de las ciencias y las técnicas así como la profundización en los planes de estudio y el acelerado avance de las microcomputadoras, los sistemas operativos y los software profesionales relacionados con la materia los llevó a implementar los mismos como herramientas útiles de cálculo.

Sobre la base de los logros y dificultades de los planes C se ha decidido por la Comisión Nacional de Carreras, la transición al plan D que se inició en el vigente curso 2007-2008. En este plan D se reduce considerablemente el número de horas presenciales y se propicia el empleo de métodos activos de enseñanza y el estudio independiente de los estudiantes a partir de las facilidades que brindan las TIC (tecnologías de la información y las comunicaciones).

El Modelo del Profesional expone los resultados que deben alcanzarse en la etapa de formación del Ingeniero Civil, incluyendo el período correspondiente al Adiestramiento Laboral, es decir, considerando los cinco años de formación académica y los dos años de Adiestramiento Laboral que concibe el Estado cubano para los egresados universitarios.

Entre las funciones profesionales están los aspectos geotécnicos en los que el egresado está capacitado para participar:

- Elaboración de tareas técnicas e interpretación de los resultados de los levantamientos topográficos e investigaciones ingeniero-geológicas
- Participaciones de investigaciones ingeniero-geológicas para obras civiles

En el plan de estudio D la Geotecnia alcanza la categoría de disciplina independiente “Geotecnia y Cimentaciones” formada por dos asignaturas: Geotecnia (88 horas) y Cimentaciones y Estructuras de Contención (80 horas), lo que implica reducciones del 20% aproximadamente del fondo de tiempo y la eliminación de 80 horas de prácticas laborales. Lo anterior, por un lado, permite darle una mayor importancia práctica a la disciplina y, por otro, prepara las condiciones para desarrollar la ingeniería geotécnica como una verdadera disciplina, donde se traten los aspectos de investigación, proyecto y construcción de obras geotécnicas estructurales y viales.

En la asignatura de Geotecnia, a partir del fondo de tiempo disponible, se deben propiciar la utilización de métodos activos de enseñanza y los recursos de las TIC para lograr los objetivos y habilidades de la asignatura, que son similares a los de planes anteriores.

Se hace necesario destacar que las carreras de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil del ISPJAE y la de la Facultad de Construcciones de la UCLV, alcanzaron la condición de Carreras de Excelencia y Certificada en el 2004 y en el 2005 respectivamente, al vencer satisfactoriamente el proceso de acreditación de las mismas según el Reglamento de Evaluación y Acreditación de las Carreras Universitarias vigente en el país, proceso en el que siguen inmersas las demás universidades donde se estudia esta carrera en Cuba.

Actualmente se concibe la Geotecnia como la aplicación de los principios geológicos e ingenieros, así como de los métodos, para resolver problemas de la Ingeniería Civil, e incluye la mecánica de suelos, la mecánica de rocas y los

aspectos ingenieros de la Geología Aplicada. En consecuencia, con estos conceptos, en la asignatura de Geotecnia, se imparten los aspectos geológicos e ingeniero geológicos que son necesarios en la formación del ingeniero civil.

Consolidar la formación de una concepción científica del mundo que permita a los estudiantes interpretar los problemas geológicos y geotécnicos y desarrollar el pensamiento lógico, la capacidad de razonamiento y la conciencia económica, para enfrentar, de forma creativa, los análisis técnico-económicos que requieren el diseño racional de las obras de tierra, las cimentaciones y las estructuras de sostenimiento de tierra conforman el objetivo educativo del mismo.

Dentro de los objetivos instructivos declarados en el plan de estudio se expone la necesidad para un ingeniero de 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. 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.

La renovación de la enseñanza y el aprendizaje en la educación superior resulta indispensable para mejorar su pertinencia y su calidad. Para ello es necesario establecer programas que fomenten la capacidad intelectual de los estudiantes, mejorar el contenido interdisciplinario y multidisciplinario y aplicar métodos pedagógicos que aumenten la eficiencia de la experiencia de aprendizaje, en especial teniendo en cuenta los rápidos avances de las tecnologías de la información y la comunicación.

1.2 Empleo de los medios de enseñanza. Características, funciones dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje

Los medios de enseñanza son condimentos esenciales del proceso de adquisición de conocimientos, hábitos, habilidades y convicciones de los cuales no podemos prescindir.

Ellos se desarrollan como consecuencia de las relaciones sociales del hombre y en especial por el carácter científico del aprendizaje y la enseñanza, se emplean para mejorar las condiciones de trabajo y de vida de los profesores y estudiantes; por lo que deben contribuir a objetivizar la enseñanza y el contacto directo con el mundo exterior, no pueden sustituir la función educativa del maestro, ya que es él quien dirige, organiza, y controla el proceso docente educativo, deben transmitir información de estudios y contribuir a la formación de la personalidad Silvestre y Zilberteins (1999).

Los medios de enseñanza han adquirido una gran importancia con el desarrollo de la Revolución Científico Técnica, que se ha reflejado en los centros educacionales, entre muchas cosas, con la aparición de equipos y tecnologías, de lo que el profesor puede hacer uso para el mejoramiento y la optimización de la enseñanza.

De las investigaciones psicológicas pedagógicas realizadas referentes al tema se ha deducido que los mismos reducen el tiempo dedicado al aprendizaje, dado por el grado de objetivización, aprovechándose por tanto en mayor medida las potencialidades de los órganos sensoriales. Se ha determinado que con su empleo se alcanza una mayor permanencia de los conocimientos en la memoria, elevándose por consiguiente el nivel del sistema de educación; en resumen se transmite un mayor volumen de información en menos tiempo con el nivel requerido y a la par se estimula al estudiante desde el punto de vista psíquico y práctico si se emplean correctamente Pidkasit (1986).

Los medios de enseñanza son los componentes del proceso docente-educativo que actúan como soporte material de los otros métodos (instructivos-deductivos) con el propósito de lograr objetivos propuestos, según lo expone González Castro (1986).

Los medios de enseñanza son: "Todos los materiales necesitados por el profesor o el alumno para una estructuración y conducción efectiva y racional del proceso de instrucción y educación a todos los niveles, en todas las esferas de nuestro

sistema educacional, para todas las asignaturas, para satisfacer las exigencias del plan de enseñanza” Selección de lecturas de metodologías, métodos y técnicas de investigación social (2005).

Se define como medio de enseñanza: “Imágenes y representaciones de objetos y fenómenos que se confeccionan especialmente para ser utilizados en el proceso docente-educativo, así como objetos naturales e industriales, tanto en su forma, como preparados, que contienen informaciones y se utilizan como fuentes de conocimiento, para la formación de convicciones y para el desarrollo de hábitos y habilidades” según el informe teórico para la elaboración de la Norma Estatal (NC “Equipamiento escolar y medios de enseñanza. Términos y definiciones. Código 020.675.85”; 1985).

El empleo de los medios de enseñanza pule la actividad cognoscitiva y de asimilación en las diferentes etapas del proceso educativo del alumno. La alta calidad de la enseñanza depende de su correcto uso ya que los mismos eliminan una parte considerable de los problemas que empañan el sistema de educación en Cuba, donde no esta exenta la carrera de Ingeniería Civil afectando por tanto la autopreparación de los estudiantes.

Los medios de enseñanza no pueden ser vistos en el proceso pedagógico como entes aislados, deben ser analizados con sus nexos y conexiones en el sistema donde interactúan, en la relación objetivo-contenido-métodos-medios de enseñanza. En esta relación los medios de enseñanza son el con qué; determinan el contenido lógico de los métodos, son su soporte material González Castro (1986).

Teniendo en cuenta estas consideraciones se sintetizan las características principales de los medios de enseñanza:

- Permiten lograr una mejor retención en la memoria de los conocimientos aprendidos
- Permiten una racionalización del tiempo necesario para el aprendizaje

- Disminuyen el agotamiento intelectual de los estudiantes
- Sintetizan un gran volumen de información
- Hacen más productivo el trabajo del profesor
- Aumentan el nivel de asimilación de los conocimientos por parte de los alumnos
- Establecen un alto grado de comprensión y comunicación entre el profesor y los alumnos

En sus investigaciones González Castro (1986), realiza una incursión por el trabajo de diferentes autores, como Wilbur Sarmn, Edgar Dale, Victor Fleming, J.M. Llerena y P. F. Jamo, referido al análisis, que los mismos realizan acerca de la clasificación de los Medios de Enseñanza, análisis que se retoma en la presente investigación, por ser representativo, de las diferentes tendencias para clasificar los medios de enseñanza.

Wilbur Sarmn, (citado por González Castro; 1986) agrupa a los medios de enseñanza en etapas generacionales, según fueron apareciendo en el contexto docente y los reúne en cuatro grandes grupos:

1. Medios de enseñanza de primera generación: no necesitan máquinas, ni dispositivos electrónicos, ellos son manuscritos, pizarrones, mapas, exposiciones, modelos, gráficos, demostraciones, etc.
2. Medios de enseñanza de segunda generación: son producto de la introducción de la máquina de reproducir manuscritos: la imprenta (que hizo posible la universalización de la instrucción) manuales, libros, tesis, impresos.
3. Medios de enseñanza de tercera generación: hicieron posible una nueva forma de comunicación masiva a base de imágenes y sonidos, separadamente al principio, combinando ambas cosas después, fotografías, diapositivas, películas fijas, películas silentes, grabaciones, radio, películas sonoras, televisión y otros medios de enseñanza.

4. Medios de enseñanza de cuarta generación: Se distinguen de los anteriores, el hombre, la máquina, auto instrucción programada, laboratorios lingüísticos, calculadoras electrónicas, etc.

Edgar Dale, establece una clasificación basada en lo que él denominó “el cono de las experiencias” y que en forma de pirámides presenta desde lo más abstracto hasta lo más concreto:

- Símbolos visuales
- Visitas fijas, radio grabaciones
- Cinematografías
- Televisión
- Exposiciones
- Excursiones del campo
- Demostraciones
- Experiencias dramatizadas
- Experiencias artificiales
- Experiencias directas con propósitos

El profesor Victor Fleming, ofrece una clasificación de los medios que se sustenta en la teoría del conocimiento, o sea, en el grado en que los medios permiten establecer el reflejo del mundo material de la naturaleza.

En las investigaciones realizadas por J.M. Llerena, este autor, agrupa a los medios de enseñanza, de acuerdo con su nivel de relación con la realidad:

- Experiencias directas con la realidad.
 - Objetos, especímenes y modelos.
 - Auxiliares de la actividad.
 - Excursiones escolares.
- Auxiliares visuales.
 - Material pictórico.
- Auxiliares auditivos
- Auxiliares audiovisuales.

- Simbólicos de representación plana.

P. F. Jamo, realiza un análisis más profundo de los medios de enseñanza y los unifica en cinco grupos:

1. Medios de transmisión de información: Su función esencial es la transmisión de las particularidades de los contenidos de estudio a los alumnos. Son predominantemente informativos a diferencia de su nivel de complejidad técnica o de la forma industrial de procesarlos.
2. Medios de experimentación escolar: Agrupa a todos los laboratorios y equipos de demostración para las enseñanzas de las asignaturas científicas tales como la física o la química.
3. Medios de control de aprendizaje. Son dispositivos que se emplean para el control individual y colectivo de los resultados del aprendizaje, sirven como mecanismos de retroalimentación en la enseñanza.
4. Medios de autoaprendizaje y propagación. Con estos equipos se logra que los alumnos puedan vencer un programa de trabajo para que aprendan por sí solos. Lo constituyen las conocidas y renombradas máquinas de enseñar.
5. Medios de entretenimiento. Lo constituyen los simuladores y entrenadores, cuya función esencial es la formación de hábitos y habilidades. Son equipos de diferentes estructuras técnicas, que van desde relojes hechos en cartulinas para que los niños aprendan la hora hasta los entrenadores para cosmonautas.

En Cuba, se han confeccionado Normas Cubanas para el equipamiento escolar y los Medios de enseñanza. En ellas se clasifican a los mismos, agrupados en:

- Libros y otros materiales impresos
- Medios planos
- Medios naturales
- Medios técnicos
- Herramientas e instrumentos

- Medios sonoros
- Medios de proyección
- Medios audiovisuales

En la presente investigación se toma como referencia la clasificación de los medios de enseñanza que ofrece la “Norma Cubana”.

Los medios de enseñanza-aprendizaje son empleados para llevar a cabo varias funciones dentro del proceso docente educativo

La función educativa de los medios de enseñanza está en la relación directa con el uso que se les dé. Un medio bien cuidado, limpio, que presente posibilidades para su uso inmediato y que tenga una frecuencia de uso elevada, puede constituir un elemento educativo más que mil palabras.

En el caso de la enseñanza, la influencia indirecta del elemento educativo, en ocasiones es más efectiva que una charla sobre el cuidado, mantenimiento y política de ahorro de los materiales.

El método, al establecer la lógica, el orden, la secuencia en la dinámica del proceso de enseñanza aprendizaje, exige condiciones que le den margen para la consideración de las cuestiones referentes al sujeto de aprendizaje que debe asumir la situación docente.

Es necesario puntualizar que los medios de enseñanza se desarrollan como consecuencia de las necesidades sociales del hombre, y en especial por el carácter científico del aprendizaje y la enseñanza. Los mismos deben cumplir las características y las funciones por las cuales fueron creados.

1.3 Los Medios de Enseñanza de uso directo. El papel de los materiales impresos como complemento para el trabajo independiente

Los medios de utilización directa o de percepción directa son aquellos que se utilizan en el aula y no necesitan recursos técnicos como soportes para su

utilización. En este sentido, estos adquieren una extraordinaria relevancia en los momentos actuales, porque en ellos se pone de manifiesto la importancia de la creatividad de nuestros educadores, y no solo eso, sino que están al alcance de la mano de todas las escuelas, y aún donde no existan, el profesor puede hacerlos por sí mismo. (Selección de lecturas de metodología, métodos y técnicas de investigación social; 2005).

Los medios directos presentan características específicas dentro de las que se señalan las siguientes:

- Su valor didáctico depende enteramente del uso que de ellos haga el profesor.
- Son operables por los profesores y básicamente por los propios alumnos.
- Permiten un alto grado de objetividad de la enseñanza.
- Posibilitan el trabajo independiente del alumno.
- Permiten la atención prolongada del estudiante.
- Su construcción es, por lo general, poco costosa y sencilla.

Los materiales impresos son los medios de percepción directa que transmiten la información mediante el lenguaje escrito. Están destinados, tanto a la transmisión de información, como a la formación de habilidades en la solución de tareas y ejercicios, la orientación del estudio individual, para el trabajo experimental y la educación del individuo en el sentido amplio Hernández Sampier (2003).

Cuba se ha dado a una tarea sumamente engorrosa en los últimos años, tratar de suplir los textos extranjeros con bibliografía creada por nuestros profesionales para así llevar a cabo el cubrimiento bibliográfico necesario para impulsar el proceso docente.

Los materiales impresos son los que el profesor y el estudiante utilizan con mayor regularidad en cualquier forma organizativa del proceso docente-educativo, ya sea fuera o dentro del aula, para la construcción de nuevos conocimientos, puede ser un libro de texto, manuales, cuadernos de trabajo, periódicos, revistas, guías de

laboratorio, documentos históricos, guías de prácticas de estudio, etc. Con la introducción de este medio de enseñanza se enriquece la clase, mejoran las posibilidades comunicativas que se establecen entre el profesor y el alumno, y activa de manera eficaz el proceso de pensamiento, desarrollando hábitos y habilidades en el trabajo independiente y, además da la posibilidad de establecer un estrecho vínculo entre el objeto de estudio y la generalización y abstracciones que tienen lugar en la mente del estudiante.

Las características que presentan los materiales impresos son disímiles y su objeto va encaminado a resolver las problemáticas existentes dentro del proceso docente fundamentalmente.

En la actualidad en todo el mundo se utilizan los libros de texto como recurso didáctico, aún cuando las situaciones y realidades educativas sean distintas o de diferentes modos, cumpliendo con varias funciones de apoyo al profesor como son:

- Toma de decisiones curriculares.
- Planificación de estrategias de enseñanza.
- Explicaciones científicas.
- Adquisición automática de conocimientos de forma ordenada y sistemática por parte del estudiante.
- Auxilio al estudio en la ejercitación, el repaso y la profundización de los conocimientos adquiridos.
- Promoción del cambio conceptual en los estudiantes.

Si se pretende establecer una relación entre los medios de enseñanza y el estudio independiente se necesita proceder detalladamente dado por las características especiales de este tipo de estudio y su influencia en los estudiantes de enseñanza superior.

Se ha percibido un insuficiente desempeño en las capacidades del estudiante para el correcto razonamiento, para acometer el trabajo individual en la comprobación

de los conocimientos y la carencia de hábitos de estudio por lo que se hace cada vez más necesario la aplicación de vías alternativas para estimular el pensamiento creador, hábitos y habilidades, para que en un futuro no muy lejano los ingenieros puedan responder adecuadamente a los requerimientos científicos y técnicos.

El estudio independiente siempre ha sido considerado dentro del proceso docente como fundamental, aunque el mismo se incluye como una de las formas de trabajo extractase.

Dado todo este trabajo se hace indispensable preguntar acerca de la finalidad pedagógica del trabajo independiente en la educación superior; así como la manera en que se ve el mismo, dado fundamentalmente como medio para determinar los conocimientos y perfeccionar las habilidades para ser aplicadas con posterioridad en la práctica.

Dentro de la bibliografía consultada aparecen aspectos que sería adecuado referir acerca del trabajo independiente.

Para lograr entender la importancia y el lugar que ocupa en el proceso docente el trabajo independiente se necesita contar con una definición que se acerque lo más posible a su esencia. Según el concepto que se adopte del trabajo independiente, dependerá en gran medida su importancia para el proceso de aprendizaje.

Según Pidkasisty, (1986)"... el trabajo independiente es el medio de inclusión de los alumnos en la actividad cognoscitiva independiente, el medio de su organización lógica y psicológica..."

También se recoge lo expuesto por López Hurtado (1994):"... el trabajo independiente es un medio efectivo para desarrollar gradual y sistemáticamente niveles cada vez más altos de independencia en la solución y al mismo tiempo constituye el instrumento idóneo para medir el nivel de independencia alcanzado y resolver una tarea en un momento determinado..."

La diferencia de criterios relacionada con su esencia se da en que muchos autores se refieren al estudio independiente como método de enseñanza, otros como un procedimiento y generalmente se aborda como forma de organización de clases.

El trabajo independiente con motivo de contribuir al desarrollo y creatividad de las actividades docente debe:

- Presentar un carácter productivo y no reproductivo en dependencia de los requerimientos
- Debe ser en esencia creativo ya que se pretende instar al estudiante a reflexionar y trascender lo estudiado, lo que propiciará el aumento de las capacidades cognoscitivas y por tanto de la creatividad
- Ser tan amplio como sea posible para fomentar en el alumno la capacidad de elegir

Un elemento primordial para el desarrollo cognoscitivo personal es instar al estudiante a emprender el estudio independiente en general. Todo tiene su punto clave, es tan malo tutoriar constantemente al alumno como la carencia de orientación en determinados momentos. Si se estimula adecuadamente un grupo de tareas seleccionadas por el propio alumno, los resultados a obtener serán muy provechosos y pueden ser de peso dentro de un sistema coherente y por tanto aumentará su creatividad.

1.4 El trabajo independiente como método de enseñanza dentro del proceso de aprendizaje

El sistema de enseñanza se concibe para que el estudiante pueda apropiarse de los conocimientos incluidos en el programa de cada asignatura mediante el análisis y estudio de casos prácticos, seminarios, laboratorios y a través del autoaprendizaje. Se utiliza como principio de formación el aprender haciendo, aplicando las mejores habilidades para desarrollar los procesos de gestión de la información y el conocimiento.

El trabajo independiente de los estudiantes se organiza desde las asignaturas y debe incluir el desarrollo de destrezas en el análisis, de profundización, de generalización de contenidos y habilidades prácticas en la solución de problemas de forma tal que se evidencie:

1. La independencia cognoscitiva: que permita asumir de modo activo e independiente el proceso de formación y desarrollar la capacidad de aprender.
2. La elevada competencia profesional: que permita realizar su actividad laboral con independencia, creatividad y ética revolucionaria.
3. El rigor científico y las formas del pensamiento lógico: al nivel de abstracción y de razonamiento mediante el proceso de formulación, análisis y solución de problemas.
4. La capacidad para diseñar y realizar experimentos: buscar información, evaluando críticamente los resultados y utilizándolos en la solución de problemas.

Se trazan tres direcciones fundamentales para su clasificación tomando como punto de arranque:

- Las fuentes del conocimiento
- Los eslabones didácticos del proceso docente
- La estructura de la actividad cognoscitiva de los estudiantes

Es objetivo del vigente plan de estudio que las habilidades para el trabajo independiente comiencen a desarrollarse en los estudiantes desde su ingreso a la Educación Superior, por lo que el curso introductorio para los estudios de Ingeniería, de al menos seis semanas de duración, que se llevará a cabo al inicio de la carrera, tiene entre sus contenidos esenciales la asignatura Aprender a Aprender. La misma tiene el propósito de desarrollar habilidades básicas en el aprendizaje individual y contribuir a que transiten de forma exitosa por su formación como ingenieros.

El trabajo con un material bibliográfico determinado y la correcta guía del profesor son elementos primordiales para la adquisición de nuevos conocimientos mediante el estudio independiente. En este caso es el estudiante quien resepciona el conocimiento sobre el aspecto externo del objeto estudiado y logra la explicación de los fenómenos a través del conocimiento de la teoría estructural de la sustancia.

Para lograr una adecuada clasificación se deben recoger varios aspectos, por lo que a continuación se agrupan en una misma clasificación disímiles aspectos:

1. Aspecto filosófico dado por la concepción dialéctico-materialista del mundo.
2. Aspecto psicológico que recoge las diferentes etapas del proceso psicológico y estructural del pensamiento
3. Psicológico-didáctico dado por el tipo de actividad fundamentalmente
4. Didáctico, expone las funciones didácticas
5. Didáctico-metodológico, incurre en el nivel problemático de la tareas
6. Metodológico, expone las fuentes de información y medios para desarrollar habilidades y hábitos
7. Organización lógica y sistemática de las actividades
8. Organizativo, trata lo referente a la estructura de la actividad independiente

Las orientaciones metodológicas para la elaboración de un sistema de trabajo independiente se realizó por autores como Morejón Puente y Valdés Martínez, (2001) a partir de detallados estudios:

1. Formulación de los objetivos en función de las habilidades
 - ✓ En cada asignatura se formulará primero cada uno de los objetivos de la misma, de los temas y de las clases en términos de habilidades concretas que es necesario formar en los estudiantes, constituyendo este el punto de partida del trabajo a desarrollar
 - ✓ Debe tenerse en cuenta la derivación gradual de los objetivos y su aporte a cada contenido

- ✓ Se debe responder al estudiante para que le sirven cada uno de los conocimientos adquiridos en su vida profesional
- 2. Sobre la cantidad y selección de las diferentes formas de trabajo independiente

A partir de la formulación de los objetivos, en función de las habilidades, según corresponda: asignatura, tema y clase, tomando en consideración:

- ✓ Características del contenido
- ✓ Disposición de los recursos materiales
- ✓ Experiencia metodológica en la impartición de la asignatura
- ✓ Tipo de curso
- ✓ Características del grupo

A la hora de crear la metodología a seguir para la planificación del estudio independiente se recomienda seguir las pautas siguientes:

1. La similitud entre actividades con el nivel y profundidad deseado ya sea para una clase, tema o asignatura
2. El progresivo aumento de la complejidad de las tareas
3. El carácter del sistema
4. El empleo de la bibliografía y materiales debidamente actualizados
5. El uso de acuerdo a las posibilidades de herramientas como la computación
6. La articulación entre todas las formas de enseñanza concebidas para la asignatura

El profesor dentro del proceso de trabajo independiente se encamina fundamentalmente a la organización y se basa en:

- Determinar la profundidad y el contenido de las actividades a desarrollar en el trabajo independiente
- Ofrecer asistencia metodológica durante el desarrollo del trabajo, desarrollando de ser posible guías que ilustren la ruta a seguir

➤ Controlar las tareas orientadas

Los materiales de estudio reúnen las mismas características de un libro de texto con menor volumen, son materiales impresos que constituyen una fuente de información científica y práctica que sirve para organizar y sistematizar el conocimiento para dirigir la actividad cognoscitiva del estudiante, para permitir el estudio independiente, y como guía ideológica y educativa.

1.5 Las TIC al servicio de la enseñanza

Desde su surgimiento, las técnicas de computación han jugado un importante y creciente papel en el campo de las ciencias técnicas, y para la Ingeniería Civil han representado un eficiente vehículo para el análisis de variantes de proyectos, automatización de los procesos asociados a la toma de decisiones, en las fases de elaboración de la documentación de los Servicios de Ingeniería, Servicios de Diseño y Servicios de Construcción Civil y Montaje, etc., lo que justifica la necesidad de crear una base amplia y sólida en la utilización de tales técnicas en este perfil profesional.

El gigantesco salto en la informática que constituyen los adelantos en cuanto al desarrollo del hardware y el software que ha permitido conformar las redes de computadoras con lo que se logra ahorrar recursos, actualizar los volúmenes de información, la comunicación, en resumen, Internet y el valioso aporte de las páginas Web, por todas estas las ventajas, la computación es el medio idóneo para llevar a cabo un proceso metodológico de enseñanza-aprendizaje de avanzada. Es sin lugar a dudas, la computadora y junto con ella todas las posibilidades que ofrece (multimedia, hipertextos combinados con sonidos, imágenes, animación, videos, etc.) la convierte en una herramienta de gran valor.

Ya teniendo elaborado un material bibliográfico que cumpla con los requerimientos necesarios para tratar las temáticas de Geología e Ingeniería Geológica dentro de la asignatura Geotecnia, solo queda la conformación del mismo de forma digital. Relacionado con este tema del material de forma digital, en la actualidad no se

cuenta con la experiencia por parte de la asignatura no siendo así por parte de los usuarios ya que en otras asignaturas han experimentado experiencias similares a la que se pretende implantar. El material bibliográfico, posterior a su diseño puede disponerse al usuario mediante la red o en soporte digital, siendo todo esto posible dado a los adelantos con que presenta el país dentro de la educación superior que cuenta con el uso de computadoras para desarrollar el proceso docente.

Las TIC crean las habilidades esenciales para el empleo de los sistemas profesionales afines a la carrera, mientras que las restantes disciplinas del currículo incluyen objetivos instructivos y habilidades a lograr que exijan la utilización de la computación por parte de los estudiantes se necesita vincular más la Geología con las mismas. Las vías y métodos a ser aplicados para alcanzar dichos objetivos, están asociados con el papel que deben jugar los docentes que se encuentran responsabilizados con la impartición de las disciplinas del plan de estudio, en especial aquellas que han sido diseñadas para ser impartidas sobre la base de una utilización plena de las TIC y aquellas que conforman el perfil del graduado.

Por otra parte, la reducción que experimenta el fondo de tiempo presencial total de este Plan D para desarrollar la carrera de Ingeniería Civil en comparación con el plan de estudio anterior, presupone un proceso didáctico pedagógico de nuevo tipo por medio del empleo cada vez mayor de las tecnologías de la información y las comunicaciones ya que el tiempo de dedicado a la gestión de la información también se reduce, que ha de ir generalizándose progresivamente en todas las disciplinas de la carrera en la medida en que los profesores adquieran suficiente preparación para modificar sus hábitos pedagógicos, y que los recursos materiales vayan completándose en las universidades cubanas.

Los medios de enseñanza y la tecnología educativa son conceptos que se encuentran muy ligados entre sí, siendo en ocasiones confundidos; los medios no son más que productos empleados dentro de un determinado sistema de aprendizaje para lograr los objetivos deseados y la tecnología educativa no es

más que una compleja organización de varios elementos que se diseñan para operar cambios en el comportamiento del alumno, se relaciona con el análisis de condiciones ambientales, de métodos, despliegue de técnicas de validación de resultados, de teorías de aprendizaje, de valores, de actitudes, en fin, el estudio de la naturaleza del individuo, de la manera de seleccionar, sintetizar, organizar y resumir el volumen de información del semestre o curso, expone la estrategia de motivación y guarda relación con los medios de enseñanza-aprendizaje.

El estudio del objeto de la computación debe dirigirse a dos pautas fundamentales; el estado generalizado y la divulgación de las técnicas para la formación de una cultura computacional, tomando en cuenta el desarrollo actual de la misma y que las técnicas actuales la sitúan como herramienta fundamental para el trabajo. Se hace evidente la necesidad del estudio de la ciencia y la técnica de la computación para la formación de profesionales en todo el sistema y para su vida laboral.

El empleo de las técnicas computacionales por el profesor garantiza que el mismo se encuentre preparado para ejercer una influencia sobre el futuro profesional preparándolo para el proceso docente educativo y para su vida tanto laboral como personal.

El software educativo conforma en un mismo principio muchos factores que en otros medios de enseñanza se muestran dispersos y a la vez otros que no se había logrado alcanzar con anterioridad:

- Medio interactivo que permite la retroalimentación
- Permite evaluar los conocimientos adquiridos
- Se puede a través de los mismos mostrar un determinado problema tal cual es
- Brinda la posibilidad de animar las representaciones
- Brinda las posibilidades de medir las habilidades a que ha llegado el usuario
- Se pueden simular complejos procesos

- Minimiza considerablemente el tiempo a la hora de impartir extensos volúmenes de información

Con el avance de las tecnologías la computadora va alcanzando cada vez más velocidad de trabajo y ampliando la capacidad de almacenamiento lo que da la posibilidad de aumentar la interfaz usuario-máquina, sin obviar la aplicación informática. Estos adelantos hacen que se corrobore el objeto educativo de las mismas ya que brindan los inmensos volúmenes de información que se manejan en la actualidad en un menor tiempo con un lenguaje para nada complejo.

Las ventajas que representa la computación para el estudio son inmensas ya que no solo muestra la información sino que es el usuario quien decide hasta donde desea profundizar en el tema. Dada la tendencia actual que se encamina a lograr una educación basada en el auto-aprendizaje sin dejar de recibir el apoyo de profesores (futuramente llamados asesores docentes), donde cada egresado marca su propio ritmo de estudio y aprendizaje, se ha decidido volcar con más exigencia todo el proceso de metodología de enseñanza-aprendizaje al empleo de la computación como herramienta primordial en el proceso de formación del individuo.

El plan de estudio D tiende a la semipresencialidad y a la aplicación de la teoría de la educación a distancia por lo que este material bibliográfico de Geología e Ingeniería Geológica será de gran ayuda para la futura impartición de la asignatura tratada, cosechando rápidos frutos tras su empleo.

Para el estudiante las ventajas de la enseñanza virtual son:

- Adapta el estudio según sus requerimientos personales
- Realiza sus intervenciones de forma consciente dadas las ventajas de trabajar off-line
- El usuario se torna activo ya que aparte de recibir información puede ser parte de ella dentro de su proceso de formación

- Todos tienen el mismo acceso a la enseñanza si por diferentes motivos se ven forzados a ausentarse del centro

Para la universidad las ventajas de la enseñanza virtual son:

- Da la posibilidad de brindar formación a empresas sin lo que suponen los desplazamientos, alojamientos y dietas a los trabajadores
- Brinda una inmensa posibilidad a las personas o trabajadores que por indistintas razones no tienen la posibilidad de acceder a cursos presenciales
- Aumenta la efectividad de los presupuestos destinados a la educación (vertiginosamente crece el número de países donde los presupuestos destinados a la educación están congelados aunque la demanda crece. Mientras que decae la financiación, los gobiernos piden niveles más altos y mayor relevancia del factor “profesionalizador” de los cursos)

1.6 Estado actual de la bibliografía para la enseñanza de la Geología en la Ingeniería Civil en Cuba

Desde el triunfo de la Revolución el 1^{ro} de enero de 1959 Cuba se enfrenta a grandes problemáticas, una de ellas es el interés de llevar a posiciones de avanzada el proceso de enseñanza-aprendizaje, por lo que se enfrenta entonces a la carencia de materiales bibliográficos (libros de texto fundamentalmente) para suplir la demanda exigida por el proceso docente. Es por lo que se pide a los profesionales vinculados al proceso de formación de los futuros profesionales su colaboración en lo referente a crear materiales bibliográficos que ayuden a cubrir las deficiencias bibliográficas, materiales con el adecuado nivel de conocimientos que exigen las diferentes disciplinas y el grado de actualización adecuado que permita la formación de profesionales cada vez más preparados.

Los libros de texto con que se cuenta en la actualidad para desarrollar el proceso de enseñanza-aprendizaje de la temática de Geología e ingeniería Geológica dentro de la asignatura Geotecnia de la carrera de Ingeniería Civil es “Geología

para Ingenieros” tomo I y II de Sergio Paz editado e impreso por primera vez en 1984, siendo este el único libro con que se cuenta en cantidad suficiente para ser empleado como texto.

Este libro está casi en su totalidad desactualizado. El mismo está conformado por dos extensos tomos donde se recoge un gran volumen de información que en determinados temas como la estratigrafía y la geología estructural así como su aplicación en la construcción la información es insuficiente, mientras que en otros como lo relacionado con el proceso de formación de minerales y rocas así como su clasificación solo se expone desde el punto de vista del conocimiento de la esencia y no se trata de mostrar dentro del entorno como en realidad se hace ver. Esta conformación de las temáticas a tratar no es adecuada desde el punto de vista metodológico y educativo ya que exige del estudiante un gran esfuerzo dado a que fundamentalmente no ilustra los conocimientos.

Además de este texto en la biblioteca de la facultad se cuenta con los textos Geología general Gorshleov, G y Yakuslova, A (1977), Geología Meléndez, B y Fuster, J. M (1975) así como Geología Física Holmes, A (1971); los que excluyen las investigaciones ingeniero-geológicas.

En la biblioteca central de Santa Clara también se cuenta con algunos textos Elementos de Geología Branson, E y Tan W (1959) y Geología General Lange, O; Ivanova, M y Nlebedera (1966) pero como los anteriores solo pueden ser utilizados como materiales de consulta en determinados temas ya que estos en su mayoría son de autores rusos y estos al desarrollar sus teorías lo hacían sobre la base de las teorías fijistas ignorando las movilizadas a las cuales se acoge nuestro proceso docente.

A partir del 2007 dentro del proceso de universalización de la enseñanza se comenzaron a impartir cursos y confeccionar tabloides como Curso de Naturaleza Geológica de Cuba (Colectivo de autores; 2006) los cuales son en esencia actuales pero no aligeran el problema del cubrimiento bibliográfico para los temas de Geología ya que estos van encaminados a un público más general.

En primer lugar, el carácter cronológico de la Geología conlleva a un orden lógico de temáticas que no ha sido respetado en la bibliografía analizada. En segundo lugar, aspectos geológicos de obligatoria referencia se omiten o se minimizan. Resulta por tanto impracticable reimprimir un texto como “Geología para Ingenieros”, de Sergio Paz (que hasta ahora había sido utilizado), con nada menos que 637 páginas que apenas serán consultadas por el estudiante. Otros textos consultados para la elaboración del nuevo programa, tampoco se ajustan como material básico de consulta por iguales razones de extensión, o por especializarse en determinados temas.

1.7 Principales deficiencias existentes en la enseñanza de la Geología dentro de la asignatura Geotecnia

Con la experiencia de medio siglo en la formación de Ingenieros Civiles, y teniendo en cuenta la importancia de los conocimientos geológicos y geotécnicos en el desempeño de los mismos, se hace necesario reflexionar acerca de la metodología aplicada en la enseñanza de la Geología, su volumen de conceptos básicos, razonamiento profundo y riqueza cultural inestimable, hacen de esta ciencia escalón obligado en la instrucción del profesional de la construcción. Por otra parte, la implementación de la semipresencialidad como modalidad pedagógica multiplica el acceso de los ciudadanos a la educación y enfatiza en los aspectos que el estudiante debe asumir por sí mismo. Como resultado se impone una nueva metodología de impartición de la asignatura que potencie el máximo de aprendizaje, equilibrando la enseñanza en un mínimo de horas presenciales y una correcta orientación del estudio individual y de las prácticas de laboratorio.

En la educación superior en la época actual, al margen de las posibilidades particulares que puedan existir en diferentes países, acostumbra a distinguir, básicamente, entre dos modalidades de estudio diferentes por el modo de asumir la relación estudiante-profesor: “presencial” y “a distancia”.

La modalidad “presencial” es entendida generalmente, como aquella donde el proceso de formación tiene lugar a partir de la presencia de los estudiantes y sus

profesores, en el mismo lugar, mismo tiempo y con altos niveles de carga lectiva semanal, con lo cual se asegura una relación estable y permanente para lograr los objetivos propuestos, aunque limitando apreciablemente en el estudiante el desarrollo de su independencia y su creatividad Hernández Sampier (2003).

Esa modalidad ha sido considerada hasta el presente como la más apropiada para estudiantes que dedican todo su tiempo a los estudios, y para docentes dedicados exclusivamente al proceso educativo. En el afán de asegurar al máximo los objetivos propuestos, con frecuencia se rebasan los límites fisiológicos de ambos factores, sometidos a la enseñanza-aprendizaje de excesivas cargas lectivas semanales, lo que reduce las posibilidades de auto-preparación, el desarrollo de la independencia, la creatividad y llega a sustituir el proceso natural de “aprendizaje por razonamiento” por un ejercicio abusivo de la memorización de conceptos y esquemas.

Por su parte, los estudios denominados “a distancia” basan su funcionamiento en la poca o nula frecuencia con que se encuentran estudiantes y profesores para desarrollar el proceso de formación, como consecuencia de lo cual predomina la actividad independiente del estudiante como método fundamental para su formación Hernández Sampier (2003). Así, la relación estudiante-profesor se establece esencialmente a través del empleo de medios de enseñanza que posibilitan la comunicación entre ambos sin necesidad de coincidir en un mismo lugar y al mismo tiempo.

Incluso en aquellos estudios clasificados como “presenciales” hay también espacio para desarrollar una parte de ellos con enfoques diferentes, poniendo en juego estas tecnologías y sin ser necesarios altos niveles de presencialidad.

La idea de la “semi-presencialidad” surge asociada a ambas modalidades de enseñanza, combinando los encuentros presenciales con aquellos que se realizan a través de los medios, y donde la independencia cognoscitiva y la autopreparación del estudiante adquieren especial relevancia.

En la educación superior cubana, la semi-presencialidad es la modalidad pedagógica que posibilita el amplio acceso y la continuidad de estudios de todos los ciudadanos, a través de un proceso de formación integral, enfatizando más en los aspectos que el estudiante debe asumir por sí mismo; flexible y estructurado; en el que se combina el empleo intensivo de los medios de enseñanza con las ayudas pedagógicas adaptables en intensidad a los requerimientos y a los recursos tecnológicos disponibles para llevarla a cabo.

La modalidad semi-presencial no solo favorece al estudiante en aspectos ya mencionados. Los educadores, una vez reducidas las horas de obligatoria presencia, disponen de este tiempo en la investigación, asesoría a proyectos y autopreparación. Además, se multiplica considerablemente el número de estudiantes que puede asumir, al no ser limitante las condiciones técnicas y/o espaciales de un local.

En la educación actual se presentan una serie de problemáticas o problemas que dificultan el adecuado desempeño del proceso enseñanza-aprendizaje de los estudiantes de educación superior, donde se ve afectada la carrera de Ingeniería Civil y dentro de ella la asignatura analizada.

Un agravante problema es la falta de actualización de los textos básicos de la asignatura, con el plan de estudio vigente y la desactualización parcial de la información debido al avance de la ciencia y la técnica y fundamentalmente de las TIC, se hace presente. En estos momentos se cuenta a nivel mundial con volúmenes inmensos de información por lo que sería necesaria la actualización sistemática de la bibliografía, no todo lo publicado en Internet (fuente principal de información) es del todo fiable por lo que se hace necesario primeramente constatar la veracidad de la misma para ser empleada en el proceso de enseñanza, de ser en formato digital sería actualizada con mayor rapidez y eficiencia.

Otro de los problemas que aqueja es la falta de motivación del estudiante dada por la impartición de los contenidos de forma tradicional y el gran volumen que recibe,

a lo que se suma la carga docente que presenta el semestre donde se imparte la temática analizada en el actual plan de estudio, por lo que se deben propiciar otras vías, como la fomentación del estudio independiente potenciado con el empleo de las TIC.

Independientemente del desarrollo alcanzado por las TIC y de que el plan D pretende potencializar que el estudiante construya su conocimiento a partir de las ventajas de las mismas y de que exista cierta bibliografía que pueda ser utilizada se necesita de todas formas un material breve que se ajuste a los objetivos de la asignatura y la disciplina con gráficos y tablas que sean ilustrativos, con ejemplos de casos y propuestas de ejercicios o problemas a resolver que proporcionen economía en tiempo al profesor y al estudiante en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Otra problemática es la gran demanda de profesionales y capacitación de los mismos por lo que cada vez con más frecuencia se habilitan cursos de diferentes modalidades, siendo así más necesaria la elaboración del material.

En correspondencia se han mostrado los aspectos de mayor prioridad desde el punto de vista teórico y metodológico que se relacionan con la problemática analizada y en especial con el problema científico de esta investigación, con el propósito de sustentar la hipótesis y la solución al problema.

Conclusiones parciales del capítulo I

Las conclusiones a las que se arribaron al concluir el presente capítulo son:

- En el nuevo siglo y milenio, cuando nace una Universidad de amplio formato la carrera de Ingeniería Civil se incorpora a este proceso mediante la instauración de una nueva modalidad de estudios dentro del actual plan de estudios vigente a partir del curso 2007-2008, la semi-presencialidad, que hace al estudiante copartícipe de su propia instrucción. Donde además se le otorga a la Geotecnia la categoría de disciplina la cual incluye las temáticas de Geología.
- El auge del empleo de las TIC dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje ha ampliado las posibilidades al fomentar la gestión de la información, jugando un importante papel en el estudio independiente donde es el estudiante quien construye sus conocimientos.
- Se hace necesario concebir un material bibliográfico no muy extenso donde se recojan las temáticas de Geología con la debida actualización, orden lógico de las materias y el nivel de complejidad necesario de los conocimientos a tratar.
- Con la creación de un material bibliográfico para las temáticas de Geología e Ingeniería Geológica dentro de Geotecnia propiciaría el correcto aprendizaje y facilitaría la adquisición de conocimientos del egresado.

CAPÍTULO II



Capítulo II

Metodología de trabajo y análisis de los resultados

2.1 Metodología de trabajo y análisis de los resultados

En el presente capítulo se describe la metodología de trabajo que se llevó a cabo en esta investigación que incluye la muestra, la concepción metodológica y los métodos empleados durante el proceso de investigación. Se analizan los resultados obtenidos en la etapa de investigación. También se exponen los medios a elaborar, sus características y forma de empleo. Obteniéndose finalmente una serie de indicadores con el objetivo de valorar las características de los medios propuestos y su calidad a partir del criterio de especialistas.

2.2 Universo y muestra

El universo al cual fue dirigida la investigación se conformó con estudiantes, profesores y especialistas de la especialidad tratada.

La muestra está formada por profesores de Geotecnia que poseen experiencia en la impartición de la asignatura, los que pueden aportar datos representativos para el desarrollo de la investigación; estudiantes que han recibido la asignatura, concretamente los de tercer año del curso actual ya que recibieron la asignatura en el primer semestre; a especialistas de la producción con experiencia y que preferentemente hayan impartido estos temas como profesores adjuntos de la universidad y otros especialistas que puedan valorar a partir de un sistema de indicadores la calidad del trabajo (tabla 2.1).

Tabla 2.1 Descripción de la muestra

Muestra	Cantidad
Profesores de la Facultad de Construcciones	4
Estudiantes de la Facultad de Construcciones	66
Especialistas de la ENIA de VC	2
Especialistas de la Empresa Geominera del Centro	2
Especialistas de la EIPH de VC	2
Especialistas de la CNC	2
Otros especialistas	6

En el transcurso de la investigación se emplearon una serie de métodos investigativos analizándose detalladamente sus objetivos así como los resultados obtenidos a partir de la utilización de los mismos.

2.3 Los métodos de investigación

Los métodos de investigación empleados se agrupan de acuerdo a su nivel en dos. Se analizan los de nivel teórico y los de nivel empírico.

Los métodos de investigación teóricos reproducen teóricamente un objeto, en el pensamiento, en toda su objetividad y concreción, significa comprenderlo en su desarrollo, en su historia y en su lógica. Los mismos están presentes en todo el proceso de investigación Rodríguez Gómez, Gil Flores y García Jiménez (2004).

- Abstracto a lo concreto
- Análisis-Síntesis
- Histórico-Lógico
- Inductivo-Deductivo

Los métodos de investigación de carácter empírico conllevan toda una serie de procedimientos prácticos con el objeto y los medios de investigación que permiten revelar las características fundamentales y relaciones esenciales del objeto; que

son accesibles a la contemplación sensorial. Los métodos de investigación empírica, representan un nivel en el proceso de investigación cuyo contenido procede fundamentalmente de la experiencia, el cual es sometido a cierta elaboración racional y expresado en un lenguaje determinado.

- Análisis de documentos
- Encuesta a estudiantes
- Encuesta a profesores
- Encuesta a especialistas
- Valoración por criterio de especialistas

2.3.1 Métodos de nivel empírico

Análisis de documentos

Los documentos escritos abarcan una amplia gama de modalidades como: documentos oficiales, personales (no oficiales), autobiografías, historia de vida, biografías, historias orales, diarios, cartas personales, documentos escolares, libros, etc.

El análisis de documentos es una actividad planificada que consiste en examinar documentos escritos. Pretende obtener información útil y necesaria para dar respuesta a los objetivos identificados en el planteamiento de la investigación (Selección de lecturas de metodología, métodos y técnicas de investigación social; 2005).

Los materiales escritos se deben considerar como instrumentos cuasi observacionales. Conocer los objetivos facilita la decisión del investigador sobre que información obtener. La información generada por los documentos es de gran utilidad para recopilar nuevos datos e información complementaria de otras estrategias como la encuesta, aunque en ocasiones se emplee exclusivamente.

Los documentos escritos se agrupan en dos tipos en función del ámbito en que se generan: documentos oficiales y documentos personales. En el presente trabajo se utilizan como instrumento la revisión de documentos oficiales.

Por documentos oficiales se entiende, toda clase de documentos, registros y materiales oficiales y públicos, disponibles como fuente de información.

Pueden ser utilizados como documentos oficiales: planes de estudio, programas escolares, planes de clases, libros de texto, exámenes, folletos de ejercicios, notas de clases y otros que en el ámbito de la educación son conocidos como documentos curriculares y pueden facilitar información importante sobre cuestiones y problemas sometidos a investigación.

Se revisan documentos para crear una base con el objetivo de lograr valorar adecuadamente la preparación y el enfoque que hasta el momento se le ha dado a la asignatura Geotecnia y en especial a las temáticas relacionadas con la Geología e Ingeniería Geológica a través de los diferentes planes de estudio, en especial al plan "C" modificado, su vinculación con los objetivos instructivos y educativos de la disciplina. Además para valorar las nuevas transformaciones que se aplican en la actual transición comenzada en el vigente curso 2007-2008 al plan D para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Se tomaron también como base las consideraciones expuestas en el Modelo del Profesional ya que de forma muy clara analiza el sistema de objetivos y habilidades debe desarrollar el futuro egresado para emitir soluciones racionales y eficientes a la hora de ejercer como profesional.

Se analizaron los elementos fundamentales del programa de la asignatura Geotecnia, sus objetivos, sistema de conocimientos, sistema de evaluación, indicaciones metodológicas de la asignatura y bibliografía recomendada.

Se consultaron las normas de investigaciones ingeniero-geológicas para contar con el mayor cúmulo de información posible.

La encuesta

La encuesta es una técnica de adquisición de información de interés sociológico, mediante un cuestionario previamente elaborado, a través del cual se puede conocer la opinión o valoración del sujeto seleccionado en una muestra sobre un asunto dado (Selección de lecturas de metodología, métodos y técnicas de investigación social; 2005).

La encuesta, una vez confeccionado el cuestionario, no requiere de personal calificado a la hora de hacerla llegar al encuestado.

A diferencia de la entrevista la encuesta cuenta con una estructura lógica, rígida, que permanece inalterada a lo largo de todo el proceso investigativo. Las respuestas se escogen de modo especial y se determinan del mismo modo las posibles variantes de respuestas estándares, lo que facilita la evaluación de los resultados por métodos estadísticos.

El cuestionario es un instrumento básico de la observación en la encuesta y en la entrevista. En el cuestionario se formula una serie de preguntas que permiten medir una o más variables. El cuestionario posibilita observar los hechos a través de la valoración que hace de los mismos el encuestado o entrevistado, limitándose la investigación a las valoraciones subjetivas de éste.

La encuesta abierta es una encuesta que no limita el modo de responder a la misma mientras que la cerrada si. Este tipo de preguntas no permite medir con exactitud la propiedad, solo se alcanza a obtener una opinión.

1. Encuesta a estudiantes

Debido a la relativa rapidez con que se recoge un determinado volumen de información que se necesita para esta investigación, la encuesta cerrada se presenta como un método auxiliar adecuado para esta investigación.

Siendo necesario constatar las dificultades en el proceso de enseñanza-aprendizaje se les aplicó la encuesta a los estudiantes. Esta encuesta se encaminó básicamente a la extensión bibliográfica y la actualización de la misma para la asignatura, así como también a la orientación del estudio independiente (Anexo I).

2. Encuesta a profesores

Un pilar fundamental en la formación de futuros profesionales lo conforman sus profesores y su capacidad de desempeño.

El fundamento de esta encuesta abierta se dirige a las limitaciones y dificultades que puedan llevar al profesor a no desempeñar sus funciones con el nivel requerido y por tanto dificultar el proceso de enseñanza de la asignatura y en especial de la temática abordada en la Facultad de Construcciones. Es importante saber cuales son sus criterios y posibles soluciones acerca de las dificultades de los estudiantes y sus criterios acerca del material bibliográfico y su posibilidad de ser empleado para la impartición de los temas de Geología e Ingeniería Geológica en la carrera de Ingeniería Civil (Anexo II).

3. Encuesta a especialistas de la producción

Dicha encuesta fue realizada a especialistas que laboran en la ENIA de Villa Clara, la Empresa Geominera del Centro, la EIPH y a miembros de la CNC dado que cuentan con una mayor experiencia práctica en el tema del análisis de los suelos y su implicación en

la construcción y tomando en cuenta que algunos han laborado como profesores en la Facultad de Construcciones, además de haber impartido algunos cursos y postgrados. La misma va encaminada a conocer el grado de actualización con que cuenta la bibliografía empleada en el proceso docente, la posibilidad de tomar el material bibliográfico como texto básico de la asignatura para la temática que trata ya que el mismo cuenta con los aspectos necesarios actualizados para la

formación profesional del alumno y para atender los criterios acerca del tratamiento de la asignatura (Anexo III).

4. Valoración por criterio de especialistas

En función de mejorar la enseñanza-aprendizaje de la Geología, se ha planteado la tarea de reestructurar la bibliografía para lograr impulsar el proceso docente y el desempeño actual del Ingeniero Civil. Por lo que se hace necesario valorar los resultados alcanzados en el desarrollo de la investigación, siendo este por tanto el propósito de dicha valoración. Para lograr recoger información que sustente la solución a la problemática se establecerán una determinada serie de indicadores a evaluar.

2. 4 Análisis de los resultados

2. 4.1 Constatación de necesidades

La constatación de necesidades supone realizar una valoración de la necesidad real de confeccionar un libro de texto ajustado a las necesidades de determinada asignatura o disciplina.

1. Análisis de documentos

Como parte del perfeccionamiento continuo de los Planes de Estudio en la República de Cuba se ha desarrollado un valioso y estratégico proceso que condujo al diseño del plan de estudio D de la Carrera de Ingeniería Civil, que tuvo como reto incorporar las tendencias que se observan internacionalmente en relación al diseño curricular; y a la vez, satisfacer las demandas actuales y futuras a nivel nacional de los Organismos de la Administración Central del Estado (OACE), unida a las orientaciones establecidas por el Ministerio de Educación Superior respecto a estos diseños curriculares.

Durante el proceso de elaboración de dicho plan de estudios, la CNC de Ingeniería Civil, a través de su presidente Julio Alberto Hernández Caneiro expresó la

necesidad de elaborar un libro de texto para las temáticas de Geología e Ingeniería Geológica ha impartir en la asignatura Geotecnia y se encargó la tarea a los profesores de la UCLV Domingo E. Delgado y Sergio Betancourt.

En el nuevo plan de estudios se redujo en más de un 20 % el número de horas presenciales, y se potencia el número de actividades no presenciales que propician el estudio individual y la auto-preparación con el apoyo de las TIC. Uno de los méritos fundamentales del nuevo Plan de Estudios D en lo referente a la Geotecnia es la integración de los conocimientos sobre Geología, Mecánica de Suelos, Cimentaciones y Muros de Contención, bajo una misma disciplina: “Geotecnia y Cimentaciones”, con un amplio campo que seduce al estudiante en la elección de sus investigaciones y futura especialización como ingeniero.

En este plan se pretende lograr un amplio empleo de la computación como herramienta básica y las TIC, donde se expresan cambios en los roles actuales de los profesores y estudiantes y en el uso de métodos más eficaces y colaborativos por llamarlo así, brindando la posibilidad de un mayor asincronismo en el proceso de formación de los profesionales.

Se pretende que el estudiante al terminar su formación presente suficientes habilidades y conocimientos para enfrentarse al vínculo laboral y desempeñarse como corresponde ante los procesos de dirección, proyecto y construcción de forma creadora. Para lograr lo expuesto anteriormente se hace necesario llevar una constante actualización de los textos básicos.

Dentro del amplio perfil para la formación de conocimientos en el egresado se encuentra la asignatura Geotecnia, por lo que este libro de texto acerca de las temáticas de Geología e Ingeniería Geológica será sumamente factible dentro del proceso, para lograr una mayor visión del campo donde se desempeña.

A. Programa de la disciplina y de la asignatura en el plan D

La necesidad constante de perfeccionar los métodos de enseñanza para lograr resultados satisfactorios se establece dentro de las orientaciones metodológicas de los programas, para la impartición de la temática de Geología. Posterior al análisis de la bibliografía ya sea la básica o la dada como complementaria se establece la insuficiencia de los textos para suplir las actuales necesidades, a lo que se le suma que la bibliografía a consultar para determinados temas es de difícil acceso para el egresado.

B. Objetivos Generales Instructivos

Los objetivos instructivos declarados en el plan de estudio y relacionados con estos aspectos son los siguientes:

1. 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.
2. 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.
3. Desarrollar el sistema de conceptos y habilidades que permitan al Ingeniero Civil participar en la elaboración de la tarea técnica, proyección, ejecución y correcta interpretación de una investigación Geotécnica.
4. Establecer el origen, formación y estructura de los suelos, métodos para su reconocimiento, 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.

2. Encuesta a estudiantes

La encuesta se les aplicó a los estudiantes que cursan el tercer año de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Construcciones de la UCLV en el actual curso 2007-2008.

Dado que las respuestas a tabular no eran complejas se decidió aplicar la encuesta a la totalidad del grupo. De una población de 69 estudiantes se encuestaron 66 (muestra) siendo este el 92,7 % del total, el 7,3% que no fue encuestado se ausentó por disímiles motivos al centro ese día.

Los aspectos analizados fueron:

El grado de interés por la asignatura que fue valorado por el 85,2% de los estudiantes como alto, a sabiendas de la importancia del conocimiento de la temática para complementar otras ramas del conocimiento a adquirir en la especialidad, el resto que conforma el 14,8% de la población valoraron de medio el interés por la asignatura expresándose por tanto un nivel de conciencia hacia ella por lo que se asegura el análisis de sus propuestas. Se puede afirmar que la tabulación de la encuesta ha sido satisfactoria ya que a pesar de la motivación que generalmente genera la especialidad de estructura se palpa la conciencia de los estudiantes acerca de los aportes que ofrece el conocimiento de la geología dentro de su formación como Ingenieros Civiles.

El 81% de los estudiantes manifiesta la necesidad de mejorar el cubrimiento bibliográfico a la hora de desarrollar el autoaprendizaje ya que no se cuenta en la actualidad con la totalidad de la información requerida.

El 93,9% expone la necesidad de crear medios para motivar el proceso de enseñanza-aprendizaje de la temática de Geología dado al gran volumen de información y la poca ilustración de los mismos.

En correspondencia con el grado de satisfacción de la conformación de la asignatura el 97% de los encuestados lo consideran como medio y el 3% bajo, dado por la baja motivación ya que hablan de la carencia de métodos didácticos dentro del programa. Exponen la carencia de un libro de texto que pueda enriquecer el conocimiento de la temática analizada, un material que se facilitara tanto en soporte digital como de forma impresa. Las sugerencias se encaminan a lograr ilustrar al egresado al nivel requerido.

En lo referente a las sugerencias encaminadas a erradicar las deficiencias del proceso de enseñanza el 92,1% expone la necesidad de elaborar materiales complementarios para la asignatura. El tema del empleo de las TIC no se analizó más allá de la insuficiencia de máquinas para el autoaprendizaje.

Debido al constante desarrollo que experimentan los avances de la ciencia y la técnica en la sociedad actual al disponer de las TIC, los estudiantes encuestados exponen la necesidad de su uso, ya que al emplearse correctamente las ventajas que proporcionan se podría erradicar la problemática que hoy afecta la educación superior, dada la necesidad constante de enriquecer y actualizar los textos.

Los estudiantes manifiestan la necesidad de elaborar un material de manera impresa y digital para que el mismo pueda ser utilizado para fomentar el desarrollo de la educación a distancia que se ha estado implantando en la UCLV. El mismo pudiera emplearse en la enseñanza presencial y tendría un componente en la no presencial y que puede ser empleado a la hora de realizar el estudio independiente y la autopreparación.

3. Encuesta a profesores

De la encuesta realizada a los profesores que imparten o han impartido la asignatura se recogen importantes criterios.

En lo referente al tema de actualización de los textos básicos los encuestados consideran que existe una desactualización general de los mismos. Manifiestan la necesidad de elaborar un libro de texto que abarque todos los temas a impartir con un volumen adecuado de información ya que en algunos temas se manifiesta una gran carga de información que dificulta el entendimiento y asimilación de los conocimientos a adquirir.

Una de las principales dificultades a la hora de impartir la temática viene dada por la insuficiencia de los textos básicos los cuales no logran satisfacer por completo los objetivos propuestos por la asignatura.

Se expone la necesidad de acopiar los temas en un único material, se propone la elaboración de un libro de texto ya que en ocasiones algunas temáticas no aparecen y en otras los contenidos se muestran dispersos, lo que se convierte en una problemática a la hora en que el egresado desea adentrarse en el estudio independiente.

Se recomienda la elaboración de un libro de texto que satisfaga las necesidades del programa ya sea impreso o en soporte digital, incluyéndose en el mismo los temas debidamente actualizados.

Los textos de geología deben ser perfeccionados de forma que en ellos se muestren todas las temáticas a tratar y con el orden consecutivo que requieren, además de que las mismas se desarrollen desde los aspectos más generales hasta los niveles solicitados de conocimiento.

Dentro de los posibles métodos a emplear para impartir la asignatura y lograr la motivación del estudiante con la calidad requerida, se sugiere elaborar un libro de texto que aborde todo lo necesario pero que sea lo más didáctico posible para facilitar su empleo ya que el plan de estudio vigente tiende a la semipresencialidad.

4. Encuesta a especialistas de la producción

Los especialistas comentan acerca de la necesidad de elaborar un libro que recopile todos los temas que el Ingeniero Civil debe conocer con la complejidad requerida sin dejar de mencionar que este puede ser útil en otras ingenierías como la Ingeniería Hidráulica. Se expone que la bibliografía tomada como básica deja mucho que desear en algunos temas y se extiende a sobremanera en otros no tan necesarios.

Los planteamientos se encaminan a la elaboración de libros actualizados y exponen la necesidad de potenciar lo referente a medios de enseñanza lo que se puede solucionar a partir de problemáticas con el propósito de ilustrar al

estudiante a la hora de enfrentar una determinada situación real dentro del marco profesional.

Para propiciar que el estudiante realice un factible estudio independiente se recomendó exponer las temáticas a tratar correctamente desglosadas y vinculadas entre si de ser posible. Recomendar en caso de que sea pertinente bibliografía auxiliar donde se pueda profundizar en el tema siempre y cuando esta cumpla con los requerimientos del proceso educativo.

El resultado de las técnicas investigativas expuestas arrojaron los siguientes resultados:

- ✓ Tomando en consideración las limitaciones económicas del país no se ha logrado contar en los centros de educación con la bibliografía básica que requieren las disímiles especialidades y programas de las asignaturas; donde como es lógico se ve afectada la asignatura de Geotecnia y dentro de ella las temáticas de Geología e Ingeniería Geológica lo que ha ido limitando gradualmente el desempeño de profesores y alumnos.
- ✓ Otra de las deficiencias plasmadas es la evidente desactualización que presentan varias temáticas, así como la ausencia de otros que son necesarios para formar a un Ingeniero Civil con todas las herramientas necesarias para resolver las situaciones a las que se enfrentará en su marco laboral y como posible investigador. Otras temáticas aparecen en varios textos y sus contenidos muchas veces desagrupados, proponiéndose realizar una búsqueda bibliográfica y recopilación para elaborar un material que satisfaga las necesidades de la temática.
- ✓ Con la elaboración de un libro de Geología e Ingeniería Geológica se daría solución a los problemas detectados, los cuales se encaminan a lograr que el estudiante adquiera el mayor volumen de información en un único material y que mostrará, por consiguiente ahorro de tiempo por concepto de búsqueda. Con esto se daría por tanto solución a las sugerencias y recomendaciones

planteadas en las encuestas como parte del proceso investigativo llevado a cabo.

2.5 Elaboración de un libro de texto de Geología e Ingeniería Geológica en soporte digital e impreso

2.5.1 Propuesta del libro de texto

En el proceso de investigación se tomó como base los objetivos generales de educación del país y específicamente los de la Educación Superior, además de lo plasmado en el modelo del profesional, el nivel y tendencias actuales de las ciencias pedagógicas y la experiencia de la educación superior cubana, la cual aumenta progresivamente. También el desarrollo de la ciencia y la técnica y la experiencia con que cuentan los profesores de la enseñanza superior.

Demostradas en los epígrafes anteriores, las dificultades señaladas se trazaron los objetivos siguientes para la elaboración del libro de Geología e Ingeniería Geológica:

- Elaborar un libro que incluya todos los temas a impartir, facilitar la consulta del mismo mediante una desglosada estructuración de la información; lo que maximiza la asimilación de los contenidos por parte del estudiante y logra su correcto desempeño, brindando soluciones a los problemas profesionales planteados.
- Hacer corresponder los temas analizados con los objetivos de la asignatura.
- Tratar con más detalle los temas donde la bibliografía existente no se encuentra a disposición o es de difícil acceso, además de lograr una viable actualización de los contenidos que incluye.
- Lograr la motivación de los estudiantes hacia la Geología, la asignatura y la especialidad tomando como herramientas las ventajas de las TIC.
- Alentar el trabajo independiente en los estudiantes, logrando fomentar el proceso de búsqueda y elaboración de la información.

El libro de texto va a ser empleado por estudiantes del 3^{er} año de la carrera de ingeniería civil que cuentan con el dominio necesario de la computación y pueden acceder a este libro de texto en soporte digital de forma simple a partir de los recursos de la intranet.

Los parámetros con que debe contar el libro de texto se detallaron sobre la base de las propuestas recibidas por profesores y especialistas.

1. El objetivo general incluye el siguiente grupo de aspectos:
 - ✓ Características físicas y conocimiento del estudiante al emplear el producto.
 - ✓ Análisis de la documentación existente para la elaboración del libro.
 - ✓ Costo, a partir del aporte social que va a propiciar.
2. El objetivo educativo viene dado fundamentalmente por su alcance, punto de partida e información que está encaminado al sistema de conocimientos y habilidades con que debe contar el estudiante. Dado el uso educativo al que se destina se conformó una guía para su confección dentro de la cual:
 - ✓ Se constata la necesidad de un libro de Geología e Ingeniería Geológica, intereses, que problema erradica, fundamentación pedagógica.
 - ✓ Análisis de su objetivo, que conocimientos y habilidades se esperan alcanzar en el usuario.
 - ✓ Valoración de la estrategia metodológica trazada para alcanzar el conocimiento requerido en función de las teorías del aprendizaje.
 - ✓ Grado de motivación que oferta el libro y su ajuste al usuario que lo empleará.
3. El objetivo instructivo está destinado al cumplimiento de los objetivos del actual plan de estudio sobre la base de las dificultades encontradas a partir de la aplicación de las técnicas de investigativas.
4. El objetivo estético está destinado a la correcta interacción con el usuario.
 - ✓ Empleo correcto del idioma (utilización correcta de la semántica).
 - ✓ Calidad de diseño.

- ✓ Empleo correcto de colores. Armonía de matices y contrastes.
- ✓ Empleo correcto de gráficos.

2.5.2 Propuesta impresa del libro de texto de Geología e Ingeniería Geológica

El desarrollo de la revolución científico técnica a nivel mundial es inmenso por lo que en Cuba se hacen grandes esfuerzos para sustituir los textos extranjeros por materiales elaborados a partir de la necesidad de bibliografía que existe. Debido a su vertiginoso paso es imposible que un libro este totalmente actualizado, por lo que se hace cada vez más necesario la elaboración de libros que contribuyan a erradicar el déficit de bibliografía que nos aqueja.

La carrera de Ingeniería Civil y con ella la asignatura que abarca las temáticas de Geología e Ingeniería Geológica, no está exenta de esta problemática ya que no se cuenta con un libro que incluya todos los contenidos ni con el nivel necesario para la formación del egresado. Es por ello que posterior al análisis de toda la información a reflejar en el mismo, que contribuya al trabajo independiente y por supuesto debidamente actualizada, se cuenta con todas las bases conformadas para la elaboración del libro de forma impresa, el cual se espera que pueda ser utilizado como texto básico dentro de la disciplina. Este libro de texto puede ser de gran ayuda para cursos, postgrados y otras especialidades como la Ingeniería Hidráulica.

Los materiales impresos dentro de los cuales se incluye el libro de texto son medios de enseñanza que transmiten la información generalmente escrita y elaborada por medio de máquinas. Destinados por tanto a la comunicación de información como a otras funciones no menos importantes en el aprendizaje, la solución de tareas y ejercicios, la orientación para el trabajo individual, experimental y la educación del individuo dentro del amplio sentido de la palabra según González Castro (1986).

Este libro se elaboró tomando los principios de un texto básico y teniendo en cuenta los del estudio independiente y por consiguiente la autopreparación, una de las ventajas que presenta viene dada por la posibilidad de que al tenerlo físicamente puede ser consultado en el lugar y momento deseados. Su estructura se conformará sobre la base de los criterios que expone la información recogida de las encuestas realizadas.

A la hora de su elaboración se prevé que el libro será utilizado fundamentalmente por estudiantes que han recibido los contenidos de manera muy elemental en las enseñanzas precedentes, por lo cual el mismo debe de presentarse de forma clara pero con el nivel de conocimientos adecuados para formar un profesional capaz de desempeñar correctamente su papel en el marco laboral. Dado por las temáticas que aborda y la necesidad de su conocimiento y para que puedan ser profundizados a otros niveles, se hace necesaria su presencia en el proceso docente; la dirección a seguir la traza el profesor como representante del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Una vez elaborado el libro de texto el volumen de información a impartir en las conferencias será mucho menor dando lugar al profesor a propiciar clases más activas y motivadas dando también más tiempo a otras actividades como clases prácticas, laboratorios y talleres, los que ilustran en gran medida al estudiante y facilitan el aprendizaje dando por tanto cumplimiento al objetivo educativo para el cual fue diseñado.

2.5.3 Volumen de información y estructura del libro de texto de Geología e Ingeniería Geológica en soporte digital

A partir de la comodidad que implica para el estudiante el libro en soporte digital se presentara en forma de carpetas. Este libro constará con cada uno de los temas a tratar en la asignatura. Será conformado por capítulos y epígrafes dentro de cada uno de ellos en correspondencia con el volumen de información a incluir. El mismo brindará la posibilidad de ser actualizado en correspondencia con los avances de la ciencia y la técnica.

En el capítulo III del trabajo se presenta la estructura definitiva del libro en su versión digital.

2.6 Metodología para la valoración por criterio de especialistas

Con el propósito de crear un libro de texto que tenga gran valor en el proceso de enseñanza-aprendizaje se hace necesario valorar la información que brinda, así como la calidad del libro de Geología e Ingeniería Geológica en las formas en que se presenta, es decir, tanto impreso como en soporte digital para la asignatura. Esta valoración se realizará a partir del criterio de especialistas, para lo que se conforma la siguiente guía:

- Establecimiento del sistema de indicadores
- Elección de los especialistas
- Determinación del sistema de valoración
- Conformación del sistema de valoración seleccionado
- Aplicación del sistema seleccionado
- Análisis de los resultado

2.6.1 Establecimiento del sistema de indicadores

Se confecciona un sistema de indicadores tanto generales como específicos, permitiendo evaluar la información y la calidad del libro de Geología.

Los indicadores de índole general agrupan los aspectos más generales que a su vez forman unidades propias de la información del mismo, cada uno conforma una unidad, independiente en su importancia dentro de la elaboración del libro.

Los indicadores específicos caracterizan al indicador general y conforman los elementos fundamentales a evaluar de cada indicador general. Los mismos se desarrollan a continuación.

1. Correspondencia de la estructura con los objetivos para los cuales fueron elaborados.

2. Sistema de conocimientos.

- ✓ Calidad de la información expuesta, así como su grado de actualización.
- ✓ Similitud con los adelantos de la tecnología informática.
- ✓ Correspondencia con el nivel de conocimientos a adquirir por el alumno.
- ✓ Ayuda a la preparación del consultante en la temática tratada y al desarrollo del estudio independiente.
- ✓ Aporte a la motivación de los estudiantes.
- ✓ Contribución al nivel de asimilación de los estudiantes.
- ✓ Efectividad pedagógica.

3. Calidad de la propuesta.

- ✓ Evaluación del libro en correspondencia con su importancia y necesidad.

2.6.2 Elección de los especialistas

Estos profesionales que llevarán a cabo el importante proceso de valoración presentan un elevado nivel de conocimientos en la temática de Geología e Ingeniería Geológica, los mismos deben reunir experiencia tanto en el marco teórico como práctico, además de contar con categoría científica y docente, ya que los resultados a obtener acerca de la calidad del libro de texto deben ser relevantes.

Los principales objetivos de los especialistas son:

- Evaluar la importancia de cada indicador ya sea general o específico y emitir valores a los mismos.
- Determinar la calidad del libro de texto dentro de la asignatura Geotecnia.

2.6.3 Determinación del sistema de valoración

2.6.4 Conformación del sistema de valoración seleccionado

De la investigación que se ha llevado a cabo y sus características se han confirmado un grupo de evidencias sobre la carencia de información debidamente actualizada para impartir la temática de Geología e Ingeniería Geológica así como la dispersión de las temáticas en varios materiales, abogar por una mayor vinculación de la asignatura con la computación para desarrollar satisfactoriamente el plan de estudio “D” y la creación de medios auxiliares que faciliten y estimulen el aprendizaje para el estudiante.

Se estableció que el método de investigación más efectivo es la encuesta abierta con el objetivo de lograr satisfactorios resultados a partir de las respuestas de los especialistas (Anexo IV).

Conclusiones parciales del capítulo II

Las conclusiones a las que se arribaron al concluir el presente capítulo son:

- A partir de la aplicación de los métodos de investigación se hace evidente la presencia de dificultades en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la temática de Geología e Ingeniería Geológica dentro de la asignatura Geotecnia. En los resultados analizados se encuentra fundamentalmente la carencia de textos que contengan los temas a impartir, dado que en ocasiones no se encuentran y en otros están muy desactualizados.
- Se establecieron los medios para elaborar el libro de texto, el volumen de información con el que debe contar y las ventajas que representa su empleo dentro del proceso educativo.
- En este capítulo se establece la base tanto teórica como técnica para la evaluación de las características y calidad del libro de texto, arribándose por tanto a una etapa de investigación de gran importancia.

CAPÍTULO III



Capítulo III

Propuesta y valoración

En este capítulo se valoran las características del libro de texto de Geología e Ingeniería Geológica y se analizan los resultados sobre la calidad del medio por valoración de especialistas.

3.1 Características de los medios elaborados

Como resultado de la investigación se decidió elaborar un libro de texto de Geología e Ingeniería Geológica, con el objetivo de lograr un mejor proceso de enseñanza-aprendizaje de la asignatura de Geotecnia, con lo cual se eleva el nivel técnico y calidad de la disciplina.

Los libros de texto se ubican dentro de los medios de enseñanza más utilizados por profesores y egresados; los mismos constituyen una fuente de información científica y práctica que sirve para organizar y sistematizar el conocimiento para dirigir la actividad cognoscitiva del estudiante como guía del estudio independiente.

3.1.1 Libro de texto: Nociones de Geología e Ingeniería Geológica

Este libro de texto como ya se ha expuesto clasifica dentro de los materiales impresos, dado que la información que se transmite es mediante impresiones escritas y abordan un solo tema. En este caso se abordan las temáticas de Geología e Ingeniería Geológica para la carrera de Ingeniería Civil aunque se espera que el mismo pueda ser empleado por otras carreras como Ingeniería la Hidráulica; temáticas en las que se constató existían muchas dificultades, relacionadas estas fundamentalmente con la desactualización y falta de información para satisfacer las exigencias del actual programa de la asignatura; así como la carencia de un orden lógico que deben presentar las mismas.

El libro de texto de Geología e Ingeniería Geológica se encuentra estructurado de la siguiente manera:

Portada

En la portada aparecerán los datos correspondientes a título y autores

Contraportada

En la contraportada se incluyen los datos anteriores, además de la fecha y lugar de la impresión.

Índice

Muestra la secuencia en que aparecen los epígrafes y las páginas en que se inician.

Introducción

Se da al usuario una reseña general acerca de la geología, su alcance, así como su importancia para la ingeniería.

Desarrollo

Se expone toda la temática tratada, debidamente estructurada.

Referencias bibliográficas

Relaciona los textos y sitios, así como los diferentes materiales empleados en la redacción del libro de texto.

Después de realizado el análisis de los documentos oficiales y tabulados los resultados de la encuesta las temáticas a tratar en el libro de texto son las que se muestran a continuación:

Tema I: Elementos de Mineralogía y Petrografía

- 1.1 Elementos de Mineralogía
- 1.2 Origen, propiedades y clasificación de los minerales
 - 1.2.1 Origen de los minerales
 - 1.2.2 Propiedades físicas y mecánicas de los minerales
 - 1.2.3 Clasificación de los minerales
- 1.3 Descripción de los minerales petrográficos
- 1.4 Clasificación general de las rocas. Rocas de Cuba
- 1.5 Ciclo de las rocas
- 1.6 Forma de yacencia de las rocas ígneas
- 1.7 Estructura y textura de las rocas ígneas
- 1.8 Clasificación de las rocas ígneas
- 1.9 Importancia ingenieril de las rocas ígneas en la construcción
- 1.10 Forma de yacencia de las rocas sedimentarias
- 1.11 Textura de las rocas sedimentarias
- 1.12 Clasificación de las rocas sedimentarias
- 1.13 Importancia ingenieril de las rocas sedimentarias en la construcción
- 1.14 Las rocas metamórficas. El metamorfismo
 - 1.14.1 Factores del metamorfismo
 - 1.14.2 Tipo de metamorfismo
- 1.15 Clasificación y descripción de las rocas metamórficas
- 1.16 Importancia ingenieril de las rocas metamórficas en la construcción

Tema II: Estratigrafía y Geología Estructural

- 2.1 El estrato y sus elementos
- 2.2 Elementos de yacencia
- 2.3 Principales leyes estratigráficas. El tiempo geológico
- 2.4 Teorías geotectónicas, tectónica de placa
- 2.5 Análisis de la evolución tectónica y paleogeográfica de la cuenca central, Cuba
- 2.6 Dislocaciones Tectónicas

- 2.7 Plegamientos, clasificación. Su importancia
- 2.8 Las Fallas, elementos geométricos
 - 2.8.1 Clasificación de las fallas
 - 2.8.2 Algunas estructuras regionales
- 2.9 Reconocimiento de las fallas en el campo
- 2.10 Las diaclasas
- 2.11 Problemas ingenieriles asociados a las dislocaciones tectónicas

Tema III: Geodinámica Interna y Externa

- 3.1 Geodinámica externa. Meteorización y Erosión
- 3.2 Formación de los suelos, tipos genéticos, propiedades, características
- 3.3 Procesos o fenómenos geológicos
- 3.4 Acción geológica de los ríos
- 3.5 Aguas subterráneas
- 3.6 Carsismo
- 3.7 Geodinámica interna. Magmatismo y vulcanismo
- 3.8 Efecto de los terremotos
- 3.9 Intensidad y origen de los sismos. Sismógrafo y ondas sísmicas
- 3.10 Zonación sísmica de Cuba
- 3.11 La construcción en zonas sísmicas. Determinación de la carga sísmica

Tema IV: Investigaciones Ingeniero-Geológicas

- 4.1 Investigaciones Ingeniero-Geológicas. Generalidades
- 4.2 Mapas geológicos y geotécnicos
- 4.3 Estudios de riesgos geológicos y geoambientales
- 4.4 Métodos de investigación e ingeniería geológica
 - 4.4.1 Levantamiento ingeniero geológico y geotécnico
 - 4.4.2 Trabajos topográficos
 - 4.4.3 Investigaciones geofísicas
 - 4.4.4 Perforación, excavación y muestreo
 - 4.4.5 Ensayos de laboratorio

4.4.6 Pruebas de campo in situ

4.5 Categorías de las investigaciones ingeniero geológicas

4.6 Etapas de las investigaciones ingeniero geológicas

4.7 Investigaciones ingeniero geológicas para obras de transporte

4.8 Investigaciones ingeniero geológicas para edificaciones

4.9 Investigaciones ingeniero geológicas para obras hidráulicas

El libro: Nociones de Geología e Ingeniería Geológica aparece impreso íntegramente en el Anexo v el mismo fue publicado por la editorial Feijó de la UCLV como una monografía el cual cuenta con su ISBN correspondiente.

3.1.2 Presentación del libro de texto de Geología e Ingeniería Geológica en la red de la facultad

Como este medio de enseñanza se elaboró en soporte digital su versión definitiva puede ser colocada en la intranet de la facultad en la carpeta de la asignatura y acceder a la misma a través del proceso mostrado en la figura 3.1.

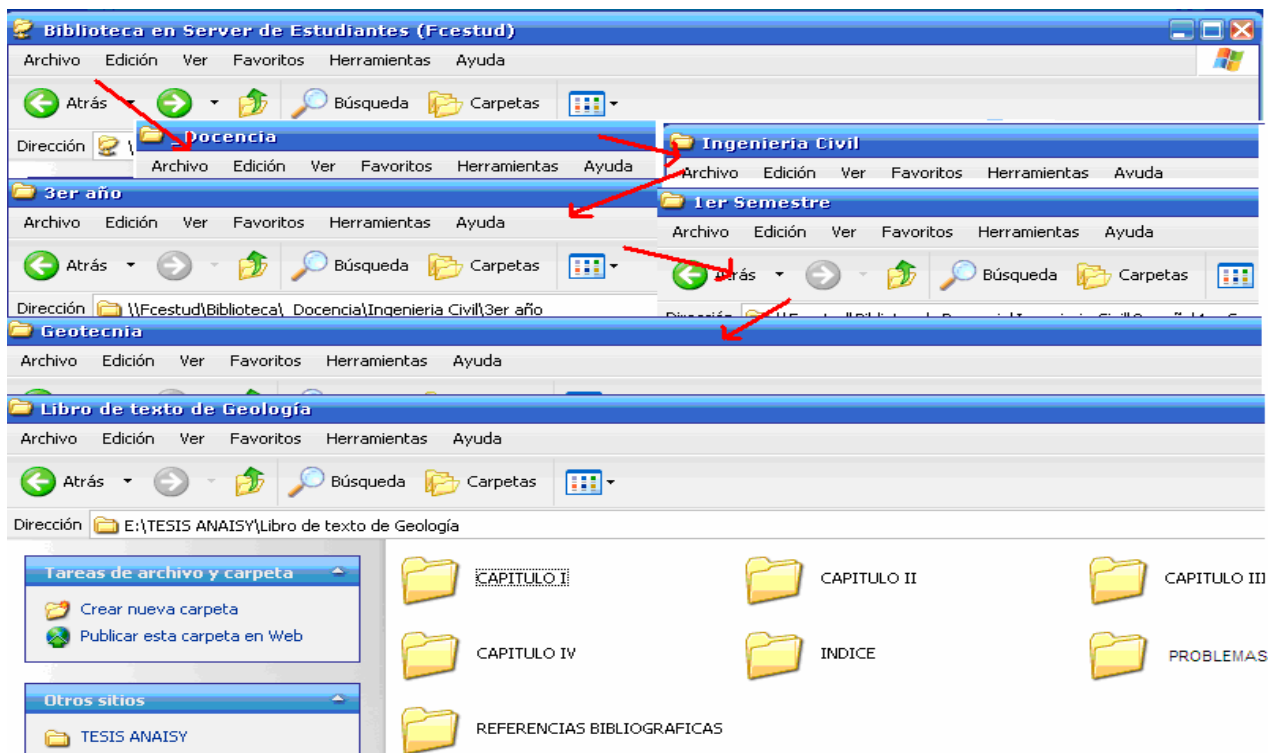


Fig. 3.1 Acceso al libro de texto de Geología a través de la intranet

La versión digital del libro: Nociones de Geología e Ingeniería Geológica aparece en el Anexo VI (CD).

3.2 Resultados de la valoración por criterio de especialistas

A la hora de seleccionar los especialistas se trató de reunir a los de mayor prestigio y experiencia en la tema y lograr la mayor representatividad posible de las instituciones que tienen como objeto social la enseñanza de la Ingeniería Civil, las investigaciones geológicas y/o las investigaciones ingeniero geológicas. Los especialistas seleccionados fueron: un especialista de la ENIA de VC, otro de la Geominera del Centro, dos profesores de la Facultad de Construcciones de la UCLV, uno de ellos miembro de la Comisión Nacional de Carrera y dos profesores de la CUJAE. El libro puede constituir una primera etapa para la elaboración de un libro técnico sobre geología aplicada a la Ingeniería Civil para profesionales o de un hipertexto con fines docentes.

Es necesario aclarar que desde el punto de vista metodológico se decidió aplicar la encuesta, procesarla y los señalamientos y sugerencias de corrección someterlos a análisis y perfeccionar el libro de texto sobre la base de los resultados de la investigación. Los cambios realizados fueron presentados nuevamente a los especialistas para constatar con el grado de satisfacción de los mismos.

3.3 Procesamiento de los resultados de la encuesta

En este epígrafe se analizan los resultados obtenidos en la encuesta, con el objetivo de definir si el medio elaborado cuenta con la estructura y la calidad para cumplir los objetivos por los que fue elaborado. Se solicitaron las valoraciones de los especialistas sobre los indicadores generales y específicos establecidos en el capítulo II, los que aparecen reflejados en la encuesta.

Los resultados de la encuesta se tabularon a partir de establecer los principales aspectos positivos y negativos del medio analizado, de forma sintética, con un lenguaje técnico y claro. Estos resultados son comentados a continuación.

3.3.1 Libro de texto: Nociones de Geología e Ingeniería Geológica

Aspectos negativos:

- Algunas sugerencias específicas de mecanografía y redacción
- Cantidad de material a gastar para su impresión
- Mejorar la calidad de presentación de algunos esquemas, tablas y figuras
- Incorporar, siempre que sea posible, resúmenes y comentarios personales referidos a los aspectos tratados

Los señalamientos recogidos fueron valorados y se realizó su corrección. En lo referente al aspecto tres, solo se realizaron las mejoras que eran posibles técnicamente. Finalmente, se obtiene la aprobación de los especialistas que habían realizado los señalamientos.

Aspectos positivos:

- Los especialistas consideran que existe la debida correspondencia entre la estructura y el objetivo que se persigue con el mismo, ya que se desarrolla el sistema de conocimiento de las temáticas con la debida actualización y poder de síntesis y contribuiría al logro de los objetivos instructivos, educativos y las habilidades declaradas en el plan de estudio D.
- Los contenidos son desarrollados con una estructura didáctica que propicia el aumento del nivel de asimilación, la motivación de los estudiantes hacia la especialidad y el desarrollo del estudio independiente.
- Dada las características comentadas del libro de texto, consideran que su efectividad pedagógica es elevada, por lo que debe propiciar el cumplimiento de los objetivos para los cuales fue elaborado.

3.3.2 Libro de texto de Geología e Ingeniería Geológica en soporte digital

Aspectos negativos:

- Limitación en el uso de los medios técnicos (computadoras)
- Eleva del número de horas de máquinas por estudiantes
- Incluir, siempre que sea posible, fotos, imágenes y esquemas de calidad para ejemplificar situaciones concretas
- No siempre resulta factible el estudio de materiales extensos en formato digital

Los criterios de que con el empleo del libro de texto en soporte magnético se eleva el número de horas máquinas por estudiante y que existen limitaciones reales para el empleo de las computadoras constituyen un problema real, pero no se consideran una limitación, sino que se deben asignar recursos y propiciar mejores condiciones para que el estudiante pueda tomar un papel más activo dentro de su proceso de formación, como aparece explícito en los objetivos del plan de estudios. D. El aspecto número cuatro constituye una limitación real de la información digital para su estudio.

Aspectos positivos:

- Se confirman, de forma general, las mismas ventajas de la versión impresa.
- Toda la información está debidamente organizada, lo cual posibilita una fácil orientación para apropiarse de estos contenidos, el libro de manera digital facilita al estudiante copiar los textos a la hora de realizar resúmenes que considere necesarios o agregar determinados comentarios, es decir el usuario puede personalizar sus medios de enseñanza.

Como resultado final se corroboró que los criterios emitidos fundamentan la importancia y utilidad del libro de texto para la impartición de las temáticas de Geología e Ingeniería Geológica dentro de la asignatura y evalúan de excelente la

elaboración del libro por su necesidad, importancia, novedad y aplicabilidad dentro del proceso docente.

Una vez obtenida una valoración positiva por parte de los especialistas se debe proceder a su aplicación en la docencia en el próximo curso y de ser posible, continuar su proceso de validación y perfeccionamiento. Además, de contribuir a que este libro de texto se aplique en otros centros de educación superior donde pueda ser empleado a fin de impulsar la enseñanza y el aprendizaje de los estudiantes y el apoyo que el representa para el profesor.

Conclusiones parciales del capítulo III

Las conclusiones a las que se arribaron al concluir el presente capítulo son:

- Se elaboró un libro de texto para las temáticas de Geología. Este medio es presentado en los anexos y sus características y estructura aparece debidamente comentada en el desarrollo del capítulo.
- Se aplicó la encuesta como sistema de validación por criterio de especialistas y se analizaron las modificaciones pertinentes a partir de las recomendaciones y criterios emitidos por cada uno de ellos sobre los diferentes indicadores hasta alcanzar el visto bueno de los mismos.
- Los especialistas consideran que el libro de texto elaborado para las temáticas de Geología, posee una adecuada estructura para cumplir los objetivos instructivos y educativos propuestos y además, este medio presenta una calidad excelente. Su nivel de aceptación es alto debido a la necesidad de empleo del mismo como complemento al proceso de enseñanza-aprendizaje de la asignatura.

CONCLUSIONES



Conclusiones

- Se pudo constatar que en el caso de Cuba no existe una bibliografía nacional actualizada sobre Geología aplicada a la ingeniería civil que pueda ser utilizada eficientemente en la asignatura Geotecnia de dicha especialidad.
- Se demostró a partir de los resultados de la aplicación de varias técnicas investigativas, la necesidad de elaborar un libro de texto que resuelva los problemas bibliográficos existentes e incorpore las experiencias existentes en la impartición de la geología aplicada a la ingeniería civil en la UCLV.
- Se demostró que el libro elaborado sobre la base de las dificultades detectadas, amplía y actualiza los conocimientos sobre el tema y soluciona las carencias bibliográficas existentes para la impartición de la Geología para la carrera de Ingeniería Civil.
- El libro de texto es ilustrado con tablas, esquemas, figuras, fotos, ejemplos, problemas propuestos, etc. lo que unido a su estructura didáctica facilitará la motivación y su estudio por parte de los estudiantes.
- El libro presenta ejemplos de estructuras y fenómenos geológicos típicos del archipiélago cubano y que son de interés en la enseñanza de la Geología aplicada a la Ingeniería Civil e Ingeniería Hidráulica.
- En el libro se establecen un grupo de consideraciones y criterios para realizar las investigaciones ingeniero geológicas a partir de la experiencia nacional.

RECOMENDACIONES



Recomendaciones

- Publicar la versión elaborada del libro, para que pueda ser utilizado por los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil.
- Emplear el libro como texto básico de los temas de Geología e Ingeniería Geológica en la asignatura geotecnia en el plan de estudio D en la carrera de Ingeniería Civil.
- El libro constituye una primera etapa para la elaboración de un libro técnico sobre Geología e Ingeniería Geológica para ingenieros civiles o hidráulicos o de un hipertexto con fines docentes.

BIBLIOGRAFÍA



Bibliografía

- (2005) *Selección de lecturas de metodología, métodos y técnicas de investigación social*, Félix Varela.
- (2006) *Curso Naturaleza geológica de Cuba*, La Habana.
- BETANCOURT, S. (1985) *Geología para ingenieros civiles*. Santa Clara.
- BETEJTIN, A. (1977) *Curso de Mineralogía*, Moscú.
- BRAUNS, R. (1967) *Mineralogía General*, La Habana.
- BRAUSON, E. B. & TAN, W. A. (1959) *Elementos de Geología*, Madrid.
- BRUHNS, W. & KAMDOHR, P. (1966) *Petrografía*, La Habana.
- CUELLAR, A. C. & HORTA, Y. (1995) Material de estudio sobre la aplicación de la ingeniería geofísica en las investigaciones ingeniero-geológicas y geotécnicas. Trabajo de Diploma. Santa Clara, Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
- DOPEÑA, L. M. (1991) Reconocimientos Geotécnicos. CEDEX. Santa Clara.
- ESTÉVEZ, A. & RUÍZ, L. D. (1995) Material de estudio sobre las investigaciones geológicas para presas de tierra. Trabajo de Diploma. Santa Clara, Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
- FERNÁNDEZ COLLADO, C. & DANKE, G. L. (1989) *La comunicación humana: ciencia social*, México.
- GÓMEZ DEL VALLE, Y. (2007) Manual de laboratorio de Mecánica de Suelos. Trabajo de Diploma. Santa Clara, Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
- GONZÁLEZ CASTRO, V. (1986) *Apuntes para el uso de los medios de enseñanza en la clase*, La Habana, Editorial Pueblo y Educación.
- GORSHLEOV, G. & YAKUSLOVA, A. (1977) *Geología General*, Moscú, Editorial Mir.
- HERNÁNDEZ SAMPIER, R. (2003) *Metodología de la investigación*, Editorial Félix Varela.
- HOLMES, A. (1971) *Geología Física*, Barcelona.

- LANGE, O., IVANOVA, M. & LEVEDERA, N. (1966) *Geología General*, La Habana.
- LÒPEZ HURTADO, M. (1994) *Problemas Psicopedagógicos del aprendizaje*, La Habana, Instituto de Ciencias Pedagógicas.
- MELENDEZ, B. & FUSTER, J. M. (1975) *Geología*, Madrid.
- MOREJÒN PUENTE, M. & MARTÌNEZ, V. (2001) Guías de Trabajo Independiente para la asignatura Representación I. Trabajo de Diploma. Santa Clara, ISP Félix Varela.
- PANECA, N. C. & SUÀREZ, M. C. (1996) Material de estudio sobre las investigaciones ingeniero-geológicas para obras hidráulicas y viales. Trabajo de Diploma. Santa Clara, Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
- PAZ, S. (1987) *Geología para ingenieros*, La Habana, Editorial Pueblo y Educación.
- PIDAKASIT, P. I. (1986) *La actividad cognoscitiva independiente de los alumnos en la enseñanza*, La Habana, Editorial Pueblo y Educación.
- RAMOS SIERRA, O., VEGA CAMAROS, D. & CARRASCO ESPINACH, S. (1981) *Geología Elemental*, La Habana, Editorial Pueblo y Educación.
- RODRÌGUEZ GÒMEZ, G., GIL FLORES, J. & GARCÌA JIMÉNEZ, E. (2004) *Metodología de la investigación cualitativa*, Editorial Félix Varela.
- SEGURA SOTO, R. (1973) *Introducción a la Petrografía*, La Habana.
- SILVESTRE, M. & ZILBERTEINS, J. (1999) *Cómo hacer más eficiente el aprendizaje*, México.
- VESINO ALEGRET, F. (1997) La Educación Superior en Cuba. Historia Actualidad y Perspectivas. *Revista Cubana de Educación Superior*.
- ZABALZA, M. (2000) Estrategias orientadas al aprendizaje. *Revista Española de Pedagogía*.
- NC 020.675.85. "Equipamiento escolar y medios de enseñanza. Términos y definiciones".
- NC 57-08-1982 "Medios de Enseñanza"
- NC 053-114. "Sismicidad en Cuba"

<http://www.astromia.com/tierraluna/minerales.htm> (consultado en marzo 2008)

<http://www.astromia.com/tierraluna/rìos.htm> (consultado en marzo 2008)

<http://www.astromia.com/tierraluna/rocas.htm> (consultado en marzo 2008)

<http://www.medioambiente.cu/museo/trocas.htm> (consultado en mayo 2008)

<http://www.mineranet.com.ar/educa.asp> (consultado en abril 2008)

<http://www.natureduca.com/geol/geodinext/introd.php> (consultado en marzo 2008)

<http://es.wikipedia.org/wiki/Meteorizaci%C3%B3n> (consultado en mayo 2008)

<http://www.monografias.com/geologiaaplicada.htm> (consultado en mayo 2008)

<http://www.rena.edu.ve/cuartaEtapa/cienciasTierra/Tema12.html> (consultado en mayo 2008)

<http://www.fortunecity.com/campus/carthage/1033/Pag2/acuif.htm> (consultado en mayo 2008)

<http://ingenieriageologica.iespana.es/enlaces-geologia-aplicada.htm> (consultado en mayo 2008)

<http://www.hyparion.com/web/info/columnas-estratigraficas.htm> (consultado en mayo 2008)

<http://www.hyparion.com/web/info/topografia/topocas.doc> (consultado en mayo 2008)

<http://plata.uda.cl/minas/apuntes/geologia/geologiageneral/ggcap10a.htm>

(consultada en junio 2008)

<http://plata.uda.cl/minas/apuntes/geologia/geologiageneral/ggcap10a.htm>

(consultada en junio 2008)

ANEXOS



Anexo I

Encuesta a estudiantes

En estos momentos se lleva a cabo una investigación con el objetivo de mejorar la calidad de la asignatura Geotecnia y en especial las temáticas de Geología e Ingeniería Geológica en lo referente a materiales de consulta.

De su respuesta depende la posibilidad de mejorar la calidad en la impartición de la asignatura para su formación como futuro profesional.

1. Su grado de interés por la asignatura es:
Alto----- Medio----- Bajo-----
2. Como considera UD. el grado de actualización de los textos básicos.
Los textos están actualizados-----
Los textos están medianamente actualizados-----
Los textos carecen de actualización-----
3. ¿Al desarrollar el estudio independiente se cuenta con los materiales bibliográficos necesarios?
Si----- No-----
4. Explique las principales dificultades afrontadas a la hora de impartir el tema de Geología e Ingeniería Geológica.
5. Su grado de satisfacción con respecto a la conformación de la asignatura es:
Alto----- Medio----- Bajo-----
6. Exponga posibles sugerencias para aumentar el interés y la calidad de la impartición de las temáticas de Geología e Ingeniería Geológica en la asignatura.

Anexo II

Encuesta a profesores

Compañero profesor:

Tomando en cuenta su creciente experiencia, se necesita su colaboración para la investigación que va dirigida a perfeccionar el proceso de enseñanza-aprendizaje, mediante la respuesta de un grupo de preguntas encaminadas a la elaboración de un material bibliográfico que pueda ser empleado como texto de la asignatura de Geotecnia y específicamente de las temáticas de Geología e Ingeniería Geológica.

Datos personales:

Nombre y apellido-----

-

Edad-----

Años de experiencia-----

Categorías:

Docente----- Científica-----

1. ¿UD ha afrontado dificultades al impartir las temáticas de Geología e Ingeniería Geológica en la asignatura Geotecnia?

Si----- No-----

De ser necesario explique su respuesta.

2. Cree UD que se hace necesario introducir nuevos métodos dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje para elevar la calidad y motivación hacia los contenidos a impartir.

Si----- No----- ¿Cuáles?

3. Mencione las dificultades afrontadas con respecto al cubrimiento bibliográfico de la asignatura.

4. ¿Cómo enriquecería UD los medios de enseñanza de la asignatura?

5. ¿Considera UD necesaria la creación de un texto digital y/o impreso actualizado referente a las temáticas de Geología e Ingeniería Geológica?

Si----- No----- ¿Por qué?

Anexo III

Encuesta a especialistas de la producción

Compañero:

Necesitamos que UD colabore al responder algunas preguntas, relacionadas con la investigación que se realiza con el propósito de perfeccionar el proceso de enseñanza-aprendizaje a través de la propuesta de un texto para la asignatura de Geotecnia y en especial el tema de Geología e Ingeniería Geológica.

Datos personales:

Nombre y apellido-----

Edad-----

Años de experiencia-----

Actual centro de trabajo-----

1. ¿Qué temáticas abordaría dentro del contenido de Geología e Ingeniería Geológica a impartir al estudiante para su formación como Ingeniero Civil de amplio perfil?
2. ¿Qué medios y métodos emplearía a la hora de enriquecer las posibilidades de autoaprendizaje del egresado?
3. Sugerencias a la asignatura en general.

Anexo IV

Valoración por criterio de especialistas

Usted forma parte del grupo de especialistas seleccionados para valorar por criterio de especialistas el libro de texto elaborado sobre Geología e Ingeniería Geológica para la asignatura Geotecnia a partir de un sistema de indicadores establecidos. El mismo tiene como objetivo ser empleado como texto básico de la asignatura antes mencionada. A continuación se le entregará un resumen sobre la constatación de necesidades durante el proceso de investigación y los objetivos a lograr con dicho libro.

Datos personales.

Nombre y apellido-----

Centro laboral-----

Años de experiencia-----

Indicadores generales y específicos

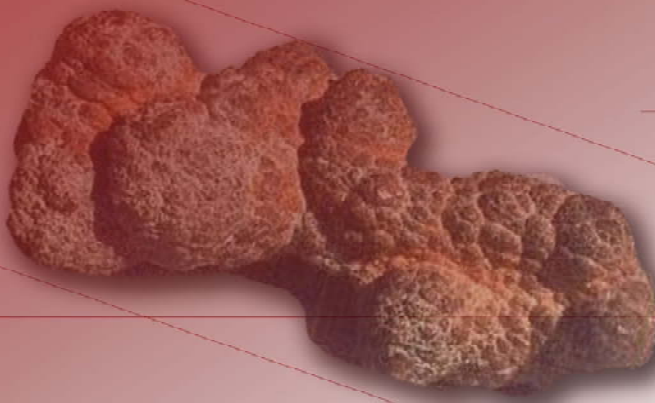
4. Correspondencia de la estructura con los objetivos para los cuales fueron elaborados.
5. Sistema de conocimientos.
 - ✓ Calidad de la información expuesta, así como su grado de actualización.
 - ✓ Relación con los adelantos de la tecnología informática.
 - ✓ Correspondencia con el nivel de conocimientos a adquirir por el alumno.
 - ✓ Ayuda a la preparación del consultante en la temática tratada y al desarrollo del estudio independiente.
 - ✓ Aporte a la motivación de los estudiantes.
 - ✓ Contribución al nivel de asimilación de los estudiantes.
 - ✓ Efectividad pedagógica.
6. Calidad de la propuesta.
 - ✓ Evaluación del libro en correspondencia con su importancia y necesidad.



UNIVERSIDAD CENTRAL DE LAS VILLAS
FACULTAD DE CONSTRUCCIONES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

Anexo V

Nociones de Geología e Ingeniería Geológica



Autor: Anaisy García Pulido

Tutores: Sergio Betancourt Rodríguez

Domingo E Delgado Martínez

2008

Año 50 de la Revolución

Índice

Índice.....	Pág.
Introducción	
La Geología, su alcance.....	1
Importancia de la geología para la Ingeniería.....	4
Capítulo I: Elementos de Mineralogía y Petrografía	
1.1 Elementos de mineralogía.....	5
1.2 Origen, propiedades y clasificación de los minerales.....	8
1.2.1 Origen de los minerales.....	8
1.2.2 Propiedades físicas y mecánicas de los minerales.....	9
1.2.3 Clasificación de los minerales.....	13
1.3 Descripción de los minerales petrográficos.....	14
1.4 Clasificación general de las rocas. Rocas de Cuba.....	25
1.5 Ciclo de las rocas.....	27
1.6 Formas de yacencia de las rocas ígneas.....	29
1.7 Estructura y textura de las rocas ígneas.....	31
1.8 Clasificación de las rocas ígneas.....	32
1.9 Importancia ingenieril de las rocas ígneas en la construcción.....	35
1.10 Formas de vacancia de las rocas sedimentarias.....	35
1.11 Textura de las rocas sedimentarias.....	37
1.12 Clasificación de las rocas sedimentarias.....	37
1.13 Importancia ingenieril de las rocas sedimentarias en la construcción...	39
1.14 Las rocas metamórficas. El metamorfismo.....	40
1.14.1 Factores del metamorfismo.....	41
1.15 Tipos de metamorfismo.....	42
1.16 Clasificación y descripción de las rocas metamórficas.....	45
1.17 Importancia ingenieril de las rocas metamórficas en la construcción...	45
Capítulo II: Estratigrafía y Geología Estructural	
2.1 El estrato y sus elementos.....	47
2.2 Elementos de yacencia.....	49
2.3 Principales leyes estratigráficas. El tiempo geológico.....	54
2.4 Teorías geotectónicas, tectónica de placas.....	60
2.5 Análisis de la evolución tectónica y paleogeográfica de la cuenca	

central, Cuba.....	68
2.6 Dislocaciones tectónicas.....	76
2.7 Plegamientos, Clasificación. Su importancia.....	77
2.8 Las fallas, elementos geométricos.....	82
2.8.1 Clasificación de las fallas.....	84
2.8.2 Algunas estructuras regionales.....	86
2.9 Reconocimiento de las fallas en el campo.....	87
2.10 Las diaclasas.....	88
2.11 Problemas ingenieriles asociados a las dislocaciones tectónicas.....	89

Capítulo III: Geodinámica Interna y Externa

3.1 Geodinámica externa. Meteorización y erosión.....	91
3.2 Formación de los suelos, tipos genéticos, propiedades y características	102
3.3 Procesos o fenómenos geológicos.....	107
3.4 Acción geológica de los ríos.....	108
3.5 Aguas subterráneas.....	111
3.6 Carsismo.....	116
3.7 Geodinámica interna. Magmatismo y vulcanismo.....	119
3.8 Efecto de los terremotos.....	123
3.9 Intensidad y origen de los sismos. Sismógrafo y ondas sísmicas.....	125
3.10 Zonación sísmica de Cuba.....	130
3.11 La construcción en zonas sísmicas. Determinación de la carga sísmica.....	135

Capítulo IV: Investigaciones Ingeniero-Geológicas

4.1 Investigaciones Ingeniero-Geológicas. Generalidades.....	137
4.2 Mapas geológicos y geotécnicos.....	138
4.3 Estudios de riesgos geológicos y geoambientales.....	145
4.4 Métodos de investigación e Ingeniería-Geológica.....	149
4.4.1 Levantamiento Ingeniero-Geológico y Geotécnico.....	150
4.4.2 Trabajos topográficos.....	151
4.4.3 Investigaciones geofísicas.....	152
4.4.4 Perforación, Excavación y Muestreo.....	158
4.4.5 Ensayos de laboratorio.....	161
4.4.6 Pruebas de campo in situ.....	165

4.5 Categorías de las investigaciones Ingeniero-Geológicas.....	170
4.6 Etapas de las investigaciones Ingeniero-Geológicas.....	171
4.7 Investigaciones Ingeniero-Geológicas para obras de transporte.....	174
4.8 Investigaciones Ingeniero-Geológicas para edificaciones.....	177
4.9 Investigaciones Ingeniero-Geológicas para obras hidráulicas.....	180
Problemas Propuestos.....	183
Referencias Bibliográficas.....	189

Introducción

La Geología, su alcance

La Geología es la ciencia que se encarga del estudio de la Tierra, su constitución, estructura y desarrollo. Su principal objeto de análisis es la litosfera, la esencia de los procesos que tienen lugar en su seno, en su envoltura aérea, hídrica, pétreo y la historia de su desarrollo. La misma consta de un grupo de envolturas:

La atmósfera, constituye la envoltura aérea, formada principalmente por el nitrógeno y el oxígeno con escasas cantidades de vapor de agua, gas carbónico y algunos gases nobles como el argón.

La hidrosfera, envoltura hídrica que incluye la totalidad de las aguas naturales que cubren más del 70% de la superficie del planeta, donde también se incluyen las aguas subterráneas que saturan las rocas.

La litosfera, envoltura pétreo, constituye la capa exterior sólida de la Tierra.

La biosfera es la envoltura terrestre en la cual se desarrolla la vida orgánica. Esta envoltura abarca la atmósfera, la hidrosfera y la parte superior de la litosfera, penetrando en ella y constituyendo un factor fundamental en las diversas transformaciones y cambios que ocurren en las capas superficiales de la tierra. Los organismos vivos destruyen y modifican las rocas y los minerales primitivos, dando lugar a nuevas combinaciones y nuevos minerales.

La penetración y acción mutua de las envolturas terrestres, determinan en gran medida el desarrollo de los complicados procesos que se verifican en la superficie del planeta.

Dado a que su principal objeto de estudio es la litosfera se hace necesario conocer su estructura, la esencia de los procesos que aquí ocurren, así como su historia evolutiva. Al ser muy grande las temáticas a analizar la Geología se divide en ramas:

- La Geoquímica estudia la constitución material de la tierra. En la misma se incluyen las ciencias nombradas Mineralogía, Cristalografía, Petrografía, Litología y la Geoquímica propiamente dicha
- La Geología dinámica estudia los procesos que transcurren en el interior de la tierra
- La Geología histórica estudia los aspectos relacionados con la historia de la evolución

➤ La Geología aplicada cuyo objeto de estudio es la explotación del subsuelo. Por la importancia que se le concede al análisis de las diferentes ramas y lo que en sí representa cada una de ellas, a continuación se abordan con mayor detenimiento.

La Cristalografía, es el tratado de los cristales, de su forma exterior y su estructura interna. Los minerales naturales son en su mayoría sustancias cristalinas; de aquí que tenga gran importancia el estudio de sus formas y las leyes que rigen su formación.

La Mineralogía es la ciencia de los minerales. Un mineral es la sustancia natural, químicamente homogénea, que presenta una composición química y propiedades físicas determinadas y que ha sido originada como fin de diversos procesos que se producen en el interior de la Tierra. Ella estudia, en resumen, la composición química de los minerales, las particularidades de su estructura, sus propiedades físicas, las condiciones de sus yacimientos, sus interconexiones y su origen.

La Petrografía por su parte es el tratado de las rocas. Las rocas son constituidas por la combinación de varios minerales. La petrografía estudia la composición mineralógica y química de las rocas, sus propiedades, las relaciones entre las diferentes rocas, los cambios que experimentan a través del tiempo, el origen de las mismas y establecen las leyes que rigen la formación de las rocas y su distribución en el planeta.

La Geoquímica estudia los elementos químicos que conforman la Tierra, su distribución y migraciones. Es una ciencia que sintetiza la Mineralogía y la Petrografía, cuyos objetos de análisis, los minerales y las rocas constituyen etapas diferentes en la vida de los elementos químicos.

La Geoquímica opera con átomos, mientras que la Mineralogía estudia las combinaciones de átomos (minerales) y la Petrografía investiga las combinaciones de minerales (rocas).

La Geología dinámica investiga los procesos que tienen lugar en la litosfera. Atendiendo a la fuente de energía estos se subdividen en los procesos de dinámica exterior (exógenos) y en los de dinámica interior (endógenos).

Relacionados con los procesos exógenos se halla la vida y desarrollo de las masas de mares, ríos, aguas subterráneas, etc. Estos procesos relacionados esencialmente con la actividad de la atmósfera e hidrosfera y con el influjo ejercido

por ésta en la litosfera. La fuente principal de los procesos exógenos, es, en último término, la energía solar.

Se hallan relacionados con los procesos endógenos, terremotos y erupciones volcánicas. De acuerdo a ello se dividen en una serie de ciencias: la geotectónica que investiga las condiciones de yacimiento de rocas, los movimientos de la corteza terrestre y las deformaciones resultantes de los mismos. El magmatismo, o sea el tratado de la constitución del magma y los procesos que transcurren en él. El vulcanismo, ciencia de los volcanes, forma parte del magmatismo.

La Geología histórica tiene por objeto de estudio la historia del desarrollo de la corteza terrestre y de la vida orgánica, subdividiéndose a su vez en una serie de disciplinas: la Estratigrafía, que estudia los estratos de rocas y la secuencia de su yacimiento; el estudio de las facies, esto es las propiedades de las rocas sedimentarias y las condiciones de su formación; la Paleontología, ciencia que analiza los restos fósiles de los organismos ya sean animales o vegetales; la Geología histórica propiamente dicha cuyo objeto de estudio es el desarrollo de la corteza terrestre, las leyes que lo rigen y la sucesión de los acontecimientos geológicos acaecidos en el planeta a lo largo de toda su historia.

La Geología aplicada por su parte comprende las ciencias que investigan el subsuelo de la Tierra con fines prácticos y se divide en dos ramas fundamentales: la que estudia los minerales útiles y la que trata de los problemas de ingeniería geológica en la construcción de las disímiles obras concebidas por el hombre.

Para los ingenieros civiles se hace imprescindible el conocimiento de las características de la zona donde se emplazará una obra, tanto es así que internacionalmente existen empresas y asociaciones que se dedican específicamente al estudio de los suelos y su repercusión para la ingeniería civil, que van desde laboratorios especializados, hasta reconocimientos de un área y estudio de las características de la misma.

Importancia de la Geología para la Ingeniería

La aplicación de la Geología a la Ingeniería Civil a la hora de concebir un proyecto para una obra es fundamental ya que de ella depende en gran medida las soluciones constructivas y los materiales a utilizar para lograr un diseño racional y confort deseado. Su empleo radica en:

- Investigaciones Geológicas para la búsqueda y evaluación de los materiales de construcción.

Este aspecto es de suma importancia ya que garantiza la materia prima para la elaboración de diferentes materiales de construcción. En este aspecto las investigaciones deben dirigirse fundamentalmente al análisis de la composición química de las rocas y sus propiedades generales, además del cálculo de reservas con posibilidades para explotación. Otros aspectos son la ubicación de los yacimientos.

Muy importante es el estudio geológico de la zona de emplazamiento de una obra y sus alrededores, pues la utilización de materiales naturales cercanos reduce notablemente los gastos de transporte y otros recursos.

- Investigaciones Geológicas de la zona tomada como base para la obra.

Las mismas permiten conocer las características generales donde se emplazará una determinada obra y de ese modo se cuenta con la posibilidad de evitar gran cantidad de inconvenientes y además solucionar problemas de diferentes tipos.

Una limitante de las investigaciones geológicas es que no estudia el comportamiento de los suelos sujetos a cargas, es por eso que los ingenieros, no solamente han adquirido la suficiente práctica acerca de estas materias, sino que han elaborado las bases teóricas para el establecimiento de una nueva ciencia, la Mecánica del suelo y de las rocas, siendo esta sumamente útil en el proyecto y construcción de estructuras en general.

CAPÍTULO I

Elementos de Mineralogía y Petrografía

1.1 Elementos de Mineralogía

El concepto de mineral procede del vocablo griego “*mena*” a través del derivado latino mina; lo que indica que los minerales son componentes de la corteza sólida terrestre.

Se entiende por mineral, sustancia natural, químicamente homogénea, que presenta una composición química y propiedades físicas determinadas, las cuales pueden variar dentro de un rango limitado, un ejemplo lo es el olivino; la composición química del olivino es $\text{SiO}_4(\text{FeMg})_2$ y en ella el Fe y Mg pueden sustituirse, de forma tal, que las proporciones de los mismos van desde la Fayalita (SiO_4Fe_2) hasta la Forsterita (SiO_4Mg_2), formándose de este modo una serie de minerales entre los dos miembros extremos.

Los minerales se originan como resultado de diversos procesos geológicos que se producen en el interior del planeta. Todo mineral debe reunir tres cualidades:

- Origen natural y estructura geométrica fija.
- Naturaleza inorgánica.
- Composición química fija, aunque, a veces, pueda contener una sustancia contaminante que modifique su color.

Si una sustancia es amorfa, pero cumple con las demás características se le denomina “mineraloide”.

A menudo los minerales se encuentran en la naturaleza formando masas dentro de las rocas, entonces se habla de una veta o filón de un determinado mineral. Desde la prehistoria los humanos han usado los minerales para fabricar utensilios, herramientas, máquinas y armas.

Los minerales están constituidos por átomos de elementos químicos. Aunque se conocen 105 elementos químicos, 10 de ellos forman aproximadamente el 98% de las rocas. Estos elementos son Oxígeno O (46%), Silicio Si (26,5%), Aluminio Al (8,6%), Hierro Fe (6,4%), Calcio (4,8%), Magnesio Mg (3,3%), Sodio Na (1,2%), Potasio K (1,2%), Hidrógeno H (0,1%), Carbono C (0,1%).

Estructura interna

Los minerales tienen estructura interna cristalina. En el estado amorfo las partículas (átomos, iones, moléculas) se encuentran ubicadas al azar, es decir, sin orden definido. En el estado cristalino las partículas se encuentran ubicadas de un modo ordenado, formando una red cristalina.

Cada mineral tiene su propia forma cristalina más o menos constante, lo cual depende de la estructura interna de la sustancia, es decir, de su red cristalina. Cada cristal está limitado por planos llamados caras o caras cristalinas; las líneas de intersección de las caras son las llamadas aristas; los puntos donde las aristas se interceptan son llamados vértices.

Bajo la influencia del medio, la forma de las caras del cristal y su tamaño varía; ocasionalmente el tamaño y número de aristas del cristal y la apariencia del cristal mismo cambia; pero los ángulos interfaciales cristalinos se mantienen constantes (Ley de la constancia de los ángulos interfaciales) lo cual permite el reconocimiento de los minerales en fragmentos pequeños.

Los cristales son simétricos (Fig. 1.1). Los planos, ejes y puntos son los elementos de simetría del cristal y se denominan: plano de simetría, eje de simetría y centro de simetría.

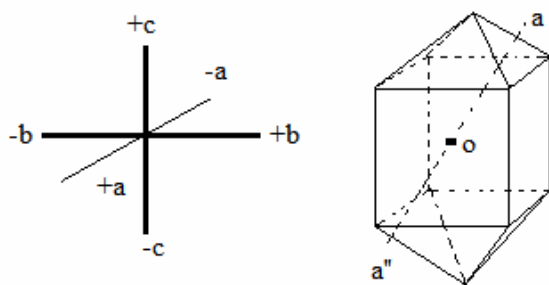


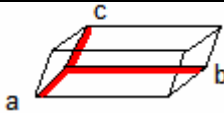
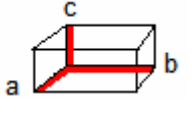
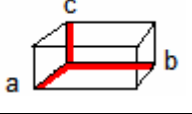
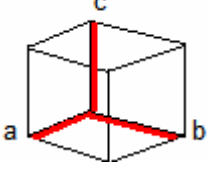
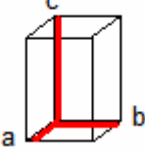
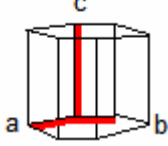
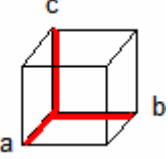
Fig. 1.1 Ejes virtuales o cristalográficos y centro de simetría

Los cristales pueden presentar uno o más ejes de simetría y ellos pueden ser binarios si repiten la cara el vértice u otro elemento dos veces; ternario, tres veces; cuaternario, cuatro veces y senario, seis veces. El análisis matemático de las redes especiales demuestra que otras redes no son posibles.

La combinación de todos los elementos de simetría da lugar a treinta y dos clases de simetría.

Los cristales se clasifican sobre la base de su simetría en las siguientes categorías, que a su vez se dividen en sistemas (tabla 1.1:)

Tabla 1.1 Simetría cristalina de los minerales

Categoría	Singonía	Constantes Cristalográficas	Poliedro Fundamental	Simetría	Simetría
Inferior	Triclínico	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$ $a \neq b \neq c$		Triclínico	No tiene eje
	Monoclínico	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ $a \neq b \neq c$		Diagonal	1 eje binario
	Rómbico	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ $a \neq b \neq c$		Diagonal	1 eje binario
Mediana	Trigonal	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ $a = b = c$		Romboédrico	1 eje ternario
	Tetragonal	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ $a = b \neq c$		Tetragonal	1 eje cuaternario
	Hexagonal	$\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$ $a = b \neq c$		Hexagonal	1 eje senario
Superior	Cúbico	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ $a = b = c$		Regular	3 ejes cuaternarios 4 ejes ternarios

Algo que resulta difícil a los que se inician en el estudio de dicha temática es definir entre los términos, elemento químico-mineral-roca, por lo que se brinda a continuación la definición de roca, con el objetivo de poder precisar mejor las diferencias entre ambos.

Las rocas son grandes unidades estructurales que forman la corteza terrestre, que pueden estar formadas por uno o más minerales. Es válido saber además que las rocas pueden estar formadas por sustancias naturales no minerales, por lo que se

puede afirmar que el concepto de roca es mucho más amplio que el de mineral, más aun si se agrega que las rocas pueden ser materiales incoherentes como la arena y la grava. De lo expuesto se concluye lo siguiente:

- Los minerales presentan propiedades físico-químicas constantes, quiere esto decir que dos ejemplares de un mismo mineral tienen la misma composición química, estructura interna, dureza, etc., independientemente de que uno haya sido tomado de los Urales y el otro en la Sierra Maestra.
- Las rocas por el contrario, no tienen composición química, estructura, ni dureza constante, es decir que dos ejemplares de una misma roca pueden tener características diferentes.

1.2 Origen, propiedades y clasificación de los minerales

En la actualidad se conocen más de 3000 minerales diferentes, pero solo 50, aproximadamente se encuentran en abundancia en la corteza terrestre. Los minerales más comunes son: feldespatos (60%), silicatos de magnesio ferruginoso (16,8%), cuarzo (12,6%), mica (3,6%), calcita (1, 5%), arcillas (0,5%), otros (5,5%).

1.2.1 Origen de los minerales

➤ Origen endógeno

Son los que se originan como resultado de la consolidación del magma dentro o en la superficie de la corteza terrestre. Los minerales originados de esta forma también reciben el nombre de minerales primarios, ya que a partir de ellos se forman los demás.

➤ Origen exógeno

Estos son los minerales formados por la acción transformadora de los agentes del metamorfismo en la superficie de la corteza terrestre.

➤ Origen sedimentario

Son los originados por la acumulación de los elementos químicos y/o fragmentarios en cuencas marinas. Estos se subdividen a su vez en tres grupos de acuerdo con la naturaleza de los materiales que se acumulen.

- ✓ Químicos: se deben a la precipitación química de las sales disueltas en el agua, a causa del predominio de la evaporación del agua sobre la alimentación de una cuenca cualquiera.

- ✓ Fragmentarios: también son denominados de origen mecánico y se forman cuando los productos de la destrucción son transportados.
- ✓ Organógenos: se originan debido a los complejos procesos de la actividad vital de los organismos.

➤ Yacimientos metamórficos

Estos yacimientos se forman como respuesta de los minerales a cambios-físicos-químicos muy grandes en sus condiciones ambientales. Un caso típico es la transformación de la materia orgánica en grafito.

1.2.2 Propiedades físicas y mecánicas de los minerales

Los minerales se pueden clasificar por sus propiedades físicas, ópticas, eléctricas, magnéticas y por su composición química, la mayoría pueden ser identificados mediante observación espectroscópica e incluso visual. Aún así, el análisis químico es la única forma de identificar con exactitud la naturaleza de un mineral.

Las propiedades físicas son de gran importancia en el estudio de los minerales. Muchas se pueden observar fácilmente, o recurrir a un espectroscopio.

➤ Color

Al examinar un mineral lo primero que se nota es su color, pero desafortunadamente no siempre es un parámetro confiable.

Algunos minerales tienen color constante y muchas denominaciones se deben precisamente a esa característica. En muchos casos un mismo mineral puede presentar diferentes colores. De modo general, en los minerales se distinguen tres tipos de coloración por su origen:

- ✓ Idiocromáticos: minerales de color constante, debido a la presencia de cromóforos o al cambio de homogeneidad en la red cristalina. Ej. La magnetita (FeFe_2O_4) es negra; la pirita (FeS_2) es áureo-amarilla; el cinabrio (HgS) es carmín-rojo;
- ✓ Alocromáticos: minerales de color muy variable, dado por la presencia de pigmentos inclusiones y otras impurezas. Así el cuarzo, generalmente incoloro, que suele encontrarse en forma de cristales totalmente transparentes, aparece con una bella coloración violeta (amatista), rosada, amarilla-parda (de los óxidos de hierro), dorada (citrina), gris o de humo (rauchtopacio), negra densa (morión), y por fin blanca leche.

- ✓ Pseudocromáticos: minerales transparentes donde se observan los colores del arco iris, los fenómenos de interferencia de la luz incidente en las superficies de contacto. Ej. En la superficie arriñonada de las limonitas (hidróxidos de hierro), en la superficie ligeramente oxidada de la bornita Cu_5FeS_4 .

El color de un mineral en fragmentos y en polvo puede ser diferente.

➤ Raya

La raya no es más que el color del polvo fino de un mineral al ser rayado sobre una superficie áspera de porcelana. El color de la raya es un parámetro más confiable que el color en sí, ya que aunque este varíe, la raya suele ser constante. La raya es muy útil para distinguir minerales muy parecidos, como por ejemplo la hematita y la magnetita, que aunque ambas sean negras, la raya de la primera es parda y la de la segunda negra. Los fragmentos de pirita son de color amarillo dorado mientras que la raya que deja es negra-verdosa.

➤ Brillo

Es la apariencia que presenta la superficie de los minerales a la luz reflejada. La intensidad del brillo, depende del índice de refracción. En la práctica se define dos tipos básicos de brillo, el metálico y el no metálico. El brillo o lustre metálico es el reflejo del mineral que recuerda al metal. Dentro del no metálico, existen además otros tipos, como el vítreo (calcita), adamantino (diamante), graso (grafito), perlado (mica), sedoso (amianto), mate (caolín).

➤ Transparencia

Los minerales son atravesados por la luz con mayor o menor dificultad lo que depende de la capacidad para dejar pasar o interceptar los rayos de luz. Se distinguen: no transparentes (cobre nativo), minerales transparentes (cuarzo incoloro) y minerales translúcidos (yeso).

➤ Dureza

La dureza de un mineral es la resistencia que presenta a ser rayado. Un mineral posee una dureza mayor que otro, cuando el primero es capaz de rayar al segundo. El mineralogista alemán Mohs estableció en 1822 (Tabla 1.2) una escala de medidas que lleva su nombre, y que se utiliza en la actualidad, en la que cada mineral puede ser rayado por los que le siguen. Se toman 10 minerales comparativos de más blando a más duro.

Tabla 1.2 dureza de los minerales

Mineral	Dureza	Mineral	Dureza
Talco ($\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_2$)	1	Ortoclase ($\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$)	6
Yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	2	Cuarzo (SiO_2)	7
Calcita (CaCO_3)	3	Topacio ($\text{Al}_2[\text{SiO}_4][\text{F},\text{OH}]_2$)	8
Fluorita (CaF_2)	4	Corindón (Al_2O_3)	9
Apatito ($\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$)	5	Diamante (C)	10

La determinación de la dureza se realiza rayando el mineral con los distintos patrones de la escala. Como que no siempre se cuenta con la escala de Mohs, la dureza puede medirse con:

Uña-hasta 2,5

Alambre cobre-hasta 3

Vidrio-hasta 5,5

Filo de acero-hasta 6,5

La dureza de los minerales está determinada por la adhesión entre las partículas, es decir, tipo de enlace, distancia ínter iónico, etc.

➤ Tenacidad o cohesión

La tenacidad o cohesión es el mayor o menor grado de resistencia que ofrece un mineral a la rotura, deformación, aplastamiento, curvatura o pulverización. Se distinguen las siguientes clases de tenacidad:

- ✓ Frágil: es el mineral que se rompe o pulveriza con facilidad. Ejemplos: cuarzo y el azufre.
- ✓ Maleable: el que puede ser batido y extendido en láminas o planchas. Ejemplos: oro, plata, platino, cobre, estaño.
- ✓ Dúctil: el que puede ser reducido a hilos o alambres delgados. Ejemplos: oro, plata y cobre.
- ✓ Flexible: si se dobla fácilmente pero, una vez deja de recibir presión, no es capaz de recobrar su forma original. Ejemplos: yeso y talco.
- ✓ Elástico: el que puede ser doblado y, una vez deja de recibir presión, recupera su forma original. Ejemplo: la mica.

➤ Fractura

Cuando un mineral se rompe se obtienen fracturas diversas que van desde las lisas hasta las texturas astillosas:

- ✓ Laminar o fibrosa: cuando presenta una superficie irregular en forma de astillas o fibras. Ejemplo: la actinolita.
- ✓ Concoidea: la fractura presenta una superficie lisa y de suave curva, como la que muestra una concha por su parte interior. Ej. Obsidiana.
- ✓ Ganchuda: cuando se produce una superficie tosca e irregular, con bordes agudos y dentados. Ejemplos: magnetita y cobre nativo.
- ✓ Lisa: es la que presenta una superficie lisa y regular.
- ✓ Terrosa: es la que se fractura dejando una superficie con aspecto granuloso o polvoriento.

➤ Exfoliación o clivaje

Se tiene por exfoliación o clivaje la ruptura en que el mineral se puede separar por superficies planas y paralelas a las caras reales. Dependiendo del grado de perfección del clivaje en la práctica se han definido diferentes grados:

- ✓ Muy perfecto es cuando el mineral se divide en láminas muy delgadas y se hace muy difícil romper el mineral en otra dirección (mica-clorita).
- ✓ Perfecto (bueno) cuando del mineral se obtienen fragmentos poliédricos (halita-galena).
- ✓ Mediano cuando además de romperse siguiendo los planos de clivaje lo hace en direcciones arbitrarias (plagioclasa-anfíbol).
- ✓ Malo o imperfecto se manifiesta cuando los planos de clivaje se notan con mucha dificultad. La exfoliación ocurre por lugares donde la fuerza de cohesión es mínima, es decir, que aparece en la dirección del enlace de los átomos de cargas iguales. (azufre-apatito)

La exfoliación ocurre por los lugares donde la fuerza de cohesión es mínima, es decir que aparece en la dirección del enlace de átomos con cargas iguales, etc.

➤ Magnetismo

Consiste en atraer el hierro y sus derivados. Los imanes naturales son permanentes. La magnetita es un imán natural conocido desde tiempos muy remotos.

➤ Piezoelectricidad

Es la capacidad para producir corrientes eléctricas cuando se les aplica presión. Si se aplica una fuerza a las caras de un cristal, genera cargas eléctricas y, si se

aplican cargas eléctricas, entonces se produce una deformación de las caras del cristal. Ejemplo: el cuarzo.

➤ Piroelectricidad

Se producen corrientes eléctricas en el extremo de las caras cuando el mineral se somete a un cambio de temperatura. Ejemplos: cuarzo y turmalina.

➤ Radiactividad

Es la propiedad que poseen determinados minerales para emitir partículas de forma natural y espontánea. La radiactividad natural tiene muchas aplicaciones científicas, médicas e industriales, y los minerales que la poseen raramente alcanzan niveles peligrosos. Ejemplo: la uraninita.

➤ Peso específico

El peso específico de los minerales depende, ante todo del peso atómico de los átomos o iones que integran la sustancia cristalina. También desempeñan un importante papel las dimensiones de los radios iónicos, cuyo crecimiento compensa el aumento del peso atómico, a veces, hasta tal grado, que se reduce el peso específico, un ejemplo lo es el potasio (K) donde a pesar de que su peso atómico es 1,7 veces mayor que el del sodio (Na), el peso específico del KCl (1,98) es menor que el del NaCl (2,17) debido a que el radio iónico del K^{1+} (1,33) es mayor que el radio iónico de Na^{1+} (0,98), lo que influye mucho en el volumen de la sustancia cristalina.

Los pesos específicos de los minerales oscilan en un intervalo bastante grande: desde valores menores que la unidad (los gases naturales y los betunes líquidos) hasta 23,0 (ciertas variedades de minerales del grupo del osmiridio).

El mismo se determina de dos maneras: por el método del desplazamiento del líquido y determinando la pérdida de peso del mineral sumergido en agua.

1.2.3 Clasificación de los minerales

La composición química de los minerales es muy variable y compleja, por lo que para su estudio se pueden dividir en tres grupos:

- Minerales de composición química muy simple, son los que presentan un solo elemento químico; conocidos como elementos nativos. En ellos la composición química permanece estable, constante, aunque generalmente contienen impurezas. Como consecuencia de su composición química sus propiedades físicas también son constantes. Ej. oro, plata, grafito.

- Minerales de composición química simple. Óxidos, sulfuros, etc. Formados por varios elementos químicos, pero manteniéndose constante la composición global, aunque en ellos también se presentan impurezas. Ej. galena (PbS), esfalerita (ZnS), cuarzo (SiO_2)
- Minerales formados por compuestos químicos, cuya composición varía dentro de ciertos límites definidos. En este caso la composición química del mineral varía por sustitución de un elemento por otro. Ej: Olivino $\text{SiO}_4 (\text{FeMg})_2$ Fayalita ($\text{SiO}_4 \text{Fe}_2$) ----- Forsterita ($\text{SiO}_4 \text{Mg}_2$), Plagioclasas ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) ---- ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_4$)

1.3 Descripción de los minerales petrográficos

En la actualidad se conocen gran cantidad de minerales, pero afortunadamente la mayoría de las rocas comunes se pueden identificar y describir adecuadamente en función de unos 20 minerales, quizás menos.

En los textos de Segura Soto y Betejtin referidos a la descripción de los minerales la misma se realiza tomando como base la división de los mismos en clases, dependiendo de las combinaciones químicas y su estructura cristalina de las cuales las más importantes son: los elementos nativos, sulfuros, halogenuros, óxidos e hidróxidos, carbonatos, sulfatos, fosfatos y silicatos.

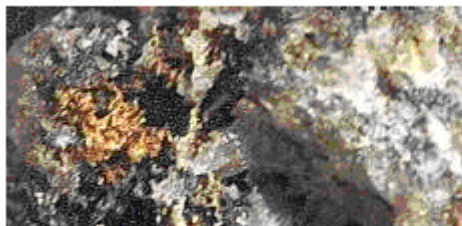
Elementos nativos

Comprenden los elementos químicos que se hallan libres en la naturaleza (Fig. 1.2), y que a la temperatura ambiente son sólidos o líquidos, al igual que sus mezclas homogéneas.

Hay más de 90 elementos nativos conocidos que para su análisis se dividen en metales y no metales pero solo algunos aparecen sólidos y libres en cantidades suficientes. Ej. Oro (Au), plata (Ag), cobre (Cu), platino (Pt), azufre (S), diamante (C) y grafito (C).

Otros elementos nativos como el hierro (Fe), mercurio (Hg), plomo (Pb), es raro que se encuentren libres en la naturaleza.

Los elementos nativos no son formadores de rocas y su origen puede asociarse con la solidificación del magma, con reacciones químicas secundarias o con la acción de altas temperaturas y presiones.



Oro (Au)



Cobre (Cu)

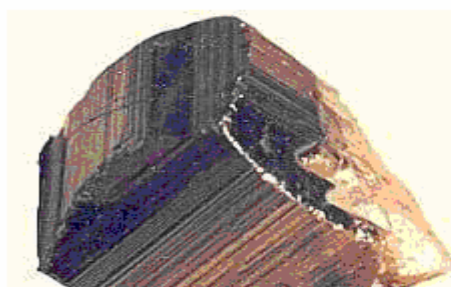
Fig. 1.2 Muestras de elementos nativos

Sulfuros

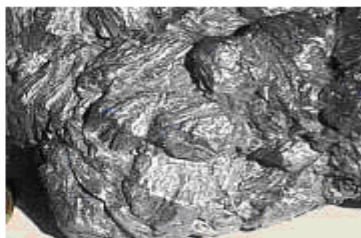
Este grupo encierra todos aquellos minerales en los que un metal o metaloide entra en combinación con el azufre (Fig. 1.3). Físicamente se caracterizan por su lustre metálico, gravedad específica elevada, dureza relativamente baja y opacidad.

El origen de los sulfuros está vinculado principalmente con la precipitación de soluciones acuosas calientes, y en menor grado, con la solidificación del magma y las soluciones frías.

No son formadores de rocas, aunque económicamente son muy importantes pues en ellos se hallan las menas metálicas más útiles.



Pirita (FeS_2)



Molibdenita (MoS_2)

Fig. 1.3 Muestra de sulfuros

Halogenuros

Esta clase abarca un extenso número de minerales. En mayoría son de composición química sencilla (Fig. 1.4), incoloros o teñidos accidentalmente, de poca dureza, casi siempre solubles en agua y de aspecto salino característico. Se originan formados por cristalización en mares o lagos salados como formaciones secundarias modernas o como producto de sublimación de los volcanes.

Solo pocos de ellos forman rocas, ejemplo los cloruros. Los más importantes son:

Halita ----- Cl Na

Fluorita ----- Ca F_2

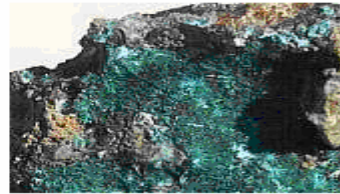
Silvina----- ClK

Criolita ----- Na_3AlF_6

Atacamita----- $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}_3$



Halita (NaCl)

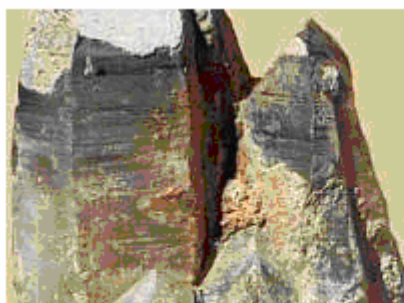


Atacamita $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}_3$

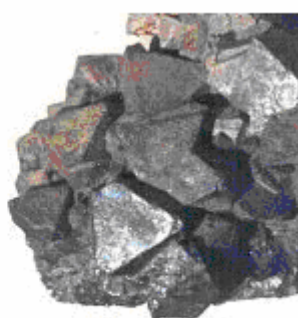
Fig. 1.4 Muestra de halogenuros

Óxidos e Hidróxidos

Comprenden combinaciones de distintos elementos, con oxígeno y con el grupo hidroxílico OH. No tienen carácter propiamente salino y constituyen una de las más numerosas clases de minerales pues representan casi el 17% de la litosfera (Fig. 1.5). Por ejemplo cuprita Cu_2O , corindón Al_2O_3 , hematita Fe_2O_3 , cuarzo SiO_2 , rutilo TiO_2 , magnetita Fe_3O_4 son óxidos. Los hidróxidos son por ejemplo la limonita FeOOH y goetita $^*\text{-FeOOH}$.



Cuarzo (SiO_2)



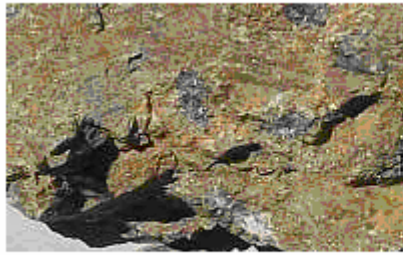
Magnetita (Fe_3O_4)

Fig. 1.5 Muestra de óxidos e hidróxidos

Carbonatos

Son algunos de los minerales más abundantes (Fig. 1.6) y constituyen sales, carbónicas ácidas. Algunos de ellos son formadores de rocas sedimentarias y metamórficas. Una característica de los carbonatos es que al reaccionar con el ácido clorhídrico origina burbujas de dióxido de carbono, dando la impresión de que el metal hierve, es decir, se produce efervescencia.

Tienen gran aplicación en la industria, en ornamentación y en la obtención de metales.



Dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

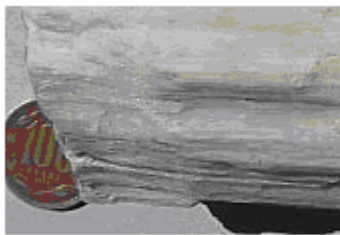


Malaquita $\text{Cu}_2[(\text{OH})_2/\text{CO}_3]$

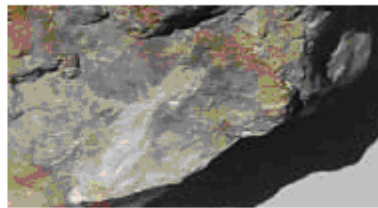
Fig. 1.6 Muestra de carbonatos

Sulfatos

La mayoría son minerales formadores de rocas sedimentarias (Fig. 1.7). Su aspecto es no metálico, con escasa densidad y poca dureza. Su formación es el resultado de la precipitación de las sales de ácido sulfúrico de aguas de superficie, o son producto de la oxidación de los sulfuros.



Yeso $\text{Ca}[\text{SO}_4]$



Baritina BaSO_4

Fig. 1.7 Muestra de sulfatos

Fosfatos

En esta clase se reúnen numerosos minerales de constitución análoga y formas cristalinas semejantes (Fig. 1.8), que en su mayoría contienen agua, conociéndose relativamente poco de estos minerales entre los que se encuentran:

Apatito ----- $\text{Ca}_5\text{FCl}(\text{PO}_4)_3$

Turquesa $\text{CuAl}_6(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_4\text{H}_2\text{O}$



Apatito

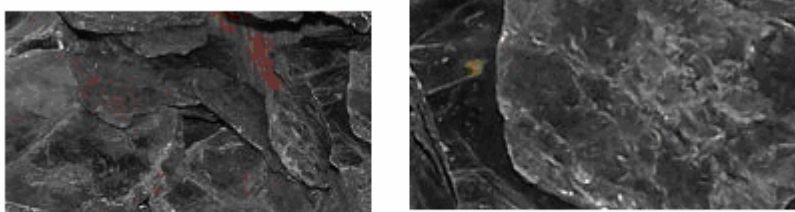
Apatito $\text{Ca}_5\text{FCl}(\text{PO}_4)_3$

Fig. 1.8 Muestra de fosfatos

Silicatos

Esta división contiene gran número de minerales (Fig. 1.9), alguno de los cuales son muy corrientes, representando cerca de un tercio de los minerales conocidos. Constituyen el 75% del peso de la corteza terrestre. Es la clase más rica en especies y una de las más conocidas por la facilidad de su investigación óptica; sin embargo su composición química es muy compleja.

La mayoría de los silicatos son componentes de rocas y se formó durante la solidificación del magma a temperatura y presión elevada y carente de agua, como los feldespatos. En las condiciones de formación de rocas metamórficas se originan silicatos con estructuras menos densas y con hidróxidos, como las serpentinas y el talco, mientras que en las rocas sedimentarias su estructura se presenta, generalmente, en capas con gran cantidad de agua, como las arcillas.



Moscovita $\text{KA}_2[(\text{OH})_2/\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$

Fig. 1.9 Muestra de silicatos

En la tabla 1.3 se relacionan los minerales petrogenéticos y otros más abundantes en Cuba.

Tabla 1.3 Descripción de algunos minerales petrogenéticos y minerales conocidos en Cuba (Sergio Paz, 1987)

Nombre	Composición química	Cristalización	Brillo Diafanidad	Color	Dureza	Huella	Exfoliación Fractura	Peso específico	Otras
Minerales petrogenéticos									
Olivino	(Mg, Fe) ₂ SiO ₄	Rómbico	Transparente a translúcido	Verde olivo, verde amarillento	6,5-7	Blanca	Pinacoidal irregular	3,2-3,6	En rocas ígneas básicas y ultrabásicas. Piedra preciosa de calidad secundaria
Anfíbol actinolita	Ca ₂ (MgFe) ₅ (OH) ₂ Si ₈ O ₂₂	Monoclínico	Sedoso, vítreo, transparente a opaco	Verde claro, verde gris, verde oscuro	5-6	Blanca, blanca verdosa	Prismática	2,9-3,2	En masas radiadas. En esquistos
Anfíbol hornblenda	Silicato de Ca, Mg, Fe, Al, etc.	Monoclínico	Vítreo sedoso. Translúcido a opaco	Verde negruzco, verde oscuro	5-6	Gris, gris-verduzco, gris-parduzco	Prismática	2,9-3,3	Cristales simples pseudo hexagonales
Piroxeno Enstatita (Broncita)	(Mg, Fe) ₂ Si ₂ O ₆	Rómbico	Bronceado sedoso, translúcido a opaco	Verde parduzco, verde olivo	5-6	Blanca grisácea	Prismática pinacoidal	3,2-3,5	Fibroso o laminar
Piroxeno y diópsido	CaMgSi ₂ O ₆	Monoclínico	Vítreo mate. Transparente a opaco	Verde claro, verde oscuro	5-6	Blanca Gris	Prismática	3,2-3,3	Cristales prismáticos
Piroxeno	Silicato de	Monoclínico	Vítreo	Verde	5-6	Gris, gris-	Prismática	3,2-3,6	En rocas

Augita	Ca, Mg, Fe, Al, etc.		translúcido a opaco	negruzco, negro		verdosa			básicas
Mica Moscovita	$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$	Monoclínico	Perlado a vítreo. Transparente a translúcido	Amarillo, amarillo-pardo	2-3	Ninguna	Prismática tabular	2,8-3,1	Rocas ígneas y metamórficas. Se emplea como aislante
Nombre	Composición química	Cristalización	Brillo Diafanidad	Color	Dureza	Huella	Exfoliación Fractura	Peso específico	Otras
Mica Biotita	$K(Mg,Fe)_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$	Monoclínico	Perlado a submetálico. Transparente a translúcido	Pardo oscuro a negro	2-3	Ninguna	Basal perfecta	2,8-3,1	Frecuente en rocas ígneas ácidas, como el granito
Feldespatos Ortosa	$KAlSi_3O_8$	Monoclínico	Vítreo perlado transparente-translúcido	Blanco, gris amarillento o rojizo	6	Ninguna	Perfecta irregular	2,6	Abundante en rocas ígneas ácidas. Se emplea en pinturas y esmaltes
Feldespatos Plagioclasa Albita	$NaAlSi_3O_8$	Triclínico	Vítreo nacarado transparente a translúcido	Blanco Gris Incoloro	6	Ninguna	Basal irregular	2,6	Abundante en rocas ígneas intermedias
Feldespatos plagioclasa anortita	$CaAl_2Si_2O_8$	Triclínico	Vítreo nacarado transparente translúcido	Gris oscuro, negro	6	Ninguna	Basal irregular	2,7-2,8	Abundante en rocas ígneas intermedias

Cuarzo	SiO ₂	Hexagonal	Vítreo transparente a translúcido	Variado	7	Ninguna	Ninguna Concoidal	2,65	Muy abundante en todos los tipos de rocas. Inalterable a los ácidos
Nombre	Composición química	Cristalización	Brillo Diafanidad	Color	Dureza	Huella	Exfoliación Fractura	Peso específico	Otras
Otros minerales conocidos									
Oro	Au	Cúbico	Metálico opaco	Amarillo	2,5-3	Amarilla blanca	Granos, pepitas	19,3	En vetas de cuarzo y en yacimiento de placer. Muy estable.
Plata	Ag	Cúbico	Metálico opaco	Blanco de plata	2,5-3	Blanca	Granos, láminas, hilos	10,1-11,1	En filones hidrotermales y asociado a otros minerales en pequeñas cantidades
Cobre	Cu	Cúbico	Metálico opaco	Rosa claro	2,5-3	Rojo cobrizo	Ganchuda	8,95	Asociado a áreas ígneas básicas
Diamante	C	Cúbico	Diamantino	Incoloro,	10	Ninguna	Octaedro	3,5	Muy estable

			transparente a translúcido	amarillo pardo			Concoidea		se emplea en joyería y abrasivos
Grafito	C	Hexagonal	Metálico terroso opaco	Gris acero, negro de hierro	1-2	Negra, gris acero	Basal perfecta irregular	2,1-2,25	Origen metamórfico
Azufre	S	Rómbico	Resinoso a graso transparente a translúcido	Amarillo a gris verdoso, rojizo	1,5-2,5	Blanca	Variable Concoidea	2,1	Se forma en la actividad volcánica, también asociado a domos
Nombre	Composición química	Cristalización	Brillo Diafanidad	Color	Dureza	Huella	Exfoliación Fractura	Peso específico	Otras
Galena	PbS	Cúbico	Metálico opaco	Gris-plomo	2-5	Gris-plomo	Cúbica Subconcoidea	7,6	Mena de plomo se halla asociado a pirita y esfalerita
Escalerita o blenda	ZnS	Cúbico	Metálico opaco	Pardo, negro, amarillo, rojo, verde, blanco	3,5-4	Amarillo pardo	Dodecaédrica, concoidea	4,1	Mena de zinc. Se halla asociado a la galena
Calcopirita	$\text{Cu}_2\text{Fe}_2\text{S}_4$	Tetragonal	Metálico	Amarillo	3,5-4	Verdosa	No	4,1-4,4	Mena de

			opaco	latón		negra	marcada irregular		cobre
Pirita	FeS ₂	Cúbico	Metálico opaco	Amarillo latón pálido	6-6,5	Negro pardo	Imperfecta, concoidea irregular	5,01	Producción de SO ₄ H ₂
Hematites oligisto	Fe ₂ O ₃	Hexagonal	Metálico a mate opaco	Rojo brillante a gris acero	5-6	Rojo sangre	Ninguna Subconcoidea irregular	5,3	Mena de hierro asociada a magnetita
Magnetita	Fe ₃ O ₄	Cúbico	Metálico o submetálico opaca	Negro a negro pardo	5,5-6,5	Negra	Ninguna irregular	5,2	Mena de hierro asociada a hematites
Limonita goethita	Óxidos de hierro hidratados HFeO ₂	Rómbico	Metálico a mate opaco	Pardo amarillent o-rojizo	5-5,5	Amarillo pardo	Variable irregular	5,5	Término general en la descripción de campo
Nombre	Composición química	Cristalización	Brillo Diafanidad	Color	Dureza	Huella	Exfoliación Fractura	Peso específico	Otras
Cromita	FeCr ₂ O ₄	Cúbico	Metálico opaco	Negro	5,5	Pardo oscuro	Ninguna irregular	4,5-4,8	Mena de cromo
Pirolusita	MnO ₂	Tetragonal	Metálico opaco	Gris acero, gris hierro	6-6,5	Negro, negro-azulado	Perfecta Irregular	4-4,5	Mena de manganeso
Calcita	CaCO ₃	Hexagonal	Vítreo a	Variable	3	Blanca	Romboédri	2,7	De origen

		romboédrico	mate transparente a opaco			incolora	ca perfecta concoidea		sedimentario e ígneo. En las rocas metamórficas constituye el mármol
Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Hexagonal romboédrico	Vítreo ha perlado. Transparente a subtranslúcido	Incoloro a blanco	3,5	Ninguna	Romboédrica perfecta, subconcoidea	2,85	Mena de Mg, se emplea en cemento
Magnesita	MgCO_3	Hexagonal	Vítreo a mate. Transparente a translúcido	Incoloro, blanco, gris hasta pardo	3,5 4,5	Blanca	Romboédrica concoidea	3	Mena de Mg
Halita (sal común)	NaCl	cúbico	Vítreo transparente	Incoloro (puro)	2	Incolora, blanca	Cúbica perfecta Concoidea	2,2	Yacimientos en los domos
Nombre	Composición química	Cristalización	Brillo Diafanidad	Color	Dureza	Huella	Exfoliación Fractura	Peso específico	Otras
Baritina	BaSO_4	Rómbico	Vítreo a resinoso,	Incoloro a blanco	2,5 3,5	Blanca	Perfecta Irregular	4,4	Usos: pinturas,

			transparente a translúcido						virios
Anhidrita	CaSO_4	Rómbico	Vítreo, perlado a craso, transparente a subtranslúcido	Incoloro, blanco, gris	3,5	Blanca	Perfecta irregular o astillosa	2,9-3	Retardador del cemento, ornamentación
yeso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Monoclínico	Subvítreo a mate transparente a translúcido	Incoloro, blanco, gris, amarillo pardo	2	Blanca	Perfecta astillosa	2,3	En el cemento, vidrio y porcelana

1.4 Clasificación general de las rocas. Rocas de Cuba

Las rocas son componentes del medio natural que constituyen un potencial económico importante por contener minerales valiosos, hidrocarburos y otros, por dar lugar a los suelos productivos, por ser reservorios de aguas minerales y por ofrecer materiales numerosos y variados para las construcciones que el hombre realiza.

Las rocas son agregados de diversos minerales, aunque, en ocasiones, pueden estar formadas por un único mineral. Las rocas se pueden formar de muy diversas maneras y a distintas profundidades. Se las encuentra por toda la superficie terrestre.

El concepto de roca es más amplio que el de mineral y coincide con el de grandes unidades en que puede dividirse la corteza terrestre, según su composición.

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

Estos tipos de rocas fundamentales, pueden distinguirse en forma práctica de un modo relativamente sencillo.

- Rocas ígneas, como son el resultado de la precipitación de compuestos químicos a altas temperaturas, se diferencian por los granos cristalinos bien unidos entre si y que reflejan cierto ordenamiento. Los precipitados químicos provocan un marcado endurecimiento en la roca. Otras veces las rocas ígneas se enfrían rápidamente y en lugar de granos cristalinos se produce un material vítreo. Estas rocas nunca contienen fósiles y raramente son estratificadas.
- Rocas sedimentarias, están integradas por elementos que se disponen desordenadamente, sin estar bien unidos entre si, por lo cual son poco coherentes. Algunas son el resultado de precipitados químicos, pero, a diferencia de las ígneas, son mucho más blandas. Son estratificadas, lo cual es un reflejo de la deposición y muchas son fósiles.
- Rocas metamórficas, presentan caracteres que recuerdan a los grupos anteriores. En estas rocas ocurre una recristalización a causa de las altas temperaturas y por ello resulta un agregado endurecido como el de una roca ígnea. Por otra parte las fuertes presiones provocan la orientación de sus elementos comunicándoles una estratificación análoga a la de las rocas sedimentarias. De este modo, las rocas metamórficas resultan duras y cristalinas, como las ígneas y estratificadas como las sedimentarias. Raramente

contienen fósiles puesto que las altas presiones y temperaturas desintegran los restos orgánicos en la mayoría de los casos.

Origen de las rocas cubanas

Las rocas que hoy forman el substrato de Cuba se originaron en distintos lugares (Fig. 1.10) propios de geografías ya desaparecidas. Algunas de estas rocas provienen de lo que el pasado fue el lecho del mar Caribe, otras de los márgenes del continente norteamericano, tanto de Las Bahamas y hacia el sur como de Yucatán y hacia el este. Otros conjuntos de rocas se originaron en antiguos archipiélagos de islas volcánicas que surgieron donde esta hoy Centroamérica. Por fin las rocas más jóvenes (no coloreadas), de menos de 35 millones de años de edad, se formaron en el mismo lugar donde hoy las encontramos.

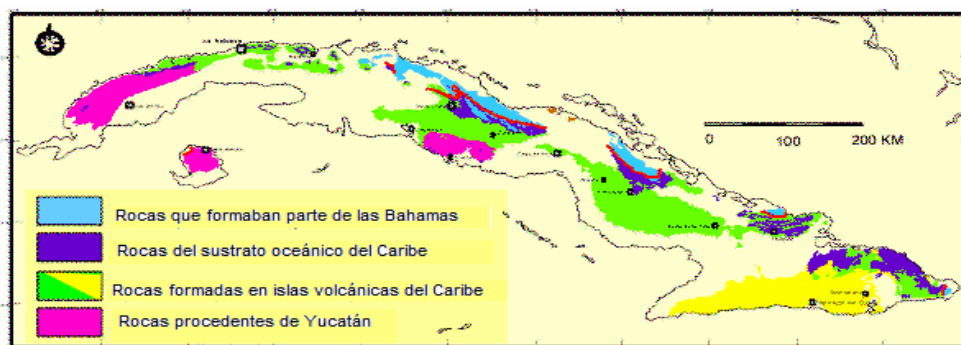


Fig. 1.10 Origen de las rocas cubanas

Las rocas de Cuba son de naturaleza variada. Entre las rocas sedimentarias hay variedades depositadas a grandes profundidades del mar, en tanto otras en mares poco profundos y otras en ambientes terrestres. Entre las rocas metamórficas hay variedades formadas a altas presiones o a altas temperaturas en las profundidades de la Tierra, o por modificaciones químicas a poca profundidad.

En el mapa (Fig. 1.11) se muestra la distribución de los principales campos de desarrollo de las rocas que conforman el territorio insular, donde predominan en superficie las sedimentarias, en segundo lugar las rocas ígneas, y en menor grado las metamórficas. Además en los fondos marinos hay rocas sedimentarias cerca de la superficie.

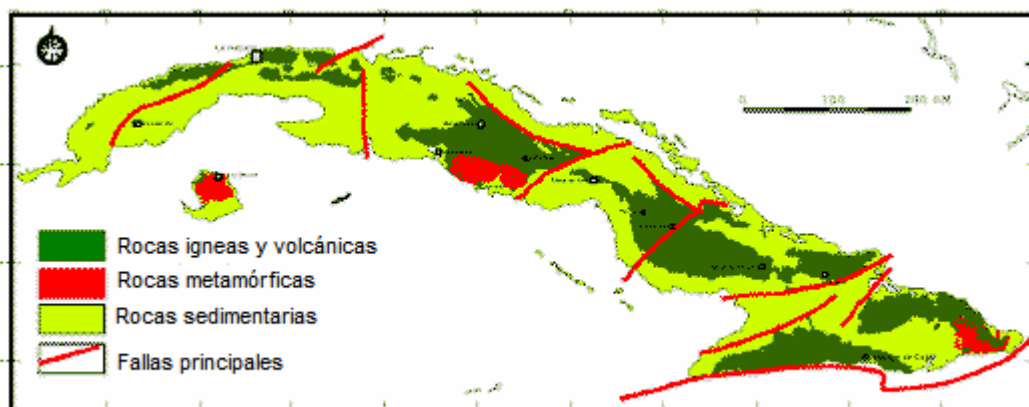


Fig. 1.11 Rocas de Cuba

1.5 Ciclo de las rocas

Aproximadamente 200 años atrás James Hutton propuso el ciclo geológico o “ciclo de las rocas” (Fig. 1.12) considerando las relaciones entre la superficie terrestre y el interior de la Tierra como un proceso cíclico. El esquema del ciclo geológico ilustra la interacción entre sedimentación, hundimiento, deformación, magmatismo, alzamiento y meteorización.

Los magmas, de que se derivan las rocas magmáticas, como las rocas plutónicas, volcánicas y rocas subvolcánicas, se forman en el manto superior y en la corteza terrestre profunda. Emplazando en secuencias de rocas de la corteza terrestre el magma enfría paulatinamente dando lugar a las rocas plutónicas. Cuando el magma sube hacia la superficie terrestre se enfría repentinamente resultando en rocas volcánicas. Por levantamiento las rocas plutónicas también pueden llegar a la superficie terrestre.

En la superficie terrestre todas las rocas están expuestas a los procesos de meteorización y erosión. En consecuencia las rocas están desarmadas es decir trituradas en fragmentos de rocas y minerales y/o están disueltas por reactivos químicos como por soluciones acuosas de cierto PH (potencial de hidrógeno), de cierto potencial redox (Eh), de cierta temperatura y de cierta presión. Las componentes disueltas como iones, moléculas y complejos químicos son transportadas en solución y se depositan en un lugar de condiciones ambientales, que favorecen su precipitación y que por consiguiente difieren de las condiciones causantes de su solución. Las componentes disueltas pueden precipitarse formando minerales distintos con respecto a aquellos, de que se derivan. Por ejemplo la

componente 'calcio' de una labradorita, que es una plagioclasa básica con un alto contenido en calcio, se disuelve y precipita en otro lugar formando calcita. Las componentes detríticas como los fragmentos de rocas y minerales pueden ser transportadas por agua, viento y hielo y depositadas en otro lugar. Cuando se depositan las componentes detríticas y químicas primeramente forman sedimentos blandos como la arena, un lodo de minerales arcillosos o un lodo de caliza. Por hundimiento, compactación y cementación los sedimentos se convierten en rocas sedimentarias sólidas. Los procesos responsables para la transformación de una roca sedimentaria blanda a una roca sedimentaria compacta son los procesos diagenéticos. Por tales procesos o es decir por diagénesis una arena se convierte en una arenisca por ejemplo.

Cuando el hundimiento continúa, las rocas se calientan y su temperatura sobrepasa la temperatura $T = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$, que es el límite superior de temperatura para los procesos sedimentarios. A temperaturas más altas los procesos, que actúan en una roca (sedimentaria, magmática o ya metamórfica) y la transforman, pertenecen al metamorfismo. En el límite superior del metamorfismo las rocas metamórficas empiezan a fundirse. Este límite depende de las condiciones de temperatura y presión presentes y de la composición de la roca. Un granito se compone en parte de minerales con grupos de (OH^-) como los anfíboles y las micas, que determinan una temperatura de fundición relativamente baja, a $T = 650^{\circ}\text{C}$ con $p = 4\text{ kbar}$ las componentes empiezan a fundirse. Para un basalto compuesto de minerales como plagioclasa, olivino y piroxeno, que no llevan grupos de (OH^-) la temperatura de fundición inicial es mucho más alta ($T \geq 1000^{\circ}\text{C}$). La fundición de las rocas metamórficas las convierte en magma.

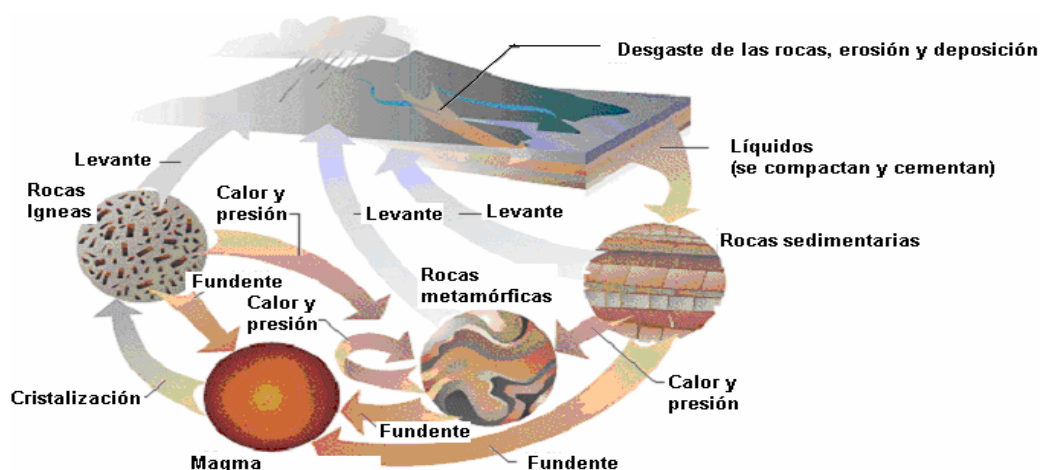


Fig.1.12 Ciclo de las rocas

1.6 Forma de yacencia de las rocas ígneas

La consolidación del magma puede ocurrir a diferentes profundidades, formándose así los diferentes tipos de rocas. Las rocas ígneas se subdividen en dos grandes grupos; rocas plutónicas y volcánicas, existiendo una categoría intermedia que es la de las rocas hipabisales (filonianas) como se muestra en la Fig. 1.13:

- Las rocas plutónicas (intrusivas o abisales) o intrusivas fueron formadas a partir de un enfriamiento lento y en profundidad del magma. Las rocas se enfriaron muy despacio, permitiendo así el crecimiento de grandes cristales de minerales puros. Ejemplos: granito y sienita.
- Las rocas volcánicas o extrusivas, se forman por el enfriamiento rápido y en superficie, o cerca de ella, del magma. Se formaron al ascender magma fundido desde las profundidades llenando grietas próximas a la superficie, o al emerger magma a través de los volcanes. El enfriamiento y la solidificación posteriores fueron muy rápidos, dando como resultado la formación de minerales con grano fino o de rocas parecidas al vidrio. Ejemplos: basalto y riolita.

Las hipabisales corresponden entonces a profundidades intermedias y cuerpos de medianas dimensiones. (Filones, diques, etc).

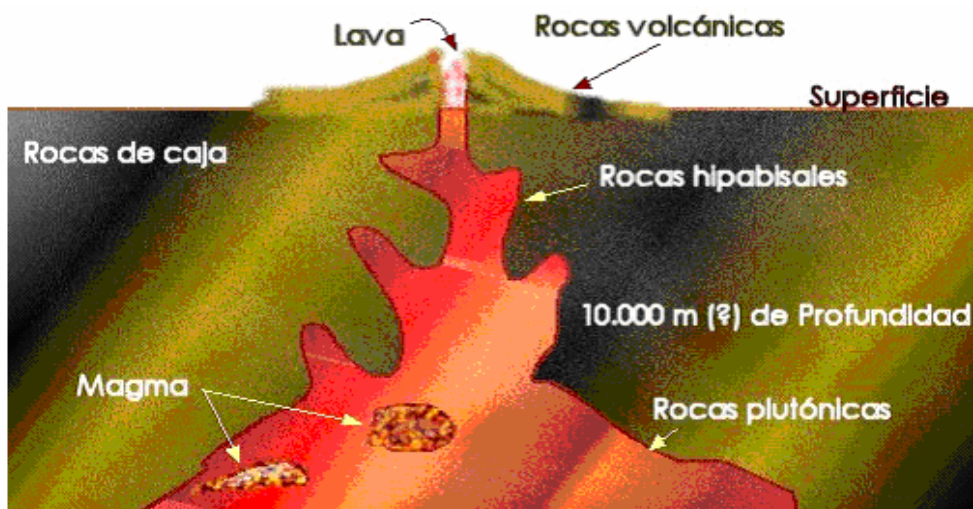


Fig. 1.13 Esquema en corte de un reservorio de magma, una chimenea de ascenso y el aparato eyector (volcán) construido por la lava en su acceso a la superficie.

Rocas ígneas de Cuba

Desde el Cretácico inferior, se encuentran rocas volcánicas, tales como diabasas, andesitas y tobas de diversa composición, en Pinar del Río, Matanzas, Oriente y al sur de la región central. Su espesor alcanza de 500 a 700 metros.

Otras formas vulcanógenas aparecen en toda la Isla, representadas por aglomerados y lavas. En algunas regiones de Matanzas y Cuba Central se observan rocas más ácidas, tales como liparitas, pórfitos y dacitas. Su espesor varía en las distintas localizaciones, pero llega a alcanzar 1500 metros.

En el sur de Oriente se han establecido depósitos paleocénicos representados por porfiritas andesíticas, aglomerados y tobas; y en la cuenca del río Tuinucú se observan brechas con grandes fragmentos de hasta varios metros de diámetro de anfibolitas, granodiorita gneísica, porfiritas y tobas, cuya edad se remonta al eoceno inferior.

Las rocas vulcanógenas presentan una distribución bastante amplia en Cuba. En el extremo sur de Occidente y en la parte noreste de la Isla de la Juventud se pueden ver actualmente las huellas del vulcanismo del cretácico. A lo largo de la costa sur de Oriente, en la proximidad de la fosa de Bartlett también se observan rocas efusivas del cretácico.

En Villa Clara, al sur de la ciudad de Santa Clara, estas rocas forman una gran estructura sinclinal de gran potencia, que, según algunos geólogos alcanza 6000 metros.

El vulcanismo paleogénico se manifestó intensamente en el sur de la Isla, en las provincias orientales. Al norte se identifica hasta la provincia de Las Villas.

En cuanto a la actividad intrusiva, se reconocen, por lo menos tres períodos principales, en el jurácico, en el cretácico superior y en el eoceno, que han producido intrusiones ultrabásicas, serpentinitas muy alteradas, peridotitos serpentinizadas, harzburgitas, dunitas y piroxenitas; intrusiones básicas, gabros, gabro olivínico, tortolitas y otras; e intrusiones granitoides, granitos, dioritas, granodioritas y traquitas; distribuidas por distintas regiones de la Isla.

1.7 Estructura y textura de las rocas ígneas

Para poder identificar una roca ígnea de forma adecuada, es necesario reconocer su textura, además de la composición mineralógica. Las texturas de las rocas permiten descifrar el proceso de formación de las mismas. Al determinar la textura de una roca, se debe evaluar cada uno de los factores que intervienen en la misma.

Antes de comenzar, se hace necesario ver qué se entiende por estructura y textura.

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

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

Los primeros son denominados estructura y los segundos textura según la terminología norteamericana.

Los factores que se toman como base para el estudio de la textura de las rocas ígneas son:

- Grado de cristalización
 - ✓ Holocristalinas (toda cristal)
 - ✓ Holovítreas (todo vidrio)
 - ✓ Merocristalina (vidrio y cristal)
- Tamaño de los granos
 - ✓ Faneríticas (visibles a simple vista)
 - ✓ Afanítica (no visibles)
- Relaciones mutuas
 - ✓ Equigranular (granos iguales)
 - ✓ Porfídicas (inequigranular)

Relación entre el tipo de roca ígnea y su textura

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

- Rocas intrusivas

Como se ha expuesto, 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.

➤ 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 se analizan.

➤ 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.

1.8 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.

Para la clasificación se toman como principios los siguientes aspectos básicos:

- Yacencia geológica
- Composición mineralógica
- Composición química

La clasificación simplificada aplicada en Cuba de las rocas ígneas (Tabla 1.4) considera como fundamental para la clasificación la presencia de un determinado mineral, para determinar el nombre de la roca. Así los minerales petrográficos se dividen en esenciales y subordinados.

Los minerales esenciales son aquellos que determinan o definen el nombre de una roca, por ejemplo la plagioclasa en los gabros.

Los minerales subordinados no determinan el nombre de la roca, sino solamente le dan un calificativo. Por ejemplo el olivino en el gabro troctolita.

Existe una tercera categoría, correspondiente a los minerales que se encuentran en cantidades menores a un 5%, denominado accesorios.

Taba 1.4 Clasificación de las rocas ígneas en Cuba

TIPO DE ROCA ÍGNEA	Composición Mineral	CON FELDESPATO					SIN FELDESPATO NI CUARZO	
		CON CUARZO			SIN CUARZO			
		Feld.K>Plag	Plag.>Feld.K	Plagioclase	Plagioclase	Plagioclase		
	Textura	Mica biotita	Mica, hornablenda.	Hornablenda., piroxeno	Hornablenda, piroxeno	Piroxeno, olivino	Piroxeno	Olivino
INTRUSIVAS	Holocristalina, equigranular, fanerítica	GRANITO	GRANODIORITA	CUARZODIORITA	DIORITA	GABRO	PIROXENITA	PERIDOTITA
HIPABISALES	Porfídica con pasta fanerítica	PÓRFIDOS						
VOLCÁNICAS	Afanítica porfídica con pasta afanítica	RIOLITA	RIODACITA	DACITA	ANDESITA	BASALTO		
	Holovítrea	Pumitas, obsidianas, retinitas			Escorias			

Categorías químicas	ÁCIDAS	MEDIA	BÁSICAS	ULTRABÁSICAS
----------------------------	--------	-------	---------	--------------

1.9 Importancia ingenieril de las rocas ígneas en la construcción

Las rocas ígneas en la rama de la construcción se emplean en diversas tareas por lo que son muy útiles.

Los granitoides se emplean como material de revestimiento debido a su bello y duradero pulimento. Tienen elevadas resistencias mecánicas, resisten temperaturas elevadas, presentan baja absorción y porosidad, etc. Se emplean como adoquines, áridos, balastos, etc. En Cuba los granitos son de importación.

Los gabros se emplean tanto con carácter ornamental, como en áridos y piedra triturada en general. Son famosos los hermosos gabros del tipo labradorita usados para enchapes, monumentos, etc. Es este, el material que reviste el mausoleo a Lenin y el monumento al soldado desconocido en Moscú. En Cuba solamente existen algunas canteras de gabro en Camagüey.

Las rocas ultrabásicas tienen poca utilización, debido a sus malas propiedades, pero pueden servir como material de mejoramiento, áridos especiales etc.

Entre las rocas volcánicas, las más empleadas en nuestro país son: las andesitas y basaltos, las cuales se explotan en algunas canteras para la obtención de piedras trituradas.

La variedad de rocas ígneas existentes es muy grande, por lo que en el futuro trabajo profesional puede encontrarse con algunas no estudiadas, sin embargo, tendrá la base necesaria para poder entender el problema presentado y determinar su uso o afectación para la construcción de una determinada obra.

1.10 Formas de yacencia de las rocas sedimentarias

Las rocas sedimentarias a diferencia de las rocas ígneas, se forman en la parte superior de la corteza terrestre, ocupando un área considerable de la litosfera. Las sedimentarias pueden originarse tanto de las ígneas como de las metamórficas, así como de las propias sedimentarias. Estas rocas se originan en las cuencas marinas y la superficie de La Tierra como consecuencia de:

- La acumulación o deposición de material fragmentario o detrítico
- La precipitación química de sustancias disueltas
- La actividad vital de los organismos

- Productos fragmentarios de las erupciones volcánicas

Estos productos suelen permanecer en las cuencas de acumulación por largos periodos de tiempo, durante los cuales van ocurriendo distintos procesos químicos y físicos que provocan la transformación de los sedimentos en rocas de manera paulatina. Esos procesos de transformación son denominados colectivamente procesos diagenéticos o diagénesis.

De acuerdo con estos fenómenos, las rocas sedimentarias se dividen en tres grupos fundamentales:

- Rocas fragmentarias, detríticas o clásticas
- Rocas químicas
- Rocas orgánicas

Rocas sedimentarias de Cuba

Cuba ha estado durante largos períodos geológicos total o parcialmente sumergida, por lo cual las rocas sedimentarias ocupan la mayor parte del territorio nacional. Cuando las olas del océano se agitaban donde hoy se encuentra Cuba, los ríos de las tierras adyacentes transportaban sedimentos a aquel fondo marino, los que con el tiempo, se endurecieron formando arcillas que, posteriormente, se transformaron en pizarras debido a las grandes presiones y altas temperaturas a que estuvieron sometidas.

Los restos de animales marinos, conchas de foraminíferos y moluscos, esponjas y corales, también fueron agregándose a los sedimentos; los que se mezclaron con el fango, dieron lugar a las margas, los que depositaron a mayores profundidades, casi libres de sedimentos, formaron las calizas.

La edad de las rocas sedimentarias se puede determinar por el estudio de los fósiles que se encuentran en ellas.

De acuerdo con lo que se expresa anteriormente, la distribución de las rocas sedimentarias en Cuba es muy amplia; las rocas calcáreas y, entre ellas las más abundantes son las calizas. Se encuentran en las Sierras de los Órganos, del Rosario, en las alturas de La Habana-Matanzas, de Bejucal, Madruga y Limonar, en las del norte de Las Villas y en la Sierra de Cubitas en Camagüey; en la ladera septentrional de la Sierra Maestra, constituyendo las llamadas “Calizas de Baire”,

etc. También en las grandes llanuras pleniplanadas predominan las rocas sedimentarias y en la península de Banes y en una franja costera al noreste y suroeste de Oriente.

La presencia de estas rocas, ha dado origen a un tipo especial de morfología que recibe el nombre de morfología cársica o sencillamente Carso, muy corriente en Cuba.

1.11 Textura de las rocas sedimentarias

Por su textura, es decir, tamaño, forma y disposición de los elementos componentes, las rocas sedimentarias se dividen en fragmentarias, cristalinas y orgánicas:

➤ Textura fragmentaria

Es cuando la roca se encuentra constituida por fragmentos que pueden tener diferente tamaño, forma, orientación (Fig. 1.14).

De modo general dicha textura esta formada por dos componentes fundamentales, los fragmentos y la matriz y/o cemento.

El cemento es un precipitado químico de cualquier composición que une los fragmentos de la roca. Ej. Calcáreo.

La matriz es una fracción granulométrica de menos tamaño que los fragmentos que une. Ej. Arenosa.

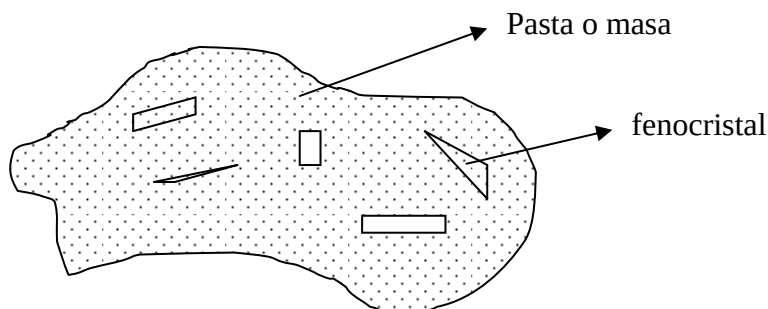


Fig.1.14 Estructura fragmentaria

➤ Textura cristalina

En este caso la roca se encuentra formada totalmente por granos cristalinos, que pueden tener diferentes dimensiones.

➤ Textura organógena

Es cuando la roca se encuentra formada fundamentalmente por restos fósiles
Pueden ser macro o micro.

1.12 Clasificación de las rocas sedimentarias

Los sedimentos constituyen un grupo tan numeroso y variado de rocas, por lo que es sumamente difícil elaborar una clasificación donde queden enmarcados en categorías. El hecho se complica aun más por las frecuentes mezclas de sedimentos, en proporciones no reguladas por ley alguna.

Dentro de los grupos en que se dividen las rocas sedimentarias se hallan las de tipo fragmentario, las que se clasifican tomando como base el tamaño y la forma de sus fragmentos (Tabla 1.5):

Tabla 1.5 Escala granulométrica comparativa

Según Rujin (URSS)			Según Wentworth (EUA)	
Nombre de la roca	Nombre del fragmento	Dimensiones (mm)	Nombre del fragmento	Nombre de La roca
Gravelita	Grava grande	8-4	Guijarro	Conglomerado o brecha
	Grava mediana	4-2	Gránulo	
	Grava pequeña	2-1	Arena muy gruesa	Arenisca
Arenisca	Arena grande	1-0.5	Arena gruesa	
	Arena mediana	0.5-0.25	Arena mediana	
	Arena pequeña	0.25-0.1	Arena fina	
Aleurolita	Aleurita grande	0.1-0.05	Arena muy fina	Limonita
	Aleurita mediana	0.05-0.025	Limo grueso	
	Aleurita pequeña	0.025-0.01	Limo mediano	
Argilita	Arcilla	0.01-0.007	Limo fino	
		0.007-0.004	Limo muy fino	lutita
		0.004-0.002	Arcilla gruesa	
		0.002-0.001	Arcilla mediana	
		0.001-0.0005	Arcilla fina	

Las rocas sedimentarias se clasifican en Cuba formando grupos según su origen y dentro de cada grupo se ha seguido otro criterio (Tabla 1.6). En el caso de las rocas clásticas se ha subdividido tomando como base la granulometría; para las

rocas químicas según su solubilidad; así como las combustibles y los productos relacionados se basan en otros criterios.

Tabla 1.6 Clasificación de las rocas sedimentarias de Cuba y productos relacionados

Tipos generales	Rocas principales	Textura y/o estructura clástica	Composición generalizada
Rocas clásticas		Fragmento en mm	
	Conglomerado y brecha	Grava > 2 sefítica	Fragmentos de rocas diversas
	Arenisca	Arena 2-1/16 samítica	Granos de rocas y minerales diversos
	Limonita	Limo 1/16-1/256 pelítica	Granos de minerales diversos
	Lutita (S.L)	Arcilla < 1/256 pelítica	Minerales arcillosos, carbonatos
Rocas cristalinas, químicas, organógenas	Calizas de muchos tipos	Cristalina, pelitomorfa, organógena	Calcita
	Dolomita	Cristalina sacaroidal	Dolomita, calcita
	Pedernal	Densa, afanítica, fractura concoidal	Sílice en forma de ópalo y calcedonia
	Evaporita	Cristalina, granular	Yeso-anhidrita, halita
	Fosforita	Densa pelitomorfa	Fosfato, glaucomita, calcita, minerales arcillosos
Combustibles	Turba	Amorfa	Restos vegetales semicarbonizados
	Asfaltita	Amorfa, colomorfa	Hidrocarburos oxigenados
Productos residuales	Lateritas serpentínicas	Pelitomorfa, concrecionaria	Nontronita, limonita, restos de serpentinita

1.13 Importancia ingenieril de las rocas sedimentarias en la construcción

Las rocas clásticas incoherentes tienen un amplio uso como áridos para hormigones, como son: las arenas, gravas, etc., fundamentalmente de origen fluvial (y marino en el caso de las arenas). Entre las rocas clásticas coherentes tienen mayor uso las areniscas y las brechas, que sirven en algunos casos como piedra de construcción, para enchapes, etc.

Las arcillas tienen un uso muy diverso, siendo materia prima para cerámica, cemento, etc. Se usan para núcleos impermeables en las presas, así como en la preparación de lodos especiales para la perforación de túneles, pozos y otras excavaciones.

Es muy importante investigar las características de las rocas arcillosas, pues ellas pueden provocar graves afectaciones en las construcciones, fundamentalmente por variaciones de volumen.

La roca química más utilizada es la caliza, la cual es materia prima básica para materiales tan importantes como la cal y el cemento. Es extensamente empleada como piedra triturada, proporcionando áridos de buena calidad (la mayoría de las canteras cubanas explotan calizas). Por otra parte, las calizas también se emplean como sustitutas de mármol, para sillería, escultura, etc.

La dolomita también se emplea como piedra triturada, en ornamentación.

El yeso se emplea para la obtención del aglomerante del mismo nombre, así como para la producción de cemento. Entre las piroclásticas, tienen mayor uso las tobas cineríticas, ya que constituyen productos puzolánicos.

1.14 Las rocas metamórficas. El metamorfismo

Las rocas metamórficas se forman en capas profundas de la Tierra por recristalización de las rocas magmáticas y sedimentarias bajo la influencia de altas temperaturas y presiones, y también durante la interacción de estas rocas con los gases calientes emanados del magma.

El metamorfismo se puede definir como la respuesta de una roca a nuevas condiciones físicas y/o químicas de la corteza terrestre, condicionadas por

presiones y temperaturas no ambientales. De este modo los cambios diagenéticos y la meteorización de las rocas no deben considerarse como metamórficos, ya que ellos se desarrollan en condiciones ambientales.

Rocas metamórficas de Cuba

Las rocas metamórficas más comunes que se encuentran son las serpentinas, las pizarras, los mármoles y los esquistos.

La serpentina, a cuya amplia distribución se refiere con anterioridad, se origina por hidratación y alteración de las rocas ultrabásicas tales como la peridotita; este proceso recibe el nombre de serpentización. Las serpentinitas a su vez, por una evolución similar (laterización), bajo la influencia de clima tropical y de los procesos de formación del suelo, dan lugar a las lateritas ferruginosas.

Las pizarras también son abundantes, sobre todo en Pinar del Río y la Isla de la Juventud. En la provincia de Pinar del Río, incluso han dado nombre a la serie de elevaciones que flanquean las cadenas montañosas de la Sierra de los Órganos, las alturas de pizarras del norte y el sur, constituidas principalmente por pizarras areniscas y arcillas, que alcanzan su mayor elevación en el Cerro de las Cabras (484m).

Los mármoles cubanos son de muy alta calidad. Tienen fama los que se obtienen en la Isla de la Juventud y Pinar del Río, también se explotan en Trinidad, Las Villas y en Charco Redondo, Oriente.

Los esquistos se localizan en abundancia en la región montañosa de Guamuaya y al sur de Las Villas.

1.14.1 Factores del metamorfismo

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

➤ Temperatura:

La temperatura para provocar el metamorfismo puede incrementarse debido a varias causas:

- ✓ Gradiente Geotérmico

El gradiente geotérmico establece que la temperatura aumenta progresivamente bajo la corteza terrestre. Se incrementa con la profundidad a razón de 1°C cada 33m. El valor del gradiente geotérmico no es constante para toda la corteza terrestre, sino que varía con las condiciones geológicas. El mismo se incrementa en los geosinclinales por ejemplo en Cuba y disminuye en zonas de la plataforma.

✓ Cercanía de masas magmáticas activas

En este caso se refiere al calentamiento que sufren las rocas circundantes a los cuerpos magmáticos. El valor de incremento en este caso depende de la composición, tamaño, forma, etc., del cuerpo magmático.

✓ Fricción cortical

El incremento de la temperatura en este caso se debe al calor que se genera por fricción entre bloques de rocas de la corteza, como ocurre en el caso de las fallas, pliegues, etc., La temperatura puede llegar a fundir la roca en contacto, pero esto no tiene mucha importancia, pues es un fenómeno local.

➤ Presión

La presión se incrementa bajo la superficie terrestre, de modo tal, que cualquier roca situada bajo la misma, esta sujeta a una presión equivalente al peso de las rocas superyacentes. A esta presión se le denomina “presión de carga”, a la que se le asigna un valor de 0,27MPa por cada 100m de profundidad. A grandes profundidades la presión se iguala en todos los sentidos, constituyendo la llamada presión “hidrostática” o “petroestática”.

Otro tipo de presión muy importante en el metamorfismo es la dirigida o tangencial (cortante), producida por movimientos de la corteza, como: fallas, pliegues, etc.

➤ Fluidos activos

El más importante de ellos es el agua en estado de vapor, otros son el anhídrido carbónico por ejemplo, que es muy móvil. El origen de estos fluidos es muy diverso, desde su formación a partir de cuerpos ígneos vecinos, a generarse en la propia roca.

Los efectos que provocan dichos factores son muy variados, así por ejemplo, la temperatura ocasiona la recristalización de las rocas, además de aumentar la velocidad de las reacciones químicas. La presión hidrostática también puede

originar recristalización, y la dirigida por su parte, puede triturar las rocas grandemente u orientarlas, según determinada dirección. Los fluidos activos sirven como catalizadores en el proceso metamórficos, además de introducir nuevas sustancias.

1.15 Tipos de metamorfismo

De un modo general, el metamorfismo de una roca puede considerarse como intenso, moderado y bajo. Pero la división más común se basa en los efectos producidos por los factores antes analizados. Algún tipo de metamorfismo puede deberse a un solo factor, por ejemplo la presión, pero otros tipos de metamorfismo se producen por la acción combinada de varios factores, lo cual constituye la mayoría de los casos. Desde luego un factor puede dominar más que otros. Por último, las rocas pueden sufrir más de un ciclo de procesos metamórficos que tienden a enmarcar los establecidos anteriormente.

Las rocas metamórficas comunes se presentan en determinados ambientes geológicos, y sería conveniente definir los tipos de metamorfismo tomando como base los criterios de campo y las asociaciones mineralógicas. Tendríamos así tres tipos de metamorfismo:

- de contacto, que se presentan en zonas limitadas, con carácter local, en las cercanías de los cuerpos ígneos.
- regional, desarrollado en áreas considerables, de cientos o miles de kilómetros cuadrados, ocurriendo típicamente en las zonas orogénicas de los cinturones geosinclinales, como es el caso de Cuba.
- de dislocación, también de carácter local, limitado a áreas de deformación muy intensa, tales como las grandes fallas.

Pero existe otra división de los tipos de metamorfismo, la clásica, basada en el predominio de alguno de los factores, temperatura, presión y fluidos activos, los mismos serán analizados a continuación:

Metamorfismo de contacto

Ocurre en una zona de contacto entre una roca ígnea intrusiva y las rocas circundantes (Fig. 1.15), se debe básicamente, a la acción de los cuerpos

magmáticas que ceden su temperatura para enfriarse. El factor predominante es la temperatura, pero actúan otros factores como los fluidos activos, con gran efectividad. La zona afectada por el metamorfismo de contacto se denomina, aureola metamórfica.

El metamorfismo se realiza no solo en las rocas que circundan una masa magmática intrusiva, sino también en el interior de esta masa como una acción recíproca, como consecuencia de la penetración en el magma de sustancias ajenas a él.

La transformación de las rocas se verifica asimismo por la acción de las disoluciones hidrotermales de elevadas temperaturas, que se originan por condensación de los vapores acuosos del magma y que se aportan distintos componentes.

Rocas típicas formadas por el metamorfismo de contacto son las skarns, mármoles, cuarcitas, etc.



Fig. 1.15 Metamorfismo de contacto alrededor de pequeños batolitos y otras intrusiones.

Metamorfismo regional

Ocurre cuando grandes zonas de la corteza terrestre se hunden a grandes profundidades. En estas zonas las temperaturas y presión son muy elevadas, y son capaces de provocar alteraciones en las rocas. Las rocas formadas son generalmente orientadas, debido a la intensa presión. Esta relacionado con las zonas móviles de la corteza terrestre, los geosinclinales (Fig. 1.16). Bajo el influjo de estos factores, las rocas recrystalizaron, transformándose en distintos esquistos cristalinos, gneises y otras rocas metamórficas.

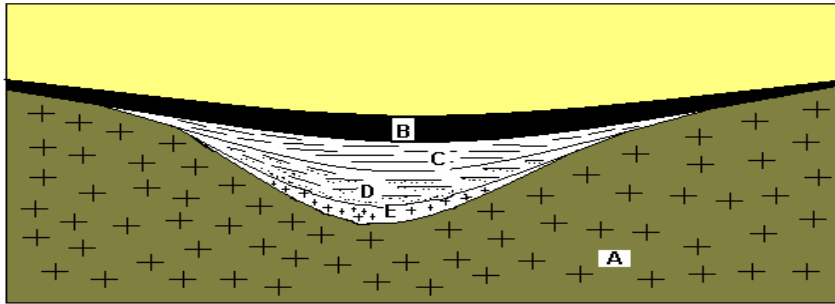


Fig. 1.16 Un geosinclinal se rellena de sedimentos, los cuales a medida que se hunden se metamorfinan. Las arcillas (B) se transforman en pizarras (C); estas en pizarras cristalinas (D); que su vez pasan a gneis (E); en (A) bloques graníticos.

Metamorfismo cataclástico (dinámico)

Es el provocado por la acción transformadora de la presión dirigida sobre las rocas, en zonas de pliegues, fallas, etc. La acción fundamental es la trituración, formándose rocas como las brechas, milonitas, etc.

Auto metamorfismo

Es el metamorfismo que sufren las rocas ígneas en el proceso de consolidación, debido a las reacciones entre el magma líquido y/o gaseoso residual, y los minerales ya cristalizados. Un ejemplo típico es la serpentinización de las rocas ultra básicas.

1.16 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 (Tabla 1.7).

Tabla 1.7 Clasificación de las rocas metamórficas.

Grupo	Rocas	Características
Rocas orientadas	Pizarra	Rocas finamente foliadas. No se observan cristales. Lustre mate.
	Filita	Foliadas. Cristales finamente divididos con superficies lustrosas.
	Esquistos	Esquistosidad desarrollada, con cristales generalmente diferentes que se observan macroscópicamente
	Neis	Rocas con cristales bien desarrollados, que se caracterizan por su estructura bandeada.
Rocas masivas	Mármol	Rocas calcáreas, compuestas de calcita o dolomita que no raya el vidrio y hace reacción con el HCl
	Cuarcita	Rocas compuestas por cuarzo que raya el vidrio y no reacciona con el HCl
	Serpentinita	Proceden del autometamorfismo de las rocas ultrabásicas y se conocen fundamentalmente por su color abigarrado.
Rocas cataclásticas	Brechas tectónicas	Muy parecidas a las brechas sedimentarias y se reconocen en los afloramientos porque cortan los estratos
	Cataclasitas	Rocas muy trituradas que se encuentran en los planos de fallas.
	Milonitas	La trituración es mayor con cristales muy pequeños que frecuentemente son polvo

1.17 Importancia ingenieril de las rocas metamórficas en la construcción

Las rocas orientadas tienen un uso limitado, y en Cuba prácticamente nulo, siendo rocas muy peligrosas durante la construcción de túneles, presas, etc.

Entre las rocas no orientadas, un lugar destacado lo ocupa el mármol, el cual puede usarse en ornamentación, escultura, piedra triturada, etc., siendo de muy diversas variedades. En Cuba, en la Isla de la Juventud, se explotan bellísimas variedades de mármoles de diferentes colores, también se localizan en Pinar del Río, Cienfuegos, Villa Clara, Granma y Guantánamo.

La cuarcita se usa como materia prima para el vidrio, como abrasivo, etc.

Las serpentinitas se han usado mucho en el país como material de mejoramiento, así como para muros de mampostería ordinaria.

Las pizarras abundan fundamentalmente en Pinar del Río y en la Isla de la Juventud. Se utilizan para hacer tejados, tableros de mesas, revestimiento de lavabos y baldosas.

CAPITULO II

Estratigrafía y Geología Estructural

2.1 El estrato y sus elementos

La superficie del planeta se lamina, a causa de la erosión, en placas más o menos grandes, desde los bloques de roca hasta el finísimo limo, pasando por todos los tamaños de gravas y arenas. La fuerza de la gravedad y el arrastre del agua tienden a depositar estos fragmentos en las zonas bajas donde, a veces, se acumulan enormes cantidades.

Estos materiales van formando sucesivas capas que llamadas "estratos". El estrato no es más que un 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. De modo general, se define como capa o estrato a una masa pétreo limitada por superficies más o menos planas. 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).

El tipo de estrato depende del clima y de la erosión que se produce en cada época. Esto hace que su estudio sea interesante para conocer las condiciones de épocas pasadas. La rama de la Geología que estudia los sedimentos y estratos se llama "Estratigrafía".

Los estratos superficiales de las zonas sedimentarias suelen tener consistencia blanda siendo, a menudo, ideales para la agricultura. Pero a lo largo del tiempo, a medida que se van acumulando nuevas capas, las inferiores tienen que soportar más peso y sus partículas, sometidas a mayor presión, se compactan. Una consecuencia posterior de este hecho es el primer principio de la estratigrafía.

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 2cm. o menos se llaman "láminas".

Los estratos o capas presentan una serie de elementos (Fig. 2.1), 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.
- 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.

Los estratos se forman en posiciones más o menos paralela y horizontal, pero esta posición es generalmente perturbada, estando los estratos en posición inclinada hacia cualquier dirección.

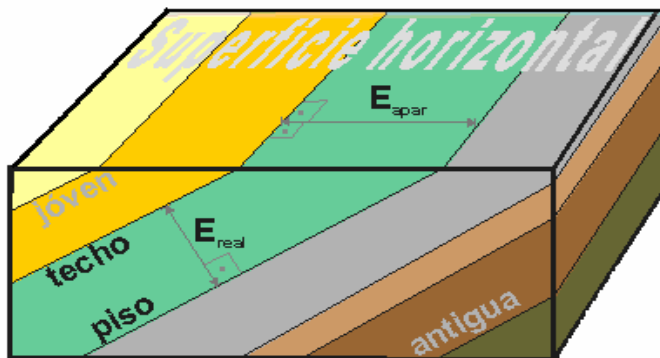


Fig. 2.1 Elementos componentes de un estrato

Es bastante común la estratificación en que las capas están inclinadas por causas no tectónicas, sino a variaciones del fondo de la cuenca, o también debido a las corrientes de agua o viento. Una estratificación de este tipo se le llama estratificación cruzada, que presenta planos con estratos inclinados sobre otro con inclinación distinta y a veces opuesta. Otros tipos de estratificación son la torrencial, la lenticular, etc.

2.2 Elementos de yacencia

Rumbo y buzamiento

La posición espacial de un estrato en la corteza terrestre puede ser cualquiera, es decir, que ellos pueden aparecer en infinitas posiciones.

En los trabajos de campo se hace necesario conocer la posición en que aparecen yaciendo los estratos, para poder representar los mismos en los mapas geológicos y así realizar las interpretaciones necesarias.

Para determinar la posición espacial de un estrato en la corteza terrestre se recurre a los denominados elementos de yacencia. La posición espacial de una capa en la corteza terrestre queda determinada si se conoce el ángulo de buzamiento y el azimut de buzamiento. Es decir, que los “elementos de yacencia” son (Fig. 2.2): ángulo de buzamiento y azimut de buzamiento.

Para poder definir los dos elementos de yacencia antes mencionados, estudiaremos primeramente algunos conceptos básicos como son:

- El rumbo (línea de rumbo). Es la línea que surge de la intercepción del plano formado por la superficie real del estrato con un plano horizontal ideal. Como se infiere, en un mismo estrato se pueden trazar tantas líneas de rumbo como se desee, y todas paralelas entre sí.
- Línea de buzamiento. Es una línea perpendicular al rumbo que se encuentra contenida en el plano del estrato. Esta línea es la que señala el sentido de la inclinación del estrato o la dirección en que fluye el agua. En otras palabras, es la línea de máxima pendiente del plano del estrato.
- La línea de dirección del buzamiento. Es la que se obtiene como resultado de la proyección de la línea de buzamiento en el plano horizontal ideal. Es decir, que la misma es también perpendicular al rumbo.

Conocido esto, se pueden definir los elementos que determinan la posición espacial de un estrato, es decir, el ángulo y el azimut de buzamiento.



Fig. 2.2 Elementos de yacencia

Por lo que el ángulo de buzamiento es el formado entre el plano del estrato y el plano horizontal ideal, o lo que es igual, el ángulo formado entre la línea de buzamiento y la línea de dirección del buzamiento. En una estratificación horizontal, el ángulo de buzamiento es de 0 grados; para una posición vertical del estrato, dicho ángulo es de 90 grados. De este modo el ángulo de buzamiento varía entre 0° y 90° grados. Si la capa se halla invertida, el ángulo de buzamiento seguirá siendo menor de 90° grados, como se infiere de su definición.

El azimut de buzamiento es simplemente el azimut de la alineación definida por la línea de dirección de buzamiento, es decir, el ángulo que existe entre el norte (N) y la línea de dirección de buzamiento, medido en sentido topográfico positivo.

La indicación de los elementos de yacencia de los estratos debe hacerse del modo siguiente: en primer lugar indicar el azimut (en grados de 0-360), seguidamente el ángulo de buzamiento, (en grados de 0-90); ejemplos:

220°, 40°; 70°, 15°

A veces se indica además el rumbo, por ejemplo: S0 210° <40°

La determinación de los elementos de yacencia de los estratos se realiza con el auxilio de una brújula. La idónea para esta operación es la llamada “brújula de geólogo”.

La brújula del geólogo

Dicha brújula se diferencia de las ordinarias en dos aspectos fundamentales:

- Los puntos cardinales E y O se encuentran ubicados en posición inversa, es decir, el E se encuentra a la izquierda de la línea N-S y el O a la derecha de la misma. Además, la brújula de geólogo tiene graduado el limbo de 0–360 grados en el sentido contrario al de las agujas del reloj. Es así como al punto

E le corresponde una lectura de 90° , al punto S, 180° y al O, 270° . Esta disposición invertida de los puntos E (este) y O (oeste) se han adaptado para una mayor comodidad en la lectura de los ángulos acimutales medidos. Con esta disposición de lectura que aparece en el limbo es ya directamente el valor acimutal.

- La brújula del geólogo trae acoplado un aditamento llamado clinómetro o inclinómetro, que consiste en un pequeño péndulo que puede girar alrededor de un limbo graduado de 0-90 grados. El clinómetro sirve para la determinación directa del ángulo de buzamiento. Existen otros tipos de clinómetros que vienen independientes de la brújula, que tienen una precisión algo superior, pero para el trabajo geológico de campo no es necesaria tanta precisión.

Existen dos tipos de brújulas para tomar las medidas: La brújula del tipo Brunton (generalmente para mediciones con el rumbo) y la brújula tipo Freiburger (generalmente para mediciones con la dirección de inclinación).

- La brújula "Brunton" se usa generalmente para mediciones del rumbo y buzamiento. Es decir mediciones del tipo "medio círculo" y del "tipo americano". También mediciones del concepto "círculo completo" son posibles. La brújula "Brunton" existe en la versión azimutal (de 0 hasta 360°) y en la versión de cuadrantes (cada cuadrante tiene entre 0- 90°).
- Para mediciones de círculo completo (Dirección de inclinación/ buzamiento). Con la brújula Freiburger se puede medir en una vez la dirección de inclinación y el buzamiento. Pero también se puede tomar excepcionalmente datos del tipo americano (Rumbo, buzamiento, dirección). Con la brújula Freiburger se mide más rápido y más fácil. Los datos del tipo Círculo Completo son más cortos y fáciles para manejar.

Existen tres tipos de notaciones de datos tectónicos:

- Círculo completo

Dirección de inclinación/buzamiento (Fig. 2.3 Ej. 320/65)

El tipo de notación más fácil y más eficiente. Solo dos números permiten la descripción de cualquier plano. El primer número (Fig. 2.3 Ej. 320/65) es la

dirección de inclinación, el valor azimuthal en grados hacia donde el plano se inclina. Un plano con inclinación hacia al norte entonces tiene 0° hacia este $=90^\circ$; hacia al sur 180° ; hacia oeste $=270^\circ$. Entonces el primer número (la dirección de inclinación) puede llegar hasta 360° .

El buzamiento siempre es el ángulo pequeño entre la horizontal y el plano geológico. Nunca puede ser superior de 90° .

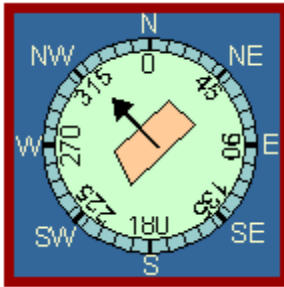


Fig. 2.3 Ej. 320/65

➤ Medio círculo

Rumbo/buzamiento (Fig. 2.4 Ej. 50/65NW)

Este tipo de medición hoy casi no se usan, pero existe todavía: El primer número (ejemplo 50) es el rumbo en una forma azimuthal, podría ser un número entre 0° hasta 180° . Siempre hay un rumbo en este segmento. El segundo número es el buzamiento. Las letras al fin definen la dirección de inclinación. Eso es necesario porque el rumbo es vi-direccional y siempre resultan dos posibilidades hacia donde se inclina el plano.

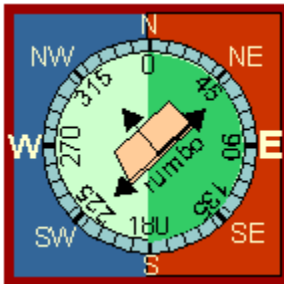


Fig. 2.4 Ej. 50/65NW

➤ Tipo americano

N rumbo E/W; buzamiento (Fig. 2.5 Ej. N50E; 65NW)

Tal vez, el tipo de notación más usado sea el tipo americano. N significa el inicio (punto cero) del dato (para planos geológicos siempre se puede usar N; para

alineaciones también se necesita "S"). El primer número (ejemplo: 50) significa el rumbo a partir del N. Hay dos posibilidades hacia E como este o hacia W como oeste. El rumbo en este tipo de notación nunca es mayor de 90°. Entonces en el ejemplo tenemos 50° hacia el este. El problema de esta notación es la gran cantidad de letras y números para definir el plano. Además en el cuadrante N....W se cuenta contra-reloj, en el cuadrante N...E en el sentido del reloj, eso también complica un poco esta norma. El uso de este tipo de notación siempre necesita atención y sería mejor verificar los datos tomados o traspasados (especialmente en la tarde).

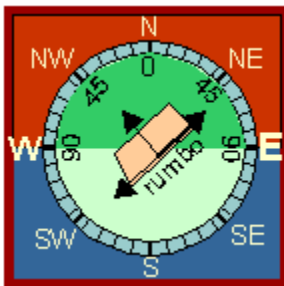


Fig. 2.5 Ej. N50E; 65NW

Los tres tipos de notaciones (Fig. 2.6) tectónicas definen matemáticamente la orientación un plano geológico. Para definir un plano se usan una línea fija, que marca la orientación en el plano: La primera posibilidad es el rumbo, la otra es la dirección de inclinación.

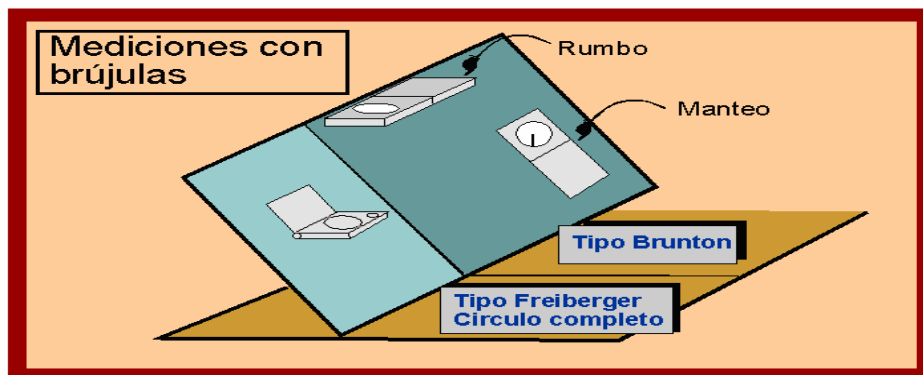


Fig. 2.6 Mediciones con brújulas

Uso de las brújulas

Freiburger para círculo completo

1. Placa para medir tiene que estar junto con la roca

2. Nivel esférico tiene que estar en el centro.
3. Dejar la aguja libre
4. Se fija la aguja
5. Se verifica la escala del buzamiento: rojo = aguja roja o negro: aguja negra
6. Se toma la lectura de la aguja (negra o roja; véase 5.) = valor de la dirección de inclinación
7. Se toma la lectura de la escala del buzamiento: Valor del buzamiento.

Brunton para tipo americano

1. La brújula está en orientación del rumbo, junto a las rocas
2. La burbuja del nivel esférico tiene que estar en el centro
3. La aguja tiene que estar libre
4. Se toma el valor del rumbo N.....E o N.....W
5. Se pone la brújula perpendicular al rumbo
6. Se usa el clinómetro
7. La burbuja del nivel tubular tiene que estar en el centro
8. Se toma la lectura del clinómetro como buzamiento
9. Se estima la dirección de inclinación en letras (N, NW, E, SE, S, SW, W, NW)

Brunton como círculo completo

1. Se usa el espejo como placa para medir
2. El espejo tiene que estar junto con la roca
3. La burbuja del nivel esférico tiene que estar en el centro
4. La aguja está libre
5. Se fija la aguja
6. Se estima la dirección de inclinación del plano
7. Se elige la aguja más cerca de la estimación como valor de la dirección de inclinación
8. Se toma este valor: dirección de inclinación
9. Se mide con el clinómetro el buzamiento: Nivel Tubular tiene que estar en el centro.
10. Se toma la lectura del clinómetro como buzamiento.

2.3 Principales leyes estratigráficas. El tiempo geológico

Uno de los problemas fundamentales de la geología es el establecimiento del orden cronológico de los acontecimientos geológicos que han afectado a la litosfera. Para solucionar este problema se emplean dos métodos fundamentales:

- Cronología absoluta
- Cronología relativa

La edad absoluta

La edad absoluta de las rocas puede ser obtenida si se conoce la velocidad de ocurrencia de un determinado proceso que se verifique de forma constante, como por ejemplo la desintegración de los elementos radioactivos así como la depositación del sedimento. Otra manera de calcular la cantidad de años transcurridos desde un momento dado de la historia de la tierra es realizando el estudio de los glaciares.

El método radiactivo es más preciso para determinar la edad absoluta de los materiales y el mismo se basa en el hecho de que las rocas generalmente contienen elementos radiactivos en pequeña cantidades, como por ejemplo el uranio (U), el radio (Ra), el torio (Th), el potasio (K) y sus isótopos. Con el transcurso del tiempo, ellos sufren una desintegración espontánea, a ritmo constante, dando lugar a elementos más estables, como el plomo (Pb) y helio (He), de acuerdo al esquema.



Otros sistemas usados son:



Este proceso de desintegración se lleva a cabo espontáneamente, sin que medien en él factores externos. La duración de este proceso suele ser muy larga.

Par la determinación de la edad de las rocas es preciso estudiar minuciosamente la composición de los minerales, obteniendo así las proporciones, tomando como base el período de semi-desintegración de los elementos radiactivos. El período de semi-desintegración de un elemento químico es el tiempo que necesita para reducir su masa a la mitad. Esos períodos son distintos para los diferentes elementos, por ejemplo, la mitad de todos los átomos del torio presentes

inicialmente se desintegra en 14 millones de años, la mitad de todos los átomos de uranio se desintegra en 700 millones de años.

La aplicación de los métodos radiactivos ha permitido elaborar una escala absoluta. Por ejemplo: como planeta la Tierra tiene una edad de $4,56 \pm 0,03$ mil millones de años.

Existen otros métodos utilizados para determinar la edad absoluta de una roca:

- ✓ Método del argón (Ar) o potasio 40: se basa en que el isótopo de potasio con peso atómico 40 se convierte, por proceso radioactivo en gas argón.
- ✓ Método del rubidio-estroncio.
- ✓ Método del carbono 14 (C^{14}): el mismo presenta un período de desintegración de 5568 años.

Es de creer que con el tiempo se tiene la posibilidad de utilizar ampliamente los métodos de evaluación de la edad absoluta de las rocas, lo cual facilitará grandemente las investigaciones geológicas y hará más precisas las evaluaciones cronológicas.

Cronología relativa

Actualmente los geólogos utilizan con éxito varios métodos para determinar la edad relativa de las rocas y, por tanto, para establecer la sucesión de su formación, entre tales métodos figuran el estratigráfico, el petrográfico y el paleontológico.

Método estratigráfico

Se basa en el esclarecimiento de las relaciones entre los estratos rocosos. Parte del llamado principio de superposición, según el cual el estrato inferior se formó antes que el superior y, por lo tanto es más antiguo que el de más arriba.

El método se puede emplear con acierto sólo cuando el conjunto de estratos se formó en un proceso de sedimentación ininterrumpida. La existencia, en el contacto entre dos estratos de huellas de denudación (erosión), conglomerados en la base, etc., permite considerar que entre las épocas de deposición de estos estratos tuvo lugar la denudación de las rocas depositadas con anterioridad.

En las zonas donde los estratos rocosos están plegados existen dificultades para establecer las relaciones entre las rocas. Pueden encontrarse pliegues volteados o

cabalgamientos, donde los estratos de rocas antiguas yacen sobre estratos jóvenes.

Leyes estratigráficas

- La primera ley, que se conoce como ley de la horizontalidad inicial, se enuncia de este modo: “Los sedimentos que el agua deposita forman estratos casi horizontales y paralelos, o casi paralelos, a la superficie sobre la que se acumula”. (N. Steno). Desde luego que se exceptúan las estratificaciones especiales o las que han sido perturbadas.
- Ley de la superposición. (N. Steno). En una secuencia de estratos sedimentarios no perturbados por plegamiento o inversiones desde su formación, los estratos más jóvenes se encuentran yaciendo sobre los más viejos. Esto se debe a que su proceso de formación sigue esa secuencia precisamente, es decir, que siempre los sedimentos se depositan sobre rocas o sedimentos ya acumulados que resultan más antiguos que los primeros.
- Principio del actualismo. (J. Hutton). Establece que las condiciones originales de los fenómenos geológicos antiguos, son las mismas condiciones que prevalecen en nuestros días. Este principio puede resumirse en la siguiente frase “Lo presente en la clave del pasado”.
- Ley de la sucesión faunal. (William Smith). Se basa en considerar que los fósiles contenidos en una roca sedimentaria sirven para determinar su edad geológica. Esto se debe a que cada organismo vivió en una época determinada, con características muy específicas, transcurrida la cual se transformaron paulatinamente por un proceso evolutivo. Es importante destacar que no todos los fósiles nos permiten determinar la edad de las rocas, sino que deben tener determinadas características: amplia distribución geográfica, gran abundancia, rápida evolución o desaparición, fácil identificación.

Otro criterio que puede seguirse para determinar la edad relativa de las rocas es “que un fenómeno geológico es posterior a los materiales que afectan y anterior al los que no han sido afectados por él”. Por ejemplo, si una falla corta estratos jurásicos, tendrá lógicamente edad post-jurásica.

Transgresiones y regresiones

Se habla de trasgresión cuando el mar avanza sobre el continente, la línea de costa retrocede y se presenta un aumento progresivo de los sedimentos acumulados en la cuenca marina sobre la plataforma continental. Además al pie del acantilado en retroceso se formaran a cada momento, materiales detríticos gruesos los cuales originaran conglomerados, mientras que a mayor distancia de la costa, los materiales depositados serán mucho más finos, sedimentándose por orden, arenas, arcillas y margas.

Cuando el mar se retira de la costa se habla de regresión, la extensión de sedimentos depositados va siendo cada vez menor y fácilmente en estas condiciones, los materiales detríticos gruesos se depositan sobre los más finos correspondiéndose a estratos anteriormente formados a mayor distancia de la costa. Resultando por tanto que trasgresión y regresión sean opuestas.

Las trasgresiones y regresiones marinas se deben a cambios relativos del nivel del mar con relación a los continentes, entre sus posibles causas se encuentran a movimientos epirogénicos o a variaciones eustáticas del nivel del mar. En un momento determinado el estudio de la extensión alcanzada por el mar en una determinada región, permite trazar las líneas de costa llegándose a conformar mapas paleo geográficos que nos ilustren sobre las variaciones de la áreas continentales y los mares en el transcurso de los tiempos geológicos.

Método petrográfico

Se basa en el estudio y la comparación de la composición de las rocas en zonas vecinas (pozos).

La comparación entre rocas de igual edad en los cortes de los pozos por lo general se efectúa con la ayuda de las líneas de correlación, que permiten captar los cambios de espesor y composición de las rocas. En caso de que sea rápida la variabilidad de los estratos de igual edad en el espacio o de que se repitan rocas de composición análoga, el empleo del método es limitado.

Para correlacionar las rocas metamórficas y las magmáticas, el método petrográfico es casi el único posible de emplear.

Método paleontológico

Consiste en estudiar los restos de antiguos organismos extintos. Se le denomina fosilización al proceso de transformación o conservación de cualquier organismo o resto de su actividad vital en elemento fósil.

No todos los organismos que mueren tienen las condiciones propicias para fosilizar y es más, probablemente el 95% de los organismos no llegan a fosilizar. En este sentido son particularmente importantes los fósiles guía o característicos, es decir, los grupos de organismos extintos propios solo de determinada capa de roca. Estos se distinguen por las características siguientes:

- Difusión vertical limitada, lo cual está relacionado con una gran mutabilidad y carácter efímero de las especies.
- Amplia difusión horizontal.
- Abundancia de ejemplares, razón que permite hallarlos con frecuencia en los sedimentos.
- Buen estado de conservación, lo que permite identificarlos de un modo seguro.

Los procesos sedimentarios pueden ocurrir en cualquier lugar de la superficie terrestre donde haya erosión, pero no todo el material depositado se convierte en roca sedimentaria, ya que la propia erosión puede arrastrar los sedimentos antes de que se endurezcan. Básicamente, los procesos sedimentarios son de tres tipos:

- Marinos, se forman depósitos en la plataforma continental y en las zonas abisales.
- Continentales, se acumulan materiales a los pies de las cadenas montañosas, en los glaciares, a lo largo de las cuencas de los ríos y en los desiertos.
- De transición, que es la sedimentación que tiene lugar en puntos de contacto entre el mar y los continentes, como las zonas pantanosas y los deltas.

Sobre la base de los restos fósiles es relativamente fácil y seguro dividir el monótono conjunto de rocas en varios horizontes estratigráficos independientes. Este método no solo permite comparar cortes vecinos, sino también cortes bastante alejados entre si, independientemente de la composición y las condiciones de estratificación de las rocas. Estudiando los restos fósiles

contenidos en diversos cortes, no es difícil igualarlos con el patrón geocronológico internacional. Este método es universal y se emplea siempre, exceptuando los casos en que los estratos rocosos carezcan de restos orgánicos.

El tiempo geológico

La historia geológica es larga y para facilitar su comprensión los geólogos la han dividido en cinco grandes grupos.

Los datos sobre los restos orgánicos, la composición y correlación de las capas separadas de roca en un gran número de cortes en la corteza terrestre, permiten establecer una serie estratigráfica única, en la que los sedimentos estén separados en determinada secuencia.

Con arreglo a la serie estratigráfica se ha elaborado una escala geocronológica (Tabla 2.1), que presenta las etapas en la que se divide la historia de la tierra.

Serie estratigráfica	Escala cronológica
(Sedimento)	(Tiempo)
Grupo -----	---Era
Sistema -----	--Período
Serie -----	---Época
Piso -----	-----Edad

Tabla 2.1. Tabla geocronológica

Era (grupo)	Período (sistema)	Simbo- logía.	Época (serie)	Simbo- logía.	Duració n (millone s de años)
Cenozoico Kz	Cuaternario	Q	Holoceno	Q ₄	70
			Cuaternario superior	Q ₃	
			Cuaternario medio	Q ₂	
			Cuaternario inferior	Q ₁	
	Neógeno	N	Plioceno	N ₂	
			Mioceno	N ₁	
	Paleógeno	P	Oligoceno	P ₃	
			Eoceno	P ₂	
			Paleoceno	P ₁	
Mesozoico Mz	Cretácico	K	Cretácico superior	K ₂	180
			Cretácico inferior	K ₁	
	Jurásico	J	Jurásico superior	J ₃	
			Jurásico medio	J ₂	
			Jurásico inferior	J ₁	
	Triásico	T	Triásico	T	
Paleozoico Pz	Pérmico	P	Pérmico	P	500
	Carbonífero	C	Carbonífero	C	
	Devónico	D	Devónico	D	
	Silúrico	S	Silúrico	S	
	Ordovícico	O	Ordovícico	O	
	Cámbrico	Cm	Cámbrico	Cm	

A tabla geocronológica para Cuba se simplifica y solo incluye las eras mesozoica y cenozoica.

2.4 Teorías geotectónicas, tectónica de placas

La geotectónica no es más que la ciencia sobre la estructura, los movimientos, las deformaciones y el desarrollo de las capas sólidas superiores de la corteza terrestre y el manto superior (tectonósfera).

Las diferentes hipótesis que dieron lugar a las teorías geotectónicas se muestran en la Tabla 2.2, dividiéndose en dos grandes grupos: fijistas y movi-
listas.

- Hipótesis fijistas: parten de la negación de la posibilidad de un desplazamiento horizontal algo considerable de los bloques de la corteza continental. Basa sus explicaciones en los movimientos verticales.

- Hipótesis movilizistas: parten de la existencia de movimientos horizontales considerables de los bloques de la corteza continental.

La principal contradicción entre estos grandes grupos en el plano geológico se reduce a la contradicción entre la estabilidad estructural de la litosfera durante la historia geológica y los indicios de desplazamientos horizontales relativos de sus bloques aislados.

Tabla 2.2 Hipótesis, clasificación

Hipótesis	Nombre	Grupo
Clásicas	Emergencia	Fijista
	Contracción	Fijista
	Pulsación	Fijista
	Expansión	Fijista
	Deriva de los continentes	Movilista
	Flujos subcorticales de convección	Movilista
	Rotativa	Fijista
	Isostática	Fijista
	Gravitacional	Fijista
	Ondulante	Fijista
Contemporáneas	Expansión del fondo oceánico	Movilista
	Diferenciación profunda	Fijista
	Teoría geosinclinal	Fijista
	Tectónica de placas	Movilista

Las mismas se dividen con posterioridad en hipótesis tectónicas clásicas y contemporáneas, dicha división es convencional, ya que no hay prácticamente ninguna hipótesis clásica que perdiese totalmente su valor. El criterio de contemporaneidad se debe a la coherencia de la hipótesis con los nuevos datos geológicos, geofísicos y geoquímicos obtenidos en los últimos años:

- Hipótesis de la deriva de los continentes

La misma tiene como base:

- ✓ La existencia, en la curva hipsográfica, de dos escalones, marcadamente expresados (continentes y océanos) y nos dan pie a suponer una composición diferente (sial-sima)
- ✓ La semejanza de contorno de los continentes separados actualmente por el océano Atlántico, sobre todo de América del Sur y de África.

- ✓ La semejanza de la constitución geológica de estos continentes, en particular su flora y su fauna terrestre del paleozoico superior y del mesozoico inferior.
- ✓ La difusión, dentro de los límites de todos los continentes del grupo gondwaniano de la glaciación del paleozoico superior.

Partiendo de lo expuesto con anterioridad se llegó a la conclusión de que hasta el mismo comienzo del mesozoico los continentes separados hoy en día por los océanos Atlántico e Indico formaron un supercontinente único: Pangea, que a continuación se fracturó, desplazándose en bloques aislados (Laurisia y Gondwana). El mecanismo de deriva de los continentes se les imaginaba en forma de ascenso y estiramiento de los supercontinentes con la penetración de las masas magmáticas en su parte central, que sube, y con el resbalamiento de los trozos separados en dirección del geosinclinal intermedio.

La teoría de la deriva continental está cambiando varias especialidades de la geología. El movimiento de los continentes provoca algunos cambios (Fig. 2.7) en algunas áreas. Los corrientes del mar y el clima global dependen de la configuración de los continentes.

Dentro de las limitaciones que presenta se expone la inconformidad de los geofísicos, dado que no se satisficieron los mecanismos de migración de los bloques continentales. Además el registro de las fallas profundas que profundizan desde la corteza hacia adentro del manto, conservan largamente su posición y actividad, y engendran los geosinclinales de desarrollo heredado, está en contradicción con la idea de los continentes “vagantes”.

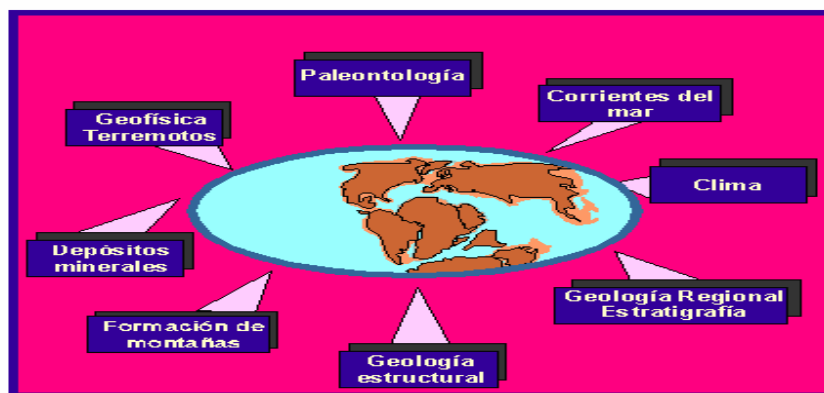


Fig. 2.7 Especialidades afectadas por la deriva continental

Es de hacer notar que ninguno de los hechos geológicos tomados como base de las hipótesis enumeradas más arriba, fue, en esencia, desmentido.

➤ Hipótesis de los flujos subcorticales de convección

Esta hipótesis considera que los flujos subcorticales de convección, que se originan en las masas viscosas bajo la corteza sólida de la tierra es el mecanismo que provoca el desplazamiento horizontal de las masas continentales (Fig.2.8) y que es capaz de engendrar las fuerzas tangenciales que pudiesen arrugar los sedimentos acumulados en los geosinclinales.

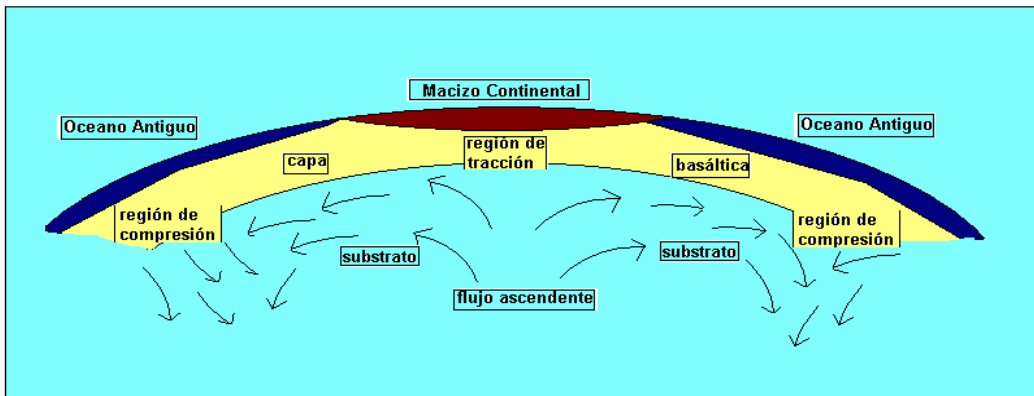


Fig. 2.8 Estadío inicial del ciclo de convección

Se puede hablar de las ventajas siguientes.

Se concede un lugar primordial a los procesos que ocurren en la región subcortical, se atiende el papel del calor radioactivo, se atienden igualmente los movimientos verticales y horizontales de la corteza terrestre, cobran explicación la conjugación y simultaneidad del estiramiento de unas zonas (por encima de los flujos ascendentes) y el apretamiento de otras (por encima de los flujos descendentes).

La misma presenta las limitaciones relacionadas con la no posibilidad de comprobar la existencia en el manto de flujos de convección permanentes o prolongados.

➤ Hipótesis de la expansión del fondo oceánico

Según datos paleomagnéticos actuales, a partir del período pérmico el radio de la Tierra no aumentó o solo muy poco. Las investigaciones de la presión montañosa muestran que las rocas de la capa granítica de la corteza sufren actualmente una compresión tangencial (disminución del radio de la tierra). La aceleración de

rotación de la tierra, registrada en la época contemporánea es un testimonio de compresión. Por tanto los datos testimonian más bien una contracción o pulsación, pero de ningún modo expansión de la tierra.

Teoría de la tectónica de placas

Para hablar de la teoría de tectónica de placas, primero se deben exponer las premisas científicas sobre las cuales se basa:

- Deriva continental
- Flujos subcorticales de convección
- Expansión del fondo oceánico.

Solo cuando la ciencia geológica se desplazó al océano y quedó clara la existencia de las dorsales centro-oceánicas con sus depresiones y fosas abisales, la relación entre los terremotos y el volcanismo y su asociación en sistemas globales de zonas activas de la Tierra, no hubo más remedio que renunciar a las nociones sobre la estabilidad de los bloques continentales y oceánicos de la corteza terrestre. La noción fijista (de la estabilidad) fue sustituida por la nueva noción movilista (neomovilismo), lo que significó una revolución radical del pensamiento científico y propuso la esencia de la revolución científica de la geología.

La esencia de la teoría de la tectónica de las placas litosféricas se puede exponer de la forma siguiente:

La teoría de la tectónica de placas fue formulada durante el último cuarto del siglo XX, por diversos geólogos como Le Pinchon, Parker, McKenzie, Tarling, etc. Esta teoría establece que la llamada astenosfera se comporta como una especie de cinta transportadora, sobre la cual se desplazan las placas de la litosfera.

La coincidencia en la formulación de esta teoría se materializó tras una serie de mediciones geofísicas concluyentes, llevadas a cabo mediante propagación de ondas sísmicas. Se observó que en una capa situada entre los 70 y 300 km. de profundidad, las rocas reducían su rigidez debido a que se encontraban bajo temperaturas próximas a las de fusión. Esta capa casi fundida (astenosfera) es la que realiza la función de cinta transportadora de las rocas que se encuentran en la capa situada por encima, es decir, la litosfera.

La litosfera está formada por la corteza terrestre (continental y oceánica) y una parte del manto superior, que se sitúan por encima de la astenosfera. Ambas capas constituyen una unidad rígida pero frágil que, al descansar sobre material plástico sometido a las denominadas corrientes de convección (Fig. 2.9), se fragmenta en las llamadas placas litosféricas. Estas corrientes son las responsables del movimiento de las citadas placas.



Fig. 2.9 Movimiento de las placas litosféricas

Los bordes entre placas litosféricas pueden ser constructivos, destructivos y neutros o pasivos. Son constructivos cuando se produce en zonas de expansión que generan nueva corteza oceánica, es decir, cuando la materia fundida asciende desde la astenosfera para enfriarse posteriormente y formar la litosfera oceánica; destructivos, cuando la zona es de subducción o sumidero, es decir, cuando las placas colisionan y una se introduce por debajo de la otra, sumergiéndose hasta el manto y fundiéndose en él (Fig. 2.10); y pasivos, cuando las placas se deslizan una con respecto a la otra sin chocar entre sí ni separarse, es decir, sin crear ni destruir litosfera debido a que los deslizamientos se producen lateralmente en la horizontal.

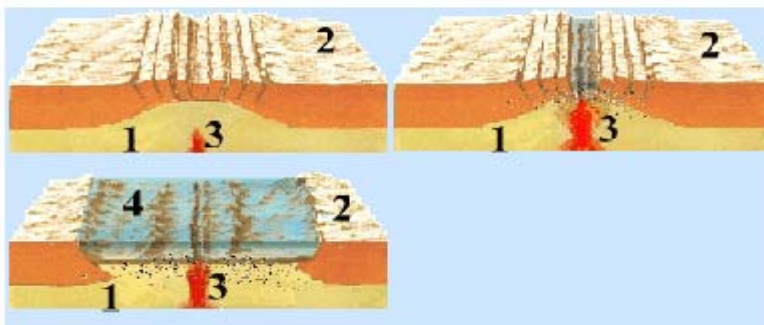


Fig. 2.10 "construcción" de litosfera mediante la separación de dos placas: 1- Astenosfera, 2-Corteza continental, 3-Materia fundida, 4-Cuenca oceánica

Las principales placas litosféricas son: pacífica, norteamericana, sudamericana, euroasiática, africana, indo-australiana y antártica. Otras placas de dimensiones

más reducidas son: La de Nazca (en el Pacífico Sur); Cocos (en la región pacífica de América Central); Caribe (en la región atlántica de América Central); Filipinas (en el Pacífico); y Arábica (entre la Africana y la Euroasiática).

Algunas placas son totalmente oceánicas como la del Pacífico o la de los Cocos. Pero en la composición de las mismas entran los continentes y las partes adyacentes de los océanos, como por ejemplo, la placa Euroasiática.

Se puede medir la dirección y velocidad del desplazamiento de las placas y por consiguiente, describir el movimiento matemáticamente, para lo que es suficiente determinar en la esfera terrestre el punto en torno al cual transcurre la rotación de la placa, así como la velocidad angular de la rotación. Por ejemplo, la placa Indica respecto a la Euroasiática gira de derecha a izquierda esto significa que en la zona del Pamir y el Himalaya, la placa Indica se aproxima a la Euroasiática a la velocidad de 4.0cm al año (por eso surgió aquí la cordillera más alta del mundo).

Esquema del surgimiento y evolución de las depresiones oceánicas desde el punto de vista de la tectónica de placas

La corteza continental del grosor de 30-40Km (Fig.2.11) sobre las rocas del manto:

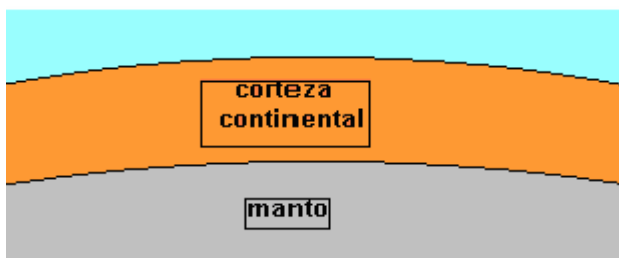


Fig. 2.11 África del Sur y Canadá

Flexión del macizo continental y efusión de la lava mantífera (Fig.2.12) por las fracturas de la superficie de la tierra:

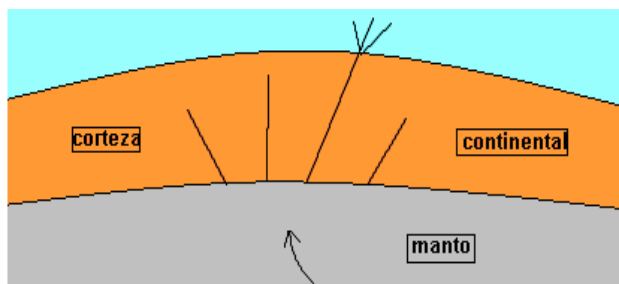


Fig. 2.12 Algunas partes de África Oriental

Efusión de la lava (Fig. 2.13) con la separación ulterior de la corteza.

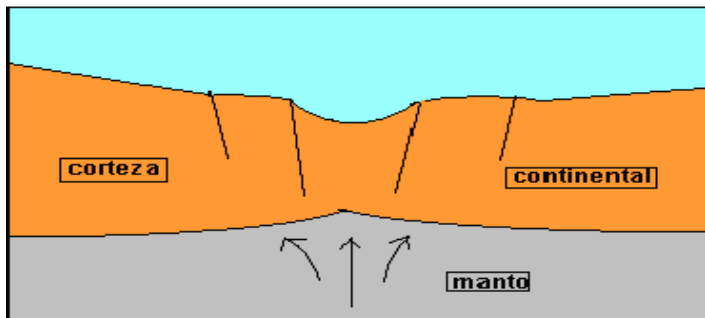


Fig. 2.13 Valle en la zona de fractura de África Oriental

Disminución de la curvatura con la predominación de movimientos verticales (Fig. 2.14). En la depresión formada en la superficie se acumula y evapora el agua. La sustancia mantífera acumulada cerca de la superficie engendra la actividad volcánica y el surgimiento de fuentes calientes.

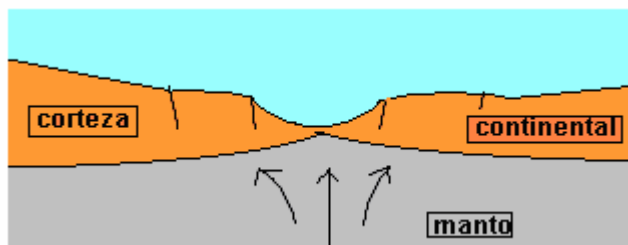


Fig. 2.14 Depresión de Afars, al sur del Mar Rojo

Las rocas del manto alcanzan la superficie, se forma una nueva corteza oceánica y al mismo tiempo comienza la división de los bloques continentales (Fig. 2.15). Las regiones centrales se encuentran ahora por debajo del nivel del mar, pero a poca profundidad, debido a lo cual ocurre la acumulación de sedimentos de aguas someras.

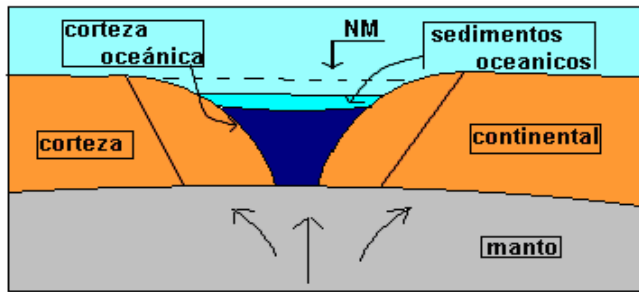


Fig. 2.15 Mar Rojo en la actualidad

La separación continua (Fig. 2.16); en los bordes de los continentes se acumulan grandes espesores de sedimentos. La nueva corteza oceánica adquiere franjas de anomalías magnéticas con alterante polaridad.

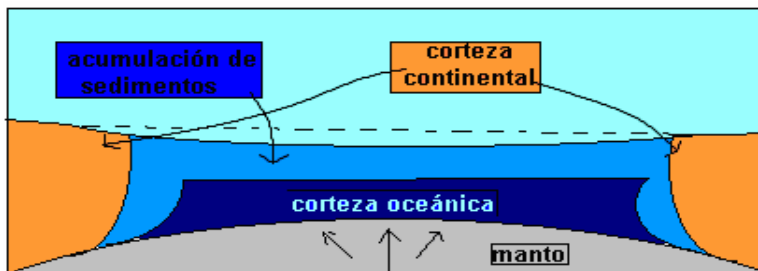


Fig. 2.16 El Atlántico hace 120 millones de años

Los océanos se hicieron más profundos (Fig. 2.17), surge considerable circulación oceánica que da a las vertientes continentales la forma contemporánea.

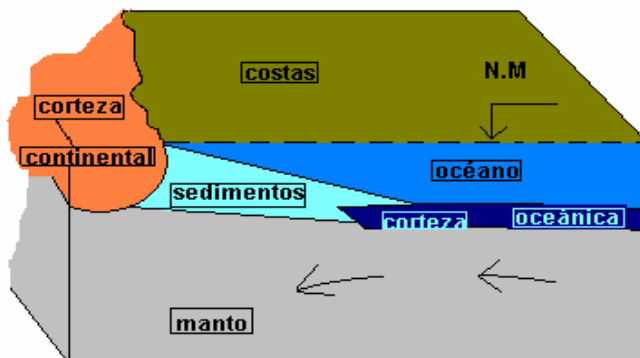


Fig. 2.17 El Atlántico durante los últimos 60 millones de años y hasta el día de hoy
 En las zonas de debilitamiento, en el límite del continente y el océano, las corrientes convectivas descienden (Fig. 2.18). Se acumulan sedimentos en las losas que después se convertirán en montañas.

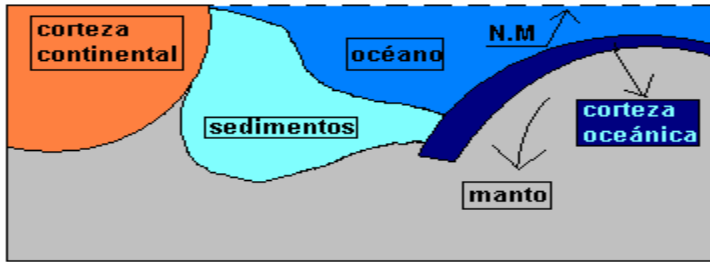


Fig. 2.18 Losa peruana, losa de Tonga, Indonesia

2.5 Análisis de la evolución tectónica y paleogeografía de la cuenca central, Cuba

Cuba está situada en el extremo nor-occidental del Mar Caribe, justo a la entrada del Golfo de México, formando parte de las Antillas Mayores (Fig.2.19). El archipiélago cubano es de origen volcánico, aunque actualmente constituye un cinturón plegado aprisionado al margen meridional de la Placa Norteamericana. Las características geológicas del territorio cubano son el resultado de una historia muy compleja, representada por una serie de secuencias y estructuras relacionadas estrechamente a la evolución del Caribe Occidental.

Marco Geotectónico

El Caribe es actualmente una de las regiones de mayor interés para la comunidad científica de las geociencias. Presenta una gran diversidad geológica relacionada a una complicada evolución.

La placa del Caribe se mueve hacia el este con respecto a las placas Norteamericana y Suramericana, con una velocidad de 1 a 2 cm/año. Como se muestra en la figura 2.19, la Placa del Caribe limita a lo largo de la mayor parte de su perímetro con las placas Norteamericana y Suramericana. El límite noroeste del Caribe es el mejor definido, localizado a lo largo de las fallas transformantes Polochic-Motagua, Oriente y Swan que presentan un movimiento transcurrente. Hacia el oeste el límite presenta una relación convergente con dos placas de la cuenca del Pacífico, la Placa de Cocos en América Central y la Placa de Nazca en el istmo de Panamá. El movimiento hacia el este de las placas de Cocos y Nazca con respecto a la del Caribe, genera la subducción de aquellas a lo largo de América Central. Las discrepancias mayores sobre el límite occidental de la Placa

del Caribe se circunscriben al límite Caribe-Nazca en la Zona de Panamá, el cual es muy difuso y podría ser de tipo transformante. Entre la Placa Caribe y la Placa de América del Sur el límite está representado por una amplia zona de deformación y una distribución difusa de la sismicidad. En esta zona se encuentran varias fallas de desgarre que han sido propuestas como marcadores del límite de placas. Sin embargo, dada la complejidad tectónica de la zona, se ha sugerido la posible existencia de una micro placa entre el Caribe y América del Sur para explicar las estructuras presentes. El límite oriental de la Placa del Caribe presenta una relación convergente con la litosfera oceánica del Atlántico, marcada claramente por el arco de islas volcánicas de las Antillas Menores que se genera como resultado de la subducción de la corteza atlántica bajo la del Caribe. Por último, la definición del límite noreste de la Placa del Caribe es polémica. Sugiriéndose, a partir de datos de sísmica de reflexión y sismicidad, que la Placa Norteamericana subduce a la del Caribe; mientras que otros autores han argumentado que la zona sur de Puerto Rico es subducida por la litosfera de la cuenca de Venezuela.

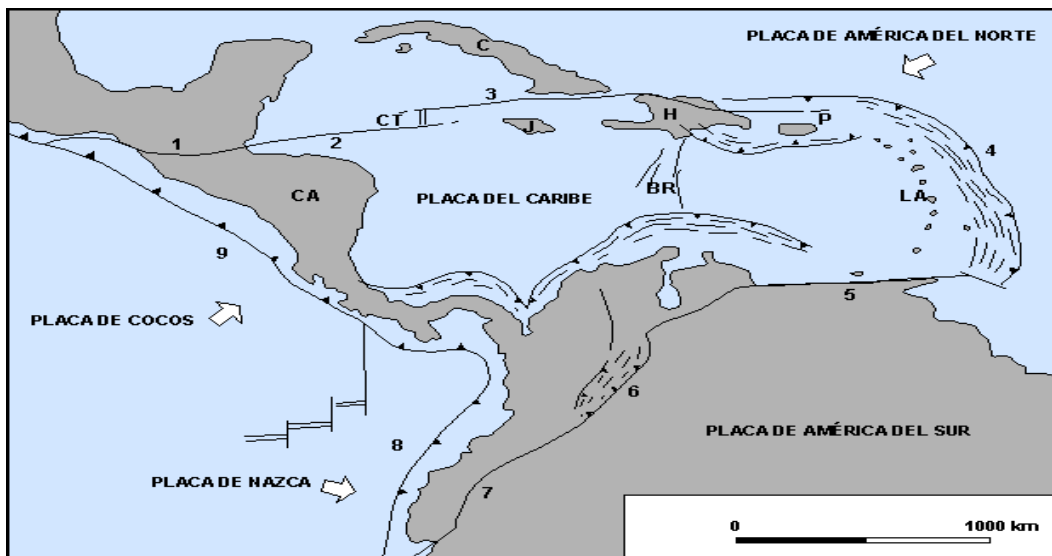


Figura 2.19 Mapa esquemático de la región del Caribe, mostrando la posición relativa de las placas. Las abreviaturas son: C, Cuba; J, Jamaica; P, Puerto Rico; H, La Española; LA, Antillas Menores; CA, Centroamérica; CT, Fosa Caimán; BR, Cresta de Beata; 1, zona de fallas Polochic-Motagua; 2, falla transformante Swan; 3, falla transformante Oriente; 4, zona de subducción de las Antillas Menores; 5,

zona de fallas El Pilar; 6, Cordillera Oriental de Colombia; 7, zona de fallas Dolores-Guayaquil; 8, zona de subducción de Colombia; 9, zona de subducción de América Central.

Los modelos propuestos para explicar el origen y evolución de la placa caribeña aceptan su migración relativa hacia el este, respecto a las placas Norteamericana y Sudamericana. La mayor polémica se centra en el origen de la litosfera oceánica que hoy conforma la Placa del Caribe, pues este aspecto es explicado bajo puntos de vista diferentes.

Un grupo de investigadores defiende la idea del "Caribe Autóctono", que plantea la generación de la litosfera oceánica del Caribe entre las placas Norteamericana y Suramericana luego de la ruptura de Pangea.

Estos modelos "Autóctonos" asumen un origen atlántico para la Placa del Caribe, por lo que pueden caracterizarse como estáticos, pues la cinemática de las placas adyacentes (Norteamericana, Suramericana y Farallón) controlaría sus márgenes. Los límites septentrional y meridional tendrían componente en dirección, mientras que hacia el oriente y occidente serían como los actuales, zonas de subducción donde se consumirían litosferas oceánicas del Atlántico y del Pacífico respectivamente.

Del otro lado se encuentran los autores defensores del "Caribe Alóctono", que proponen un origen pacífico de la litosfera del Caribe. Según este grupo de modelos, la divergencia mesozoica entre Norteamérica y Sudamérica creó una cuenca oceánica interamericana, el Protocaribe (de origen atlántico), actualmente desaparecida por subducción bajo la placa del Caribe, cuyo origen Jurásico se situaría en el Pacífico (Placa Farallón). La continua desaparición del Protocaribe por subducción y divergencia entre Norteamérica y Sudamérica durante el Mesozoico, permitiría la deriva de la placa del Caribe hacia el este, a medida que la placa Norteamericana derivaba hacia el noroeste y la Sudamericana hacia el oeste-noroeste. En su deriva hacia el este, la Placa del Caribe se llegaría a colocar entre las dos placas mayores, siendo el movimiento relativo en dirección en su margen septentrional (Guatemala-Antillas Mayores) y dextro en su margen meridional (Colombia-Venezuela-Antillas Holandesas). Este segundo grupo de

modelos es el más aceptado actualmente, aunque debe indicarse que se han propuesto bastantes variantes del mismo con contrastadas geometrías y evoluciones de los límites de placa.

Los modelos que proponen el origen pacífico de la Placa del Caribe, desde la década de los 80 e inicio de los 90 fueron extensamente aceptados, con el predominio de algunos que hoy en día ya pueden considerarse como clásicos. Durante la segunda mitad de los 90, se realizaron algunos trabajos que evidenciaron incompatibilidad de los modelos existentes con la constitución geológica de Cuba y un número importante de investigaciones que contribuyen a aumentar el grado de conocimiento geológico de Cuba y de la región del Caribe, relacionados con el desarrollo de la apertura del Protocaribe y las secuencias relacionadas, un grupo que profundiza en la evolución de las distintas generaciones de arcos volcánicos y el magmatismo asociado y otros que aportan criterios de peso para comprender y explicar los procesos de colisión ocurridos. Como resultado de estos avances se logró la creación de modelos bastante completos (Iturralde-Vinent, 1998; Kerr et al., 1999), que han resuelto una buena parte de las contradicciones antes referidas y han logrado integrar las particularidades geológicas de Cuba en los modelos evolutivos del Caribe.

Uno de los mayores problemas, que hasta la fecha no se ha logrado esclarecer del todo, está referido a los eventos de colisión que han afectado sucesivamente la región caribeña. Se propone un modelo evolutivo que considera el desarrollo de un proceso de colisión secuencial (figura 2.2), entre la Placa del Caribe y los márgenes de Yucatán, Norteamérica y Sudamérica. Tales eventos posiblemente se relacionan a escala regional, con la compresión que ha sufrido la Placa del Caribe en su deriva hacia el este entre las placas Norteamericana y Sudamericana, estando además afectados desde el Oligoceno por el proceso de transcurrancia del Caribe Noroccidental.

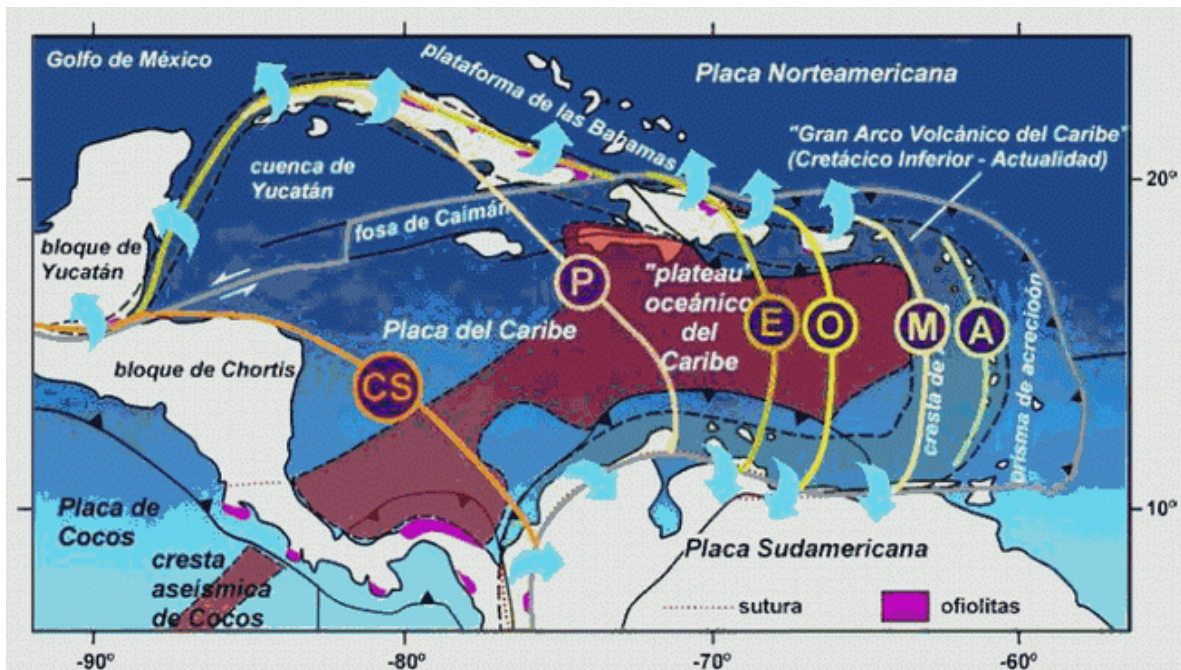


Figura 2.2: Proceso de colisión secuencial entre la Placa del Caribe y los márgenes de Yucatán, Norteamérica y Sudamérica. Las abreviaturas son: CS, Cretácico Superior; P, Paleoceno; E, Eoceno; O, Oligoceno; M, Mioceno; A, Actualidad.

Particularmente las investigaciones realizadas en el territorio cubano, aportan evidencias que confirman la ocurrencia de eventos de colisión entre el Cretácico Superior Campaniense-Maestrichtiense (quizás antes) y el Eoceno Superior. Todo parece indicar que es factible diferenciar dos eventos colisionales diferentes y con cierta continuidad temporal; el primero se relaciona con la posible colisión de los terrenos de la Isla de la Juventud, Escambray y las secuencias enterradas al sur de la provincia de Camagüey, con el Arco Volcánico Albiense-Campaniense; y el segundo, se asocia al proceso de colisión y acreción del Cinturón Plegado Cubano sobre el margen meridional pasivo de la Placa Norteamericana. Sin embargo, a pesar de las evidencias conocidas, aún no existe un esquema que permita explicar la evolución y características de los eventos colisionales, que dieron lugar a la formación del Cinturón Plegado Cubano. Las principales contradicciones de los modelos que actualmente se manejan son las siguientes:

- No se ha logrado proponer un esquema geotectónico, que justifique de manera convincente el mecanismo de emplazamiento y la actual posición que

ocupan los terrenos de la Isla de la Juventud y Escambray, partiendo de la correlación de los mismos con el bloque Yucatán. Estudios del metamorfismo de la Isla de la Juventud indican el desarrollo de una secuencia colisional, caracterizada por una fase de metamorfismo de alta presión seguida de calentamiento hasta alcanzar el pico térmico (colisión madura, 72Ma), y luego otra fase de rápida descompresión, con desarrollo de la foliación principal seguido de rápido enfriamiento isobárico (colapso extensional, 68Ma). Este análisis indica que las secuencias pertenecientes a Pinos (y al Escambray?) entraron, desde el sur, en la zona de subducción del Arco Volcánico Albiense-Campaniense induciendo su colapso, el cual además posiblemente tuvo relación con la apertura de la Cuenca de Yucatán. Por otra parte, el hecho de que el grado de metamorfismo del terreno de Guaniguanico sea diferente al de Pinos y Escambray indica que su evolución metamórfica y mecanismo de emplazamiento fue muy diferente. Estos aspectos sugieren que la correlación de los terrenos de la Isla de la Juventud y Escambray con el bloque Yucatán, pueda ser cuestionable.

- Aún existen lagunas a la hora de explicar el papel que juega la Cuenca de Yucatán en la evolución geotectónica del Caribe Occidental y su relación con los eventos de colisión registrados en Cuba. El inicio de la apertura de la Cuenca de Yucatán se estima a finales del Cretácico y posiblemente tenga relación con el colapso extensional del Arco Volcánico Albiense-Campaniense, registrado a partir de la evolución P-T-t de filitas, esquistos y gneisses de las distintas zonas metamórficas del terreno de la Isla de la Juventud. La Cuenca de Yucatán puede haber constituido la zona de generación del movimiento que provocó la colisión y acreción del Cinturón Plegado Cubano sobre el margen meridional de la Placa Norteamericana.

Es necesario profundizar en las implicaciones que tuvo el surgimiento del límite transformante del Caribe Noroccidental (Polochic-Motagua, Swan-Oriente y Fosa Caimán), para la evolución del Cinturón Plegado Cubano. El registro estratigráfico existente en Cuba a partir del Eoceno Superior, es representativo de un período de desarrollo platafórmico; esta relativa tranquilidad tectónica puede tener relación

con un cambio regional de los esfuerzos y del movimiento, provocado por el comienzo de la actividad transformante en el Caribe Noroccidental.

Modelo de la Constitución Geológica de Cuba

En la complicada evolución geológica de la región caribeña, la Isla de Cuba es uno de los mayores retos al conocimiento. El territorio cubano, tanto por su extensión territorial como por el conjunto geológico que presenta, es una pieza clave para el correcto entendimiento de la Geología y evolución del Caribe. Como se muestra en la figura 2.21, en la constitución geológica de Cuba se reconocen dos niveles estructurales: el Substrato Plegado (Cinturón Plegado Cubano) y el Neoautóctono (Neoplateforma).

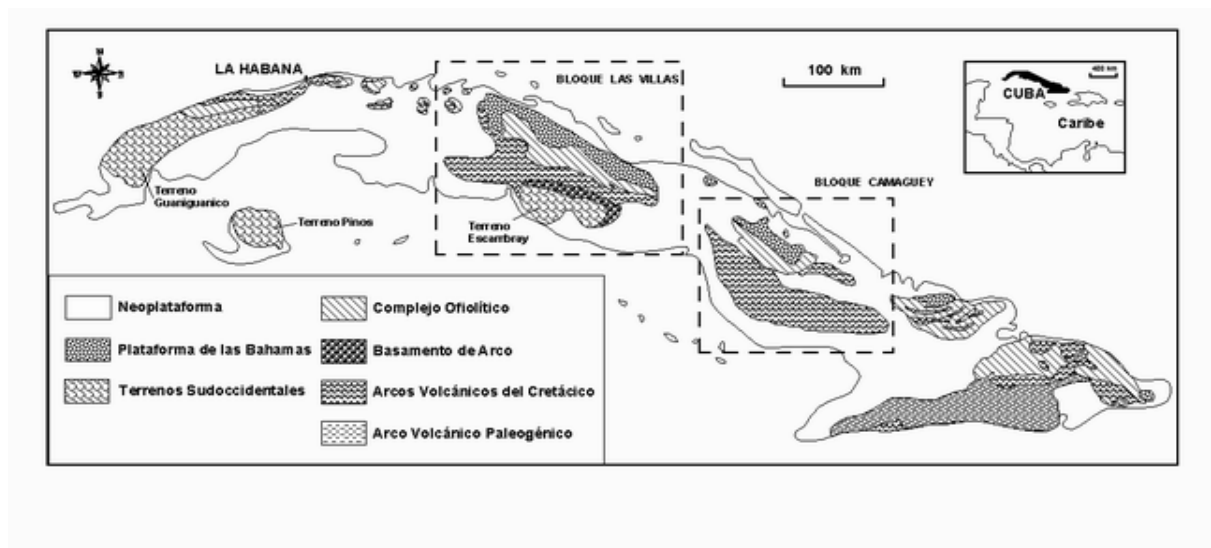


Figura 2.21 Mapa esquemático del territorio cubano, que representa el modelo de su constitución geológica.

El Cinturón Plegado Cubano

El Cinturón Plegado Cubano típicamente se interpreta yaciendo en posición alóctona sobre el margen meridional de la Placa Norteamericana. Las dos principales concepciones que se han desarrollado para interpretar su estructura interna, en general mantienen el carácter alóctono del mismo sobre el margen norteamericano, sin embargo difieren en algunos aspectos.

Un grupo de autores plantean que tanto las ofiolitas como las rocas volcánicas existentes en Cuba, yacen en posición alóctona sobre el margen meridional norteamericano y que los terrenos de Placetas, Asunción, Guaniguanico, Pinos y

Escambray son la continuación de Las Bahamas hacia el sur y, por lo tanto, ventanas tectónicas donde aflora el basamento del territorio cubano. A partir de esta concepción, se desarrollan muchos de los modelos evolutivos del Caribe que ubican la zona de subducción de los arcos cretácicos al norte de Cuba, es por eso que en dichos modelos generalmente se evade la existencia de los terrenos Guaniguanico, la Isla de la Juventud y Escambray, ante la imposibilidad de explicar las características metamórficas y el mecanismo de emplazamiento de estos elementos.

La segunda concepción, que actualmente es la más aceptada por los geólogos cubanos, también parte del criterio clásico de interpretar el Cinturón Plegado Cubano acrecionado sobre el margen de Norteamérica, con la diferencia de que asume la existencia de terrenos alóctonos e importantes mantos de sobrecorrimiento. Según este modelo en el Cinturón Plegado Cubano existen una serie de elementos de diverso origen y representativos de los eventos relacionados con la evolución del Caribe Occidental. Los mismos agrupan como unidades de naturaleza continental y unidades de naturaleza oceánica, considerando incluidas en el primer grupo las secuencias pertenecientes al margen norteamericano y una serie de terrenos alóctonos que definió en su conjunto como Terrenos Sudoccidentales (Guaniguanico, la Isla de la Juventud y Escambray); como unidades oceánicas define a las secuencias pertenecientes al complejo ofiolítico (ofiolitas septentrionales) y las representativas de la actividad volcánica del Cretácico y del Paleógeno respectivamente.

El Cinturón Plegado Cubano tiene su origen vinculado a los procesos de convergencia que se desarrollaron en el Caribe desde comienzos del Cretácico. Hasta el Cretácico Superior se desarrolló de conjunto con el Cinturón Plegado de las Antillas Mayores, cuando posiblemente comenzó el proceso de colisión entre las secuencias pertenecientes a los terrenos de la Isla de la Juventud y Escambray? con el Arco Volcánico Albiense-Campaniense, que iniciaron la extinción de la actividad volcánica. A partir de la apertura de la Cuenca de Yucatán la evolución del Cinturón Plegado Cubano fue diferente a la del resto de las grandes antillas (incluyendo Cuba Oriental). En las secuencias representativas de

este período en Cuba, se registra una fuerte actividad de sobrecorrimento y el desarrollo de un sistema de cuencas superpuestas, mientras que en el resto de las grandes antillas continuó el vulcanismo hasta el Eoceno Medio-Superior. La separación del Cinturón Plegado Cubano de la Placa del Caribe, estuvo asociada al desarrollo del límite transformante Swan-Cayman-Oriente y su actividad se estima iniciada entre el Eoceno Medio y el Eoceno Superior y concluida en el Mioceno.

2.6 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 realizado 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.

La acción de los esfuerzos tectónicos sobre las rocas provoca deformaciones en las mismas (Fig.2.22), que conducen a dislocaciones. Ellas se dividen en dislocaciones cohesivas (o plicativas) y dislocaciones de fractura (o disyuntivas).

Las rocas de modo general, son cuerpos sólidos más o menos elásticos, constituido por cristales unidos con mayor o menor grado de coherencia. Por lo tanto, al estudiar las deformaciones que experimentan las rocas, es preciso examinar el proceso de deformación de los cuerpos sólidos en general.

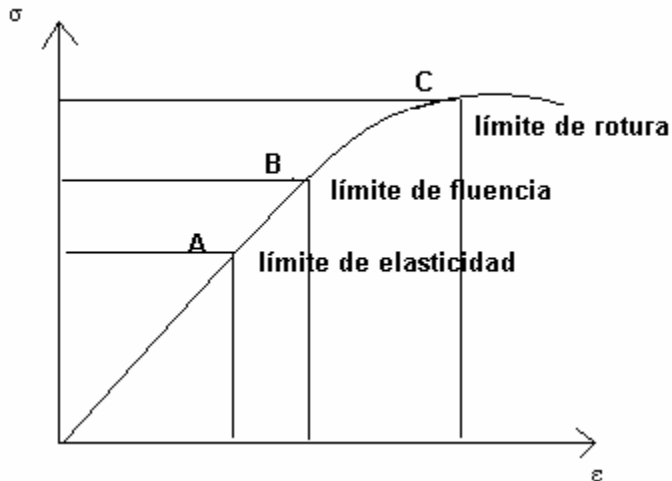


Fig. 2.22 Diagrama tensión deformación

Dado que las deformaciones son de tres tipos: elásticos (el cuerpo recupera su forma y cumplen con la ley de Hooke), plásticos (el cuerpo no recupera su forma) y de rotura (deformación irreversible).

Las deformaciones elásticas no se manifiestan en las rocas de un modo tan patente como las residuales; no obstante, en ellas tienen su origen una serie de fenómenos geológicos, como los terremotos, la extensión ondulatoria del cuarzo, etc.

Las deformaciones plásticas son muy comunes en diferentes tipos de rocas, como la halita, las rocas arcillosas, etc.

Por su parte, las deformaciones de rotura son las que mejor pueden ser observadas, aunque la deformación haya ocurrido hace mucho tiempo, por ejemplo en fallas, diaclasas, etc.

2.7 Plegamientos, clasificación. Su importancia

Los pliegues son inflexiones o dislocaciones (ondulaciones) más o menos bruscas, que forman las capas sedimentarias al ser modificadas en su posición natural (la horizontal) por los agentes orogénicos.

Estos agentes o fuerzas generan deformaciones plásticas y continuas tridimensionales, y por esta razón también se le llaman cuerpos geológicos. Los pliegues suelen ser más habituales en rocas sedimentarias plásticas, como las volcánicas, y también metamórficas.

Partes de un pliegue

Los pliegues constan de varias partes (Fig. 2.23) las cuales se muestran a continuación:

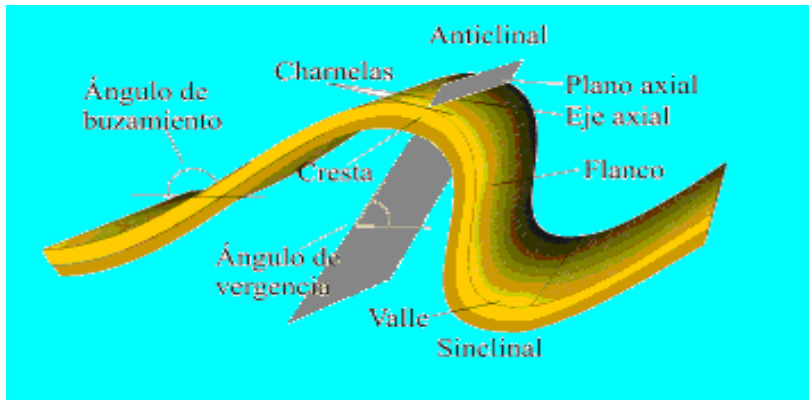


Fig. 2.23 Partes de un pliegue

- Charnela: La charnela es la línea que une los puntos de máxima o mínima altura en cada capa, es decir, de máxima curvatura del pliegue, donde los estratos cambian el buzamiento. Un pliegue puede tener más de una charnela o ninguna, ejemplo de este último caso se presenta cuando el pliegue es un semicírculo.
- Plano axial: El plano axial es aquel que une las charnelas de todas las capas de un pliegue, es decir, el que divide al pliegue tan simétricamente como sea posible.
- Eje axial: El eje axial es la línea que forma la intersección del plano axial con la charnela.
- Flanco: Los flancos son los planos inclinados que forman las capas, o sea los laterales del pliegue situados a uno y otro lado de la charnela. Se dice que un pliegue es simétrico cuando posee los flancos iguales e igualmente inclinados; y asimétricos cuando tiene sus planos desiguales.
- Cresta: La cresta es la línea que une los puntos más altos de un pliegue.
- Valle: El valle es la línea que une los puntos más bajos de un pliegue.
- Núcleo: El núcleo es la parte más interna de un pliegue.

- Dirección: La dirección es el ángulo que la línea de intersección del estrato forma con el plano horizontal, tomado con respecto al polo Norte magnético.
- Buzamiento: El buzamiento (o inclinación) es el ángulo que forma el plano del estrato con la horizontal.
- Ángulo de vergencia: El ángulo de vergencia es aquel que forma el plano axial con la horizontal. Indica el sentido en que se inclina el plano axial.

Forma de los pliegues

➤ Anticlinales

Son aquellos en el cual los estratos más modernos envuelven a los más antiguos (es opuesto a sinclinal). Presentan la parte convexa hacia arriba, con aspecto de bóveda. Los flancos se inclinan en sentido divergente. Los estratos más antiguos se sitúan en el núcleo (Fig. 2.24).

➤ Sinclinales

Son aquellos en el cual los estratos más antiguos envuelven a los más modernos. Sus flancos forman una U característica. Tienen la convexidad hacia abajo (hacia el interior de la tierra), con forma de cuenca o cubeta. Los flancos se inclinan en sentido convergente. Los estratos más jóvenes se sitúan en el núcleo (Fig. 2.24).

➤ Antiforma y sinforma

Cuando se desconoce la edad de los estratos que forman los pliegues, se denomina antiforma al pliegue convexo hacia arriba; y sinforma al pliegue convexo hacia abajo.

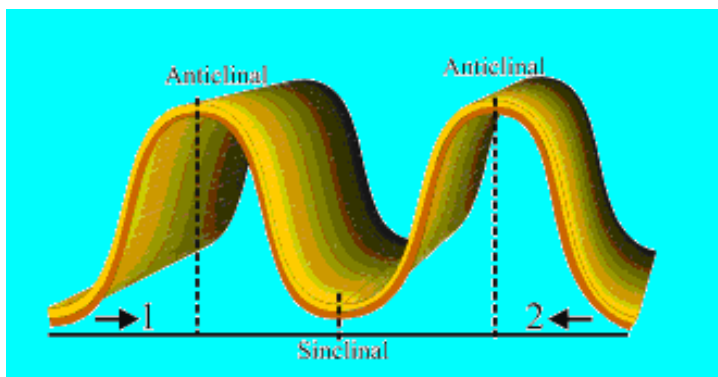


Fig. 2.24 Pliegues rectos y simétricos. Anticlinales (las crestas) y Sinclinal (el valle)

Tipos de pliegues

➤ Rectos

Son pliegues rectos cuando el plano axial es vertical, es decir, cuando forma un ángulo de 90° con la horizontal. Se forman pliegues simétricos por efecto de dos fuerzas iguales y opuestas.

➤ Inclinaos

Son pliegues inclinados cuando el ángulo formado por el plano axial con la horizontal es mayor de 45° (Fig. 2.24).

➤ Tumbados

Son pliegues tumbados cuando uno de los flancos se apoya sobre la parte superior del siguiente pliegue. El ángulo formado por el plano axial con la horizontal es menor de 45° (Fig. 2.24).

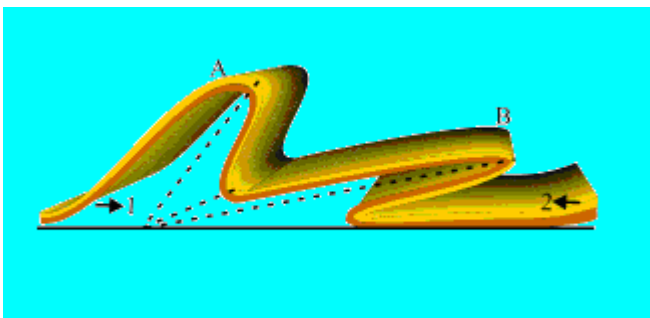


Fig. 2.24 Por efecto de las fuerzas 1 y 2, se forman pliegues asimétricos, A: inclinado y B: tumbado

➤ Acostados o recumbentes

Son pliegues acostados o recumbentes cuando el plano axial y los flancos son horizontales.

➤ En abanico

Son pliegues en abanico cuando poseen dos planos axiales cuyas inclinaciones se oponen.

➤ De perfil transversal normal

Los pliegues de perfil transversal normal son aquellos en que los flancos se separan desde la charnela.

➤ Isoclinales

Se denominan isoclinales cuando los pliegues son igualmente inclinados y en la misma dirección, es decir, los flancos del pliegue son paralelos.

- Monoclinales o pliegue en rodilla

Son aquellos pliegues cuyas capas presentan el mismo buzamiento y dirección, es decir, cuando tienen un solo flanco.

- En acordeón

Se denominan así a los pliegues cuya charnela es angular.

- En cofre y artesa

Son los pliegues cuya charnela es recta y forma ángulos aproximados de 90°.

- Disarmónicos

Son aquellos pliegues cuyas capas poseen distinta plasticidad, dando lugar a comportamientos diferentes y estructuras complejas.

- De arrastre

Son aquellos pliegues cuyas capas de mayor plasticidad se pliegan de forma independiente a las demás, dando lugar a pliegues más pequeños.

- Diapíricos

Son pliegues cuyas columnas de rocas plásticas, como las evaporitas, parten del sustrato profundo y por su movilidad rompen y atraviesan las capas suprayacentes, ascendiendo en forma de intrusión y alcanzando o no la superficie.

Se origina por el proceso denominado halocinesis.

- De falla

Se denominan así cuando además del pliegue se produce una rotura en las capas, con desplazamiento de las partes.

Tectónica salina

La sal es más ligera que los elementos terrígenos, por esta razón, la sal, obligada por la presión de las pilas suprayacentes, tiende a elevarse siguiendo los caminos de menor resistencia. Estos caminos son las zonas de menor presión petrotática y menor dureza de las rocas.

La velocidad de crecimiento de los domos salinos es inferior a un centímetro por año, en muchos casos los domos salinos continúan creciendo en la actualidad.

La forma de los domos es muy variada lo que se debe a sus propiedades físicas, condicionadas estas fundamentalmente por la litología. Su estructura interior presenta gran complejidad, dado fundamentalmente por su plasticidad excepcional; la sal es un mineral susceptible de deformarse en pliegues que adoptan la configuración más complicada y caprichosa por así decirlo.

Importancia práctica de los pliegues

Con las dislocaciones plicativas se encuentra relacionada la génesis de yacimientos minerales de gran interés. El más notable de los yacimientos es sin duda alguna, el petróleo. Los pliegues ya sean anticlinales o sinclinales, actúan como trampas, estructuras que permiten la acumulación del petróleo en grandes cantidades.

Desde el punto de vista de la ingeniería civil, el estudio de los pliegues tiene gran importancia, pues los mismos pueden acarrear grandes trastornos.

Este problema se torna mayor en algunas obras específicas, túneles, canales, etc. Un ejemplo muy claro de lo antes expuesto es el canal de Panamá en el cual se lleva a cabo un gran proyecto que permitirá erradicar los problemas existentes con las rocas que forman los francos de los pliegues las cuales suelen desplazarse hacia el interior del canal e interrumpir la circulación en algunos tramos.

2.8 Las fallas, elementos geométricos

Las fallas constituyen elementos estructurales de la corteza terrestre, y las mismas pueden tener formas y dimensiones muy diferentes. Pero en todas ellas pueden apreciarse elementos geométricos, que permiten establecer diferencias entre las mismas.

Las fallas (Fig. 2.25), son fracturas o dislocaciones que se producen en las rocas de la corteza terrestre, donde existe desplazamiento de los bloques resultantes de la fracturación. Este movimiento puede producirse en cualquier dirección, sea vertical, horizontal o una combinación de ambas.



Fig. 2.25 Desplazamiento de los bloques de la falla de San Andrés

Elementos de una falla

Los elementos de una falla son: el plano de falla, labios de falla, el salto de falla y el rechazo.

El plano de falla es la superficie de ruptura y desplazamiento, es decir, la superficie sobre la que se ha producido el movimiento, sea horizontal, vertical u oblicuo. Si las fracturas son frágiles (competentes), por efecto de la abrasión presentan unas superficies lisas y pulidas denominadas espejo de falla, que ocasionalmente muestran estrías indicativas de la dirección hacia donde se produjo el desplazamiento de los bloques. Durante el desplazamiento de las rocas fracturadas se pueden desprender fragmentos de diferentes tamaños; cuando han sufrido un intenso metamorfismo y fragmentación de sus minerales (restos de rocas muy triturados) se denominan milonitas; si los fragmentos son mayores reciben el nombre de brechas de falla.

Los labios de falla son los dos bordes o bloques que se han desplazado.

El bloque colgante (o superior) es el que se encuentra ubicado por encima del plano de falla. Es muy importante conocer que en esto no influye nada el relieve topográfico, es decir, que el bloque superior puede aparecer en un nivel más alto o más bajo que el otro. El bloque yacente (o inferior) es el que se encuentra ubicado por debajo del plano de falla. Como se nota, la división de los bloques en colgante y yacente, está realizada tomando como referencia el plano de falla (Fig. 2.26), el bloque colgante es el de la izquierda y el yacente el de la derecha.

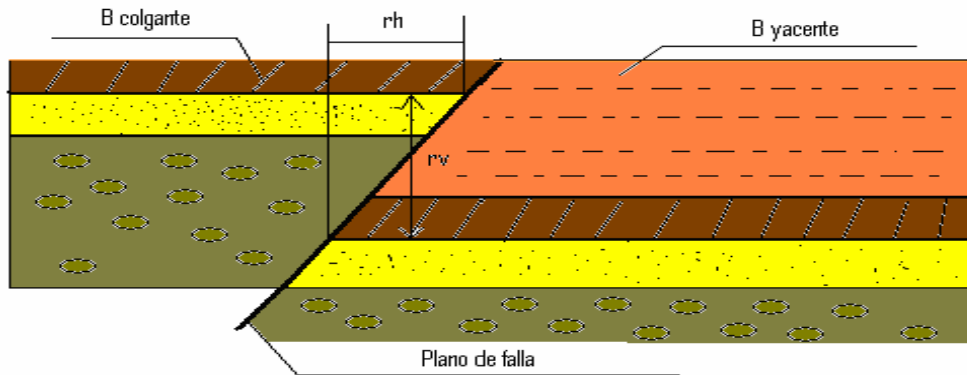


Fig. 2.26 Elementos geométricos de la falla

El salto de falla es el espacio o distancia vertical existente entre dos estratos que originalmente formaban una unidad, medida entre los bordes del bloque elevado y el hundido. Esta distancia puede ser de tan sólo unos pocos milímetros (cuando se produce la ruptura), hasta varios kilómetros; éste último caso suele ser resultado de un largo proceso geológico en el tiempo.

La amplitud es el valor del desplazamiento relativo de los bloques, medido sobre el plano de falla. Para medir la amplitud debe tomarse como referencia el piso o el techo de un estrato que no halla sido afectado por la erosión. En nuestro ejemplo, la amplitud puede medirse tomando como referencia el techo del estrato de arenisca.

En las fallas se distingue el rechazo horizontal y el rechazo vertical. El primero de ellos es la magnitud del desplazamiento medido horizontalmente.

El espejo de falla no se trata exactamente de un elemento geométrico, sino de una característica frecuente de las rocas que forman el plano de falla. El desplazamiento de los bloques de la falla hace que las rocas experimenten una cierta pulimentación o estriamiento que se denominan “espejos de fallas”.

La posición de las fallas en la corteza terrestre, puede determinarse de modo muy similar a la posición de los estratos, es decir, midiendo el azimuth o el rumbo del plano de fallas al salir a la superficie y el ángulo del plano de falla con respecto a la horizontal. En una falla estos elementos pueden variar de un lugar a otro, por lo que debe medirse en varios puntos.

De lo expuesto puede inferirse, que de la simple observación de la posición de los labios de una falla, no se puede conocer la forma del desplazamiento.

El desnivel provocado por la falla en la superficie del terreno, llamado escarpe de falla, puede atenuarse o borrarse por efecto de la erosión. Además, la falla puede quedar sepultada por sedimentos más jóvenes o simplemente por el suelo.

2.8.1 Clasificación de las fallas

Las fallas pueden ser:

- Normales o gravitacionales (Fig. 2.27)

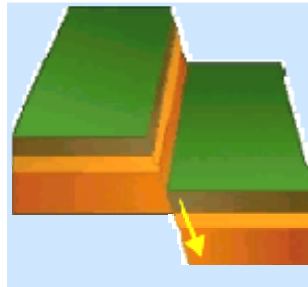


Fig. 2.27 Falla normal

Son fallas que se producen por distensión. El resultado es un estiramiento o alargamiento de los materiales, al desplazarse el labio hundido por efecto de la fuerza de la gravedad (buzamiento del plano de falla hacia el labio hundido).

- Inversas (Fig. 2.28)

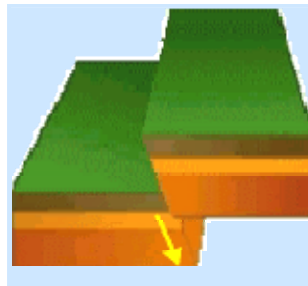


Fig. 2.28 Falla inversa

Son fallas que se producen por compresión (efecto contrario al de una falla normal). El resultado es un acortamiento de los materiales por buzamiento del plano de falla hacia el labio elevado. Puede ocurrir que el plano de falla sea muy

inclinado, en cuyo caso se originaría un cabalgamiento, es decir, que los estratos más antiguos solaparían a los más modernos (quedarían por encima).

- De dirección o desgarre (Fig. 2.29)

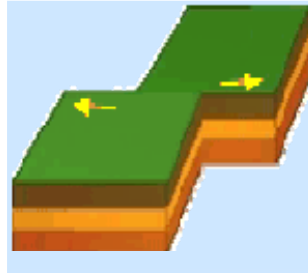


Fig. 2.29 Falla de desgarre

Las fallas rectas o de dirección, también llamadas de desgarre o cizalla, son las que tienen lugar por efecto de un desplazamiento horizontal. Ejemplo especial de este tipo de fallas son aquellas transformadoras que desplazan a las dorsales oceánicas.

- De tijera o rotación (Fig. 2.30)

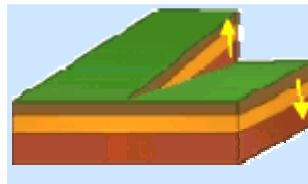


Fig. 2.30 Falla de tijera

Las fallas de tijera o de rotación se forman por efecto del basculado de los bloques sobre el plano de falla (un bloque presenta movimiento de rotación con respecto al otro). Mientras que una parte del plano de falla aparenta una falla normal, en la otra parece una falla inversa.

Las fallas, a su vez, pueden presentar formaciones en:

- Macizos tectónicos u horst (Fig. 2.31)

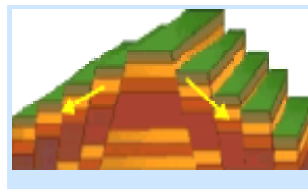


Fig. 2.31 Horst

Los macizos tectónicos u horst, son bloques elevados limitados por declives o escarpes de fallas (masas hundidas).

- Fosas tectónicas, de hundimiento, graven o rift (Fig. 2.32)



Fig. 2.32 Rift

En una fosa tectónica o rift, los bloques se encuentran hundidos en una disposición progresiva.

2.8.2 Algunas estructuras regionales

Las estructuras regionales se consideran estructuras mixtas, formadas a partir de la combinación de pliegues y fallas.

➤ Escamas tectónicas

Las escamas tectónicas no son más que pliegues en los cuales predominan las fracturas. Se denominan así por su semejanza con la disposición de las escamas de los peces.

➤ Mantos de corrimiento o sobrecorrimientos

Los mantos de corrimiento son pliegues-falla (pliegues tumbados), en los cuales se producen cabalgamientos cuyo desplazamiento alcanza varios kilómetros de longitud. En este tipo de pliegues, los materiales que se desplazan (los superiores) se alejan de su origen, por eso se le llaman alóctonos; los que permanecen en su posición original (los inferiores) se denominan autóctonos.

Cuando los materiales alóctonos son erosionados, su ruptura pueden provocar que afloren los autóctonos, esta manifestación recibe el nombre de ventana tectónica. Así mismo, los materiales alóctonos podrían quedar aislados sobre los autóctonos por efecto de la erosión del manto de corrimiento, en lo que se denomina klippe.

En Cuba existen sobreempujes a todo lo largo de la costa norte, y las serpentinitas que se hallan en esta región fueron sobrecorridas en distancias de hasta 40Km.

2.9 Reconocimiento de las fallas en el campo

La determinación de la presencia de fallas en la corteza terrestre no es un trabajo sencillo, como pudiera pensarse. Solamente algunas fallas que afloran en la

superficie se manifiestan de un modo evidente. El plano de fallas se encuentra generalmente cubierto por el suelo y son pocos los casos donde puede verse una de las superficies del plano de fallas. Es decir, que descubrir la presencia de fallas en el campo no es tarea fácil, por esa razón, exponemos a continuación algunos criterios generales, que pueden ayudar en gran medida a la determinación de las mismas.

- Presencia de rocas cataclásticas.

Como ya conocemos, las rocas cataclásticas se originan precisamente por el efecto de trituración que provoca desplazamiento de los bloques en la falla, por lo que en esa zona deben existir tales tipos de rocas. Es decir, que si en una zona determinada encontramos rocas como las brechas tectónicas, las cataclasíticas, las milonitas, podemos suponer la presencia de una falla.

- Contraste brusco en la edad de las rocas en un contacto.

Esto se debe a que el desplazamiento de los bloques puede poner en contacto rocas de edad contrastante. Es importante no confundir este fenómeno con una discordancia.

- Cambio brusco de los elementos de yacencia de los estratos a ambos lados de un contacto. Este criterio tiene poco peso, pero resulta un indicio más.
- Presencia de espejos de falla.

Como ya conocemos, este fenómeno es provocado por la fricción de los bloques al ocurrir el desplazamiento.

- Presencia de manantiales alineados según una dirección.

Esto se debe a que la falla puede alterar la circulación del manto freático y permite que el mismo aflore a la superficie. Lógicamente, no siempre la causa de este fenómeno es la presencia de fallas.

- Existencia de un escape de falla.
- Presencia de tramos alineados en los ríos.

Cataratas, ríos encajonados, rápidos, etc. Estos fenómenos pueden deberse también a muchas otras causas, pero pueden emplearse como un índice inicial, para orientarnos en la búsqueda de otros más categóricos.

- Criterios geomorfológicos, fotogeológicos, geofísicos, etc.

Cuando se tiene alguno de estos indicios solamente, se declara entonces una “falla dudosa”, con carácter tentativo, hasta tanto se declare o no su presencia con la ayuda de otros criterios.

2.10 Las diaclasas

Cuando las deformaciones de las rocas rebasan los límites de plasticidad, es decir, cuando debido a la rigidez o fragilidad de las rocas y a un esfuerzo progresivo sobrepasan su límite de ruptura, el material cede y se producen fracturas.

Las diaclasas (Fig. 2.33) son las superficies de fractura, que dividen a las rocas en bloques. En ellas prácticamente no existe desplazamiento relativo, aunque pueden tener un cierto movimiento perpendicular a su superficie, dando lugar a las diaclasas abiertas.



Fig. 2. 33 Diaclasa

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.

Las diaclasas pueden clasificarse según su geometría, su exposición en la superficie, por su forma, así como por su origen.

Según su origen las diaclasas pueden ser tectónicas o atectónicas. Las atectónicas se forman en la superficie por procesos exógenos (movimientos gravitacionales, enfriamiento de masas ígneas, disecación, etc.) Un caso

excepcional de diaclasas no tectónicas, es la conocida como: “columnas de basalto” las cuales pueden apreciarse en la siguiente diapositiva.

Una clasificación de interés para el ingeniero es la que toma como base su posición en la superficie, pudiendo ser cubiertas, cerradas y abiertas, lo cual influye notablemente en el comportamiento mecánico de las rocas.

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.

Aparte de diaclasas tectónicas existen diaclasas de origen no-tectónico:

- a) Fisuras de enfriamiento: Tienen su origen durante el enfriamiento de una roca magmática (Materiales o rocas calientes que ocupan más espacio con la misma cantidad de materia fría).
- b) Grietas de desecación: Durante la desecación de un barro o lodo bajo condiciones atmosféricas hay una disminución del espacio ocupado y la superficie se rompe en polígonos.
- c) Fisuras de tensión gravitacional: Sobre estratos inclinados se puede observar bajo algunas condiciones un deslizamiento de las masas rocosas hacia abajo. Al comienzo de este fenómeno se abren grietas paralelas al talud.

2.11 Problemas ingenieriles asociados a las dislocaciones tectónicas

Sin ningún temor se puede expresar que la mayor importancia del estudio de una falla es la presencia de yacimientos minerales de interés económico.

Con fines ingenieriles el estudio de las fallas es de vital importancia, pudiéndose citar varios aspectos. Uno de los más relevantes es lo referido a la ubicación de las obras. Resulta especial su reconocimiento cuando se trata de fallas activas, pues como es lógico esto puede acarrear graves problemas incluso llegando a provocar el colapso de una obra.

Su estudio detallado en una zona dada permite trabajar con mayor seguridad, pues la ubicación de una obra o complejo industrial sobre una falla puede ocasionar:

- Asentamientos diferenciales provocados por diferente naturaleza de las rocas a ambos lados de la falla.
- Cimentaciones sobre milonitas.
- Derrumbes en obras subterráneas, especialmente en túneles, metros, canales.
- Rotura de tuberías, conexiones y otras instalaciones soterradas a causa de los asentamientos.

CAPÍTULO III

Geodinámica Interna y Externa

3.1 Geodinámica externa. Meteorización y erosión

Las fuerzas actuantes desde el interior y exterior de la Tierra equilibran la constitución del planeta. Ambas fuerzas son opuestas, pues la interna (dinámica interna) "construye" y transforma continuamente la corteza terrestre desde el centro de la Tierra, es decir, elevando o declinando el terreno y alterando los materiales física y químicamente (volcanes y manifestaciones sísmicas); mientras que la externa (dinámica externa) "destruye", actuando por medio de las fuerzas que tienen su origen en la radiación solar y por tanto en los cambios de temperatura, es decir, el viento, lluvia, hielos y glaciares, aguas continentales, mares y océanos, etc., los cuales proceden a la erosión o meteorización, desplazamiento y sedimentación de los materiales.

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

- Geodinámica externa
- Geodinámica interna

La geodinámica externa estudia la acción de los agentes atmosféricos externos: viento, aguas continentales, mares, océanos, hielos, glaciares y gravedad, sobre la capa superficial de la Tierra; fenómenos éstos que van originando una lenta destrucción y modelación del paisaje rocoso y del relieve, y en cuya actividad se desprenden materiales que una vez depositados forman las rocas sedimentarias. Igualmente, los efectos resultantes sobre las formas del relieve, evolución y proceso de modelado, es investigado por la geomorfología.

Como se ha dicho, la geodinámica externa es la responsable de esculpir el relieve de la superficie terrestre. Los agentes geológicos externos (atmósfera, viento, aguas, glaciares, etc.) son los que erosionan, desgastan y modelan las formas o masas rocosas iniciales levantadas por las fuerzas tectónicas del interior de la Tierra, y secuencialmente convierten en nuevas formas paisajísticas.

Los factores que influyen en el modelado de la superficie terrestre son tres: factores litológicos, factores tectónicos, y factores erosivos. Los factores litológicos (relativo a las rocas), tienen que ver con las características de las formaciones o masas rocosas, es decir, capacidad de ser alteradas, permeabilidad, grado de dureza, etc. Los factores tectónicos (relativo a la estructura de las rocas), determinan la disposición relativa de los estratos, así como el tipo de estructuras dominantes. Por su parte, los factores erosivos se relacionan en gran parte con las condiciones del clima, aunque dependiendo de la región de que se trate, y por tanto del tipo de relieve, existen determinados agentes erosivos que son más determinantes.

La geodinámica interna abarca 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).

Ambas fuerzas, interna y externa, al ser de valores opuestos tienden a neutralizarse mutuamente. Así, cuando se manifiestan las energías del interior de la corteza terrestre en forma de erupciones y movimientos sísmicos que culminan con la elevación del terreno, las energías externas proceden a la erosión de esas elevaciones, reduciendo el volumen y cubriendo o rellenando las depresiones.

Todos estos fenómenos de construcción y destrucción se mantienen continuamente en movimiento, así ha sido a través de los tiempos geológicos durante miles de millones de años, desarrollándose en un estado "vivo" sin llegar jamás a un equilibrio estable, y así se mantendrá mientras el Sol siga enviando energía a la Tierra.

Comenzaremos el estudio de la geodinámica externa, especialmente lo relacionado con la destrucción de la roca y la formación de los suelos.

Meteorización

La meteorización es la desintegración y descomposición de una roca en la superficie terrestre o próxima a ella como consecuencia de su exposición a los agentes atmosféricos, con la participación de agentes biológicos.

También puede definirse como la descomposición de la roca, en su lugar; sería un proceso estático por el cual la roca se rompe en pequeños fragmentos, se disuelve, se descompone, se forman nuevos minerales.

Pero como la meteorización está íntegramente relacionada con los minerales, esta posee ciertas características que la hacen más o menos resistente al proceso de meteorización o alteración.

Meteorización física o mecánica

Produce desintegración o ruptura en la roca, sin afectar a su composición química o mineralógica. En estos procesos, las rocas no cambian sus características químicas pero si las físicas. La causa es la adaptación a las condiciones ambientales (agua, calor, sal...). Los agentes que la provocan son:

➤ La descompresión

Es uno de los procesos más importantes de meteorización. Las rocas, al instalarse en la superficie, pierden la presión a la que estaban sometidas y tienden a dilatarse. A causa de esta dilatación comienzan a experimentar la formación de grietas con lo que se forman lasas horizontales.

➤ Termoclastia

Consiste en la fragmentación de la roca debido a los cambios de temperatura bruscos (Fig. 3.1). Las dilataciones y las contracciones producidas por los cambios de temperatura, producen tensiones en las rocas que terminan por romperla. Para que se produzca esta ruptura son necesarios cambios bruscos en períodos muy cortos de tiempo, como los que se dan en los desiertos áridos, pero también rocas, cuyo color y textura permitan una absorción y disminución de la radiación calorífica. Además, deben tener una composición mineralógica que permita diferencias de dilatación y contracción, para que las tensiones sean efectivas. Este mecanismo produce fenómenos de exfoliación y desagregación granular.

➤ Gelifracción

Consiste en la fragmentación de la roca debido a las tensiones que produce la congelación y descongelación del agua en los huecos que presenta la roca. El aumento de volumen aproximadamente en un 9% que produce el agua congelada sirve de cuña, lo que termina por romper la roca. Esto quiere decir, que para que

la gelifracción funcione es necesario que existan frecuentes ciclos de hielo-deshielo lo que ocurre en las latitudes medias con procesos de tipo periglaciario. La eficacia de la gelifracción depende de la naturaleza de la roca y puede pulverizarla en granos de tamaño limo, microgelifracción, o en bloques grandes y angulosos, macrogelifracciones la rotura de las rocas aflorantes a causa de la presión que ejercen sobre ellas los cristales de hielo.

➤ Hidroclastia

Consiste en la fragmentación de la roca debido a las tensiones que produce el aumento y reducción de volumen de determinadas rocas cuando se empapan y se secan. Normalmente, en este mecanismo la arcilla tiene una importancia decisiva. Los ciclos de humectación y secado son más lentos que los de hielo deshielo, pero más persistentes. La presión ejercida por la arcilla húmeda persiste mientras está húmeda.

➤ Haloclastia

Es la rotura de las rocas por la acción de la sal. En determinados ambientes hay una gran presencia de sal. Esto es en los ambientes áridos, ya que las lluvias lavan el suelo llevándose consigo la sal. La sal, se incrusta en los poros y fisuras de las rocas, y, al recrystalizar y aumentar de volumen, aumenta la presión que ejercen sobre las paredes internas (similar a la gelifracción) con lo que se puede ocasionar la ruptura. El resultado son rocas muy angulosas y de menor tamaño.



Fig. 3.1 Fisuras y fragmentación de la roca debido a los cambios bruscos de la temperatura en los desiertos durante el día y la noche

Meteorización química

Produce una transformación química de la roca provocando la pérdida de coherencia y alteración de la roca (Fig. 3.2). Los procesos más importantes son los atmosféricos, el vapor de agua, el oxígeno y el dióxido de carbono que están implicados en:

➤ Oxidación

La oxidación se produce por la acción del oxígeno, generalmente cuando es liberado en el agua. En la oxidación existe una reducción simultánea, ya que la sustancia oxidante se reduce al adueñarse de los electrones que pierde la que se oxida. Los sustratos rocosos de tonalidades rojizas, ocre o parduscas, se producen por la oxidación del hierro contenido en las rocas.

➤ Disolución

Consiste en la incorporación de las moléculas de un cuerpo sólido a un disolvente como es el agua. Mediante este sistema, se disuelven muchas rocas sedimentarias compuestas por las sales que quedaron al evaporarse el agua que las contenía en solución, es importante en sales muy solubles como cloruros, nitratos, en rocas calcáreas.

➤ Carbonatación

Se produce al combinar el dióxido de carbono con ciertos minerales como el carbonato de calcio que se transforma en bicarbonato, el primero es insoluble al agua pero el segundo no lo es, por lo que es arrastrado por ella.

➤ Hidratación

Es el proceso por el cual el agua se combina químicamente con un compuesto. Cuando las moléculas de agua se introducen a través de las redes cristalinas de las rocas se produce una presión que causa un aumento de volumen, el cual, en algunos casos puede llegar al 50%. Cuando estos materiales transformados se secan se produce el efecto contrario, se genera una contracción y se resquebrajan.

➤ Hidrólisis

Es la descomposición química de una sustancia por el agua, que a su vez también se descompone. En este proceso el agua se transforma en iones que pueden

reaccionar con determinados minerales, los cuales rompen sus redes cristalinas. Este es el proceso que ha originado la mayoría de materiales arcillosos que se conocen. Es la rotura en la estructura de algunos minerales por la acción de los iones de H^+ y OH^- de agua.



Fig. 3.2 Descame de una roca como consecuencia de la acción química
Meteorización biológica

Los seres vivos favorecen la meteorización y en realidad no se puede afirmar que exista una meteorización orgánica pura, sino que ella se puede ubicar dentro de la meteorización mecánica o química. En este material se sigue a los autores que la estudian separadamente para destacar el papel importante de la vida orgánica en la meteorización.

Las raíces de las plantas actúan mecánicamente sobre las rocas penetrando en las grietas y fracturándolas, y los animales terrícolas actúan sobre el suelo desmoronándolo. Las lombrices de la tierra digieren 2cm de suelo por año.

Modernamente, el animal más devastador y que transforma con más velocidad la naturaleza, es el hombre.

También es importante la acción químico-biológica de las bacterias y los hongos, algas, líquenes y musgos que desprenden H^+ y descomponen la partículas minerales. Los vegetales absorben los minerales contenidos en el suelo y también contribuyen a la meteorización química.

Los microorganismos del suelo actúan sobre el humus y lo convierten en ácido húmico. De igual forma en la putrefacción de los organismos muertos se liberan diferentes ácidos que contribuyen a la transformación del suelo, disgregándolo en finas partículas que aumentan sus propiedades coloidales, su capilaridad y adsorción.

Etapas de la meteorización

La meteorización origina los productos transportados y los productos residuales o in situ, que se les denomina eluvio. Según sean las características del eluvio se puede determinar su grado de meteorización que depende de los productos específicos del mismo para cada etapa.

Se pueden considerar cuatro etapas: clástica, siálica-alcalina, siálica-ácida y alítica.

➤ Clástica

Predomina la meteorización mecánica y las rocas se fracturan en pedazos más pequeños, pero no hay cambios en la constitución de los minerales. Esta etapa es característica en los desiertos y en las regiones montañosas.

➤ Siálica-alcalina

Es la primera etapa de la meteorización química en que comienza la lixiviación de las rocas ígneas por la descomposición de los aluminosilicatos y silicatos, con la formación de las arcillas y la eliminación de los cationes de K, Ca, Na, Fe y Mg. Como el medio es alcalino se precipita el CaCO_3 en el eluvio. El clima donde mejor se observa esta etapa es en el continental seco.

➤ Siálica-ácida

Hay un cambio en el PH del medio que se convierte en ácido y por consiguiente se disuelve el CaCO_3 y se eliminan completamente los restantes cationes y en parte la sílice. Las arcillas se transforman en caolínicas y el eluvio se empobrece en Ca. Esta etapa es peculiar de un clima cálido y húmedo.

➤ Alítica

Las caolinitas se descomponen en minerales coloidales y predominan los hidróxidos de Al y Fe. Si los hidróxidos de hierro son livianos aumenta la cantidad de hidróxido de aluminio y se originan las bauxitas, en caso contrario se originan las lateritas. Este clima es típico de Cuba, donde hay inmensos depósitos de lateritas en Moa y Holguín.

Erosión

Se denomina erosión al proceso de sustracción o desgaste de la roca del suelo intacto (roca madre), por acción de procesos geológicos exógenos como las

corrientes superficiales de agua o hielo glacial, el viento, o los cambios de temperatura. El material erosionado puede ser:

Fragmentos de rocas creados por abrasión mecánica por la propia acción del viento, aguas superficiales, glaciares y expansión-contracción térmica por variaciones estacionales o diurnas.

Suelos, los cuales son creados por la descomposición química de las rocas mediante la acción combinada de ácidos débiles disueltos en agua superficial y meteórica, hidrólisis, ácidos orgánicos, bacterias, acción de plantas, etc.(Fig. 3.3).

A excepción de los deslizamientos de rocas por las laderas, todos los materiales erosionados son transportados por fluidos (el agua, el viento, los glaciares) y estos fluidos son movidos por la gravedad hacia zonas más bajas. Por esta razón podemos afirmar que la gravedad es la fuerza propulsora de la erosión.



Fig. 3.3 Erosión severa del suelo

Causas de la erosión

Los agentes son más eficaces en función de qué tipo de tierra sea, la tapa que la protege (hiervas, árboles, rocas, etc.), la cantidad de agua existente, el viento y su uso. Uno de los principales factores es el agua.

Uno de los tres primeros factores puede permanecer constante. En general depende de que tan resistente sea la tapa vegetal, en las áreas de precipitación intensa, la arena se corroe por las cuestas y se va por las corrientes del agua. En las zonas donde se encuentre más arcilla la erosión será de menor intensidad. Como la capa protectora de vegetación protege a la tierra de la erosión, cuando esta se retira (ya sea por desastre natural o la construcción de cultivos, carreteras,

etc.) la tierra corre por las pendientes y las corrientes de agua. Los caminos son los principales aumentos de riesgo en la erosión.

Muchas actividades humanas retiran la capa protectora de vegetación, produciendo una erosión más acelerada. En los cambios de vegetación (como el paso de vegetación nativa a los cultivos) producen un aumento de la erosión produciendo que el suelo pierda sus nutrimentos y sea infértil e inservible. También depende el tipo de vegetación que se encuentre en el lugar, por ejemplo, una zona sin árboles corre el mayor riesgo de erosionarse, debido a que el árbol absorbe el agua y en su ausencia el agua se va sin ser absorbida en su mayor parte y llevándose con sigo la arena de la tierra. Además las hojas juegan un papel importante en la erosión, por ejemplo, un arbusto grande con hojas abundantes protege más el suelo de la caída de las gotas. Las gotas al caer sobre una hoja se desbaratan y se dispersan en forma de gotas más pequeñas, por el contrario, al caer al suelo las gotas desbaratan el suelo por su efecto corrosivo (una de las propiedades más interesantes del agua). La vegetación controla también la velocidad de la corriente de agua, entre más juntas estén los tallos de las plantas la velocidad de la corriente del agua será menor.

Tipos de erosión

Los efectos producidos por la erosión son:

Naturales y progresivos: es la que se desarrolla alrededor de varios años y se desarrollan en torno de algo natural. Se le puede denominar erosión geológica. En esta erosión el proceso suele ser lento y se prolonga por millones de años, suelen intervenir la lluvia, nieve, frío, calor y viento. En los climas áridos es el calor que agrieta el suelo (pues este se expande) y el viento lleva granos de arena formando dunas y montes de baja altura. En este tipo de erosión los factores moldean perfectamente el paisaje, creando algo considerado hasta ahora bello e impresionante.

Acelerados: es la que se desarrolla rápidamente y sus efectos se sienten en poco tiempo. Es cuando intervienen de forma exagerada todos los factores involucrados, principalmente se debe a la mano del hombre y sus actividades.

- Erosión por agua y erosión fluvial

Erosión provocada por agua, en la cual la tierra se ha debilitado y se deslavo. También se puede observar la corriente que sigue el agua cuando llueve. Se puede demostrar que la gravedad influyo en la erosión de esta colina.



Fig. 3.4 Erosión provocada por el agua

Se le denomina al desplazamiento debido al agua, provocando el humedecimiento de la tierra y que esta se deslave, ya sea por pendiente a cuesta o pendiente en vertical. En los ríos, lagos y mares la erosión es más visible, las corrientes se llevan rocas y arena provocando que el cauce del río se vaya hundiendo y formando paredes verticales, provocando la formación de un cañón o barranco.

➤ Erosión marina (abrasión)

La erosión de la costa (Fig. 3.5) se produce principalmente por las olas, corrientes y mareas. Estas modelan las costas del mar y les dan forma. De cierta forma ocurre que la corriente dominante de la zona se lleva los sedimentos de la playa, y entre éstos se lleva arena, grava, piedras e incluso rocas. Estas al sedimentarse forman “barras” y “bancos” de arena. Las olas suelen dar forma a acantilados, arcos y rocas aisladas de la costa.



Fig. 3.5 Se puede apreciar como el romper de las olas erosionaron con el paso del tiempo este acantilado.

➤ Erosión glacial

Se da en las montañas principalmente. Su erosión depende de en donde se encuentre, si se encuentra en un valle cuando el glaciar pase dejara un suelo liso y un valle con forma de U perfecta. Un ejemplo muy claro de erosión de hielo es la Antártida, en este continente la gruesa capa de hielo provoca que se hunda el continente por el centro (expresándose en rompimiento de montañas) y que se formen valles y llanuras en la costa del continente esto por que se resbala por los veranos. Si se levanta la capa de hielo de la Antártida se vería la erosión y el hundimiento existente en el continente.

➤ Erosión eólica

Se presenta cuando el viento transporta partículas diminutas que chocan contra alguna roca y se dividen en más partículas que van chocando con otras cosas (Fig. 3.6). Se suelen encontrar en los desiertos en formas de dunas y montañas rectangulares o también en zonas relativamente secas. Lo que conlleva un tiempo más largo, debido al tiempo que tarda en erosionar.



Fig. 3.6 Erosión eólica, rocas metamórficas en los alrededores de Puno, Perú

➤ Erosión cársica

Se da cuando el agua se interna dentro de la tierra y disuelve las rocas y granos de tierra cercanos. Se suele presentar en ríos subterráneos y ojos de agua, cuando la tierra ya es muy débil para sostener lo de la superficie, se hunde y forma un boquete o agujero más o menos grande. Esta erosión se presenta en lugares de agua abundante y forma cuevas y grutas, en las ciudades se suele presentar cuando hay una fuga de agua subterránea.

➤ Erosión biótica

En esta se involucran todos los procesos químicos que se llevan a cabo en las rocas. Intervienen factores como el calor, agua, compuestos biológicos y reacciones químicas del agua con las rocas. Este tipo de erosión depende del clima, en los climas polares y secos las rocas se destruyen por los cambios de temperatura; y en los lugares tropicales y templados pues la humedad, el agua y los desechos orgánicos reaccionan con las rocas y las destruye. A veces forma un proceso llamado meteorización.

3.2 Formación de los suelos, tipos genéticos, propiedades, características

El término suelo se usa en más de un sentido. Para el ingeniero es sinónimo de regolita, o sea, el agregado suelto de todos los materiales que se encuentran por encima de la roca.

Las rocas que están en la superficie de la tierra, o cerca de ella están expuestas a desintegración y descomposición. Los productos disgregados se acumulan formando "suelos". El proceso de la destrucción de las rocas y las propiedades de los materiales resultantes, merecen ser estudiados cuidadosamente por los ingenieros civiles, pues muchos problemas de ingeniería se presentan precisamente en estos materiales.

Estos materiales no consolidados o semiconsolidados constituyen lo que se ha llamado regolita o cubierta de las rocas. La regolita puede tener varios cientos de metros de espesor o puede faltar por completo. Las partes superiores de la regolita, a las que se han incorporado sustancias orgánicas y que están más o menos modificadas biológicamente constituyen el suelo. Sin embargo, los ingenieros extienden la denominación de suelo a todo el material de la regolita.

Suelo se puede definir como el material no consolidado o semiconsolidado compuesto de la mezcla de partículas de diferentes tamaños, diferentes minerales y compuestos litológicos, y con diferentes cantidades y clases de materias orgánicas, los cuales se encuentran sobre la corteza terrestre: guijarros, arenas, limos, arcillas, materiales turbosos, etc. La capa superficial de la tierra rica en material orgánico, se designa con el nombre de capa vegetal. Los suelos se

derivan de las rocas que por los procesos geológicos (tectonismo) originan que la roca sea fracturada o plegada luego por los procesos de alteración originan los suelos. Esta mutación no alcanza un estado de equilibrio permanente, pues continuamente intervienen agentes o factores de formación que van modificando o cambiando las características físicas y químicas del suelo. La roca madre, que se convierte en suelo puede ser de origen ígneo, sedimentario o metamórfico.

Factores de formación de los suelos

- La materia de origen, de la cual se ha originado el suelo, puede ser una roca ígnea, sedimentaria o metamórfica que se ha transformado lentamente.
- El agua, al atravesar las distintas capas produciendo en su contacto con los elementos químicos y materia orgánica una serie de reacciones físico-químicas, que hacen que este vaya transformando lentamente.
- La topografía del lugar, el agua también actúa en el relieve o topografía del terreno ya si el terreno es llano, o hay colinas esta se distribuirá según su relieve.
- El clima de la región, determina el color de un suelo.
- La temperatura, está asociada íntimamente al clima, pues a mayor temperatura existe mayor cantidad de arcilla en un suelo. Además, el espesor de los estratos o capas depende de la temperatura. Así en zonas frías el espesor de las capas de un suelo es pequeño. En climas cálidos, el lecho rocoso se encuentra a mayor profundidad que en climas fríos.
- Los organismos existentes, particularmente los microorganismos, plantas y animales intervienen en la formación del suelo.
- El ser humano y sus obras, la construcción de represas, autopistas, carreteras, etc. alteran las condiciones naturales existentes.
- Movimientos sísmicos, ciclones y maremotos, estos producen grandes deformaciones en la corteza terrestre.

Formas de suelos

Los suelos pueden quedar en el lugar, directamente de la roca de la cual derivan, dando así origen a los suelos llamados residuales o suelos no transportados. Pero estos productos pueden ser movidos del lugar de formación, por los mismos

agentes geológicos y re-depositados sobre otros estratos sin relación directa con ellos, a estos suelos se los denomina suelos transportados.

No transportados o residuales

Es aquel tipo de suelo que se forma en el mismo lugar donde se encuentra por meteorización de la roca del lugar. Sus principales características son:

- Suelo heterogéneo.
- Tienen asentamiento.
- No sufren transporte (suelto no compacto).
- No aptos para fundaciones.
- Son difíciles de reconocer en el campo.
- Son de granulometría heterogénea.
- Las formas de los granos son angulosas.
- Son permeables
- Porosos

Transportados

Se formaron por meteorización de la roca en un lugar y posterior transporte a otro lugar por agentes externos que podrían ser: agua, glaciares, viento y gravedad. Los depósitos transportados por el viento, glaciares y agua están ampliamente repartidos, aunque en el sentido estricto de la palabra estos son depósitos transportados hace tanto tiempo, que se ha producido algunos o bastantes modificaciones en las condiciones presentes, el suelo endurecido está sometido a meteorización produciendo un material que es más residual que transportado.

Suelos aluviales

Son suelos transportados por el agua. El tamaño de sus granos es de fino a muy grueso, su forma es sub.-redondeada.

La combinación del escurrimiento de aguas en las laderas de las colinas y montes y de las fuerzas del campo gravitatorio forman los depósitos de talud, en las faldas de las elevaciones, estos depósitos suelen ser heterogéneos, sueltos y predominantemente formados por materiales gruesos.

El escurrimiento de torrentes produce arrastres de materiales de gran tamaño (mayores a velocidades crecientes del agua), que se depositan en forma graduada

a lo largo de su curso, correspondiendo los materiales más finos que las zonas planas de los valles.

Los ríos acarrean materiales de muy diversas graduaciones, depositándolos a lo largo de su perfil, según varia la velocidad de su curso al ir disminuyendo esta, la capacidad de acarreo de la corriente se hace menor depositándose los materiales más gruesos. De esta manera el río transporta y deposita suelos según sus tamaños decrecientes, correspondiendo las partículas más finas (limos arcillas) a depósitos próximos a su desembocadura. Otra característica importante es que se depositan en capas de espesores pequeños.

Perforar en ellos es más fácil, entre ellos tenemos:

- Torrenciales: presenta granos desde muy grueso hasta muy fino.
Grano grueso
Pendiente fuerte
- Terrazas: los depósitos aluviales de terrazas se caracterizan por tener granulometría heterogénea. Cuando en una terraza observamos una erosión de 90° tenemos una terraza formada de grava gruesa muy compacta.
Grano mediano a fino.
- Lacustres: los depósitos lacustres son generalmente de grano fino a causa de la pequeña velocidad con que las aguas fluyen en los lagos. Los depósitos marinos (formados por el mar) suelen ser estratificados reflejando muchas veces las características de las costas que los mares bañan.
Granulometría fina y muy fina

Suelos eólicos

Son suelos transportados por el viento. El viento transporta sus materiales de tres maneras, por suspensión, saltación, y rodamiento, según sea el tamaño de material y la velocidad del viento. Para que se produzca deposición vasta que el viento disminuya su velocidad hasta que las partículas de limo o los granos de arena no puedan mantenerse en el aire. Esta disminución de la velocidad puede condicionarse por los obstáculos que existen en el suelo como árboles, edificios, altos topográficos naturales, etc., o también el hecho de haber cesado las causas que provocan el movimiento de aire.

El viento da lugar a la formación de dos tipos de depósitos cuyas características están en función del tamaño de los materiales que los componen. Las acumulaciones de arcillas, limos y arenas muy finas reciben el nombre de Loes, mientras que los de arenas medianas a gruesas se llaman Médanos o Dunas.

De dunas

Poseen las siguientes características:

- Suelo suelto.
- No son aptos para fundación.
- Son de granulometría fina (redondeada).
- Forma de deposición en forma longitudinal o media luna.
- Permeabilidad media o baja.
- Angulo de fricción nulo.
- No es plástica.
- Transversal. Se desarrollan en dirección perpendicular a la del viento dominante.

Dunas costeras. Son acumulaciones de arena que se presentan en las costas o próximas a ellas.

De loes

Poseen las siguientes características:

- Compactados ligeramente.
- No son aptos para fundación.
- Son de granulometría muy fina.
- Forma de deposición en mantos.
- No tiene nivel freático.
- Permeabilidad baja o nula (impermeable).
- Ángulo de fricción interna nula.
- Color gris oscuro.
- Es plástica.

Suelos glaciares

Son suelos transportados por el hielo y el agua. Son los mejores acuíferos por su permeabilidad y porosidad.

El escombros arrastrado por un glaciar se deposita generalmente porque la masa de hielo que lo transportaba se funde.

Los depósitos glaciales están formados por suelos heterogéneos que van desde grandes bloques, hasta materiales muy finamente granulados a causa de las grandes presiones desarrolladas y de la abrasión producida por el movimiento de las masas de hielo.

- Tamaño de los granos de grueso a fino.
- Forma de los granos de sub-redondeados a redondeados.
- Alta permeabilidad.
- Alta porosidad.

Morrénicos

Aptos para las construcciones de puentes, vías, fundaciones, etc. Generalmente están compuestos de till y tillita.

- Granulometría heterogénea.
- Granos angulosos a sub-angulosos.
- Tamaño irregular.
- Alta permeabilidad.
- Alta porosidad.
- Alta resistencia.
- Sirve para todo tipo de hormigón, canteras y vías camineras.

De deslave

- Granulometría heterogénea.
- Granos sub-redondeados a redondeados.
- Tamaño de los granos de arena gruesa y arena fina.
- Permeabilidad mediana alta.
- Porosidad media.
- Resistencia media a alta.

Suelos coluviales

- Son suelos transportados por la gravedad.
- Granulometría heterogénea.
- El tamaño de sus granos es de muy fino a grueso.

- La forma de sus granos es angulosa.
- Forma de depósitos completamente irregular.
- No sufre desgaste por transporte.
- No hay nivel freático.
- No apto para fundación.

3.3 Procesos o fenómenos geológicos

Estos procesos se llevan a cabo en la parte más externa de la corteza terrestre o en su superficie los mismos vienen dados fundamentalmente por:

- Movimiento de las masas de agua y de aire.
- Las reacciones químicas.
- La circulación de las aguas superficiales subterráneas y en la atmósfera.
- La acción de los organismos.

3.4 Acción geológica de los ríos

Los ríos no son más que arterias hídricas por donde corren las aguas, en nuestro caso principalmente originadas por las precipitaciones pluviales. Los ríos han jugado un papel importante rol en la vida económica de la humanidad por servir como fuente de abasto de agua, vía de comunicación, fuente de energía y de alimentación por los peces que en estos existen. En Cuba la mayoría de nuestros ríos son pequeños no son navegables y solo el Toa se utilizará como fuente de energía mediante una Hidroeléctrica. El mayor río de Cuba es el Cauto y el de Villa Clara el río Sagua La Grande, que corre hacia el norte (siendo uno de los pocos que lo hacen).

Las principales fuentes de alimentación de los ríos superficiales son:

- Los alimentados por el derretimiento de las nieves.
- Los alimentados por el derretimiento o fusión de los glaciares de las montañas.
- Los originadas por las lluvias (origen pluvial).
- Los alimentados de manantiales procedentes de las aguas subterráneas.

Las principales características de los ríos son:

- El poseer un cauce por donde corre con riberas inclinadas.
- Su nacimiento está situado en un nivel más alto que su desembocadura.
- El flujo de sus aguas es turbulento y su velocidad varía a lo largo del cauce.
- Transportan gran cantidad de materiales.

De los ríos se deben conocer los elementos que se manifiestan a continuación:

- Nivel de Estiaje del Río: Se denomina al nivel más bajo de las aguas del río, correspondiente a su caudal mínimo.
- Nivel de Riada o Crecida: será el máximo nivel que el agua alcanzará durante una riada o crecida del río.
- Nivel de base: es el límite por debajo del cual el río no puede bajar más su cauce, es el nivel de la cuenca en la desembocadura del río, donde el agua no es capaz de rebajarlo más.
- Coeficiente de sinuosidad: es la relación existente entre la verdadera longitud del río (l) entre su nacimiento y desembocadura y esta misma distancia en línea recta (d): $S = l/d$.
- Cuenca de recepción: área donde se reúne un sistema de surcos y cauces que den nacimiento al río, área o cuenca tributaria.
- Gasto o caudal: es el volumen de agua que corre en el río en una unidad de tiempo, generalmente $m^3/s \gg Q = (A_c \cdot h_m) \cdot V_m$, (m^3/s)

A_c – ancho de la cuenca (m)

h_m – profundidad media del río (m)

V_m – velocidad media (m/s) $\gg V_m = C \sqrt{R \cdot P}$ (Fórmula de Chezy)

La capacidad de un río para realizar trabajo se denomina fuerza viva o energía cinética del mismo. El trabajo o energía cinética del río es:

$$K = m \cdot v^2 / 2 \quad m - \text{masa de agua del río}$$

V – velocidad de la corriente del agua

Es decir, a mayor caudal y velocidad de un río mayor será el trabajo que realizará.

El trabajo de un río se manifiesta en:

- Erosión.
- Transporte de material proveniente de la erosión o la meteorización.
- Acumulación de la carga transportada en su trayectoria.

La efectividad de la acción o trabajo de un río varía acorde con la relación entre su fuerza viva y la carga (C) transportada, siendo posibles tres casos:

- $K > C$ → Predominará la erosión.
- $K = C$ → Existe un equilibrio entre erosión y acumulación.
- $K < C$ → Predomina la acumulación.

Estas relaciones son variables en un mismo río de un lugar a otro de su trayectoria.

El transporte realizado por un río: se realizará de tres formas:

- Por arrastre de los fragmentos rocosos del fondo.
- Por el transporte de detritos finos en suspensión.
- Por conducción de sustancias disueltas.

Se ha comprobado que a velocidades

- ≥ 0.3 m/s – el río transporta arena fina.
- ≥ 0.6 m/s - el río transporta arena gruesa.
- ≥ 1.0 m/s - el río transporta gravas finas.
- ≥ 1.2 m/s - el río transporta guijarros (del tamaño de un huevo)
- ≥ 2.0 m/s - el río transporta guijarros de hasta 10cm.
- ≥ 2.4 m/s - el río transporta guijarros de hasta 20cm.

La acción erosiva de los ríos

La erosión debida a las aguas corrientes sigue las mismas etapas en que se divide de forma natural el curso de un río. Hay una primera etapa en que la erosión mecánica provocada por el agua y los materiales que arrastra es muy intensa en el curso alto del río. En la segunda etapa, de transporte, la erosión mecánica sigue activa pero empieza a actuar la erosión química. Esta tiene lugar en el curso medio. Finalmente, en el curso bajo predomina la sedimentación de los materiales transportados, la acción mecánica se reduce muchísimo y prácticamente sólo actúa la erosión química.

La acción erosiva de un río se debe a la energía del agua. Es capaz de arrancar trozos de roca que, al ser arrastrados por la corriente, actúan como un martillo sobre el cauce del río, desprendiendo nuevos fragmentos. Como el cauce no es

regular, se suelen producir remolinos que arrastran arenas y gravas, puliendo el fondo del río y creando cavidades.

Otras veces, la pendiente elevada hace el agua forme saltos, cascadas o cataratas, algunas de las cuales llegan hasta los 1000 metros de altura. La zona de salto retrocede gradualmente aguas arriba a medida que se desgasta. En otros casos, cuando el curso se encuentra con grandes obstáculos, el agua "busca" las zonas más frágiles, las desgasta y forma desfiladeros o cañones. En terrenos calcáreos es frecuente la aparición de cuevas subterráneas causadas por la erosión química del agua, que transforma el carbonato insoluble en bicarbonato soluble.

Meandros

Meandros: Los ríos son generalmente sinuosos debido a que la distribución de las velocidades tienen forma helicoidal, lo que origina las condiciones para que la erosión lateral del cauce vaya efectuándose alternativamente en las orillas derecha e izquierda y por consiguiente aparezcan curvas en el cauce.

Deltas

Deltas: es la planicie que forman los ríos en su desembocadura y nacimiento en forma de delta (Δ) con el vértice aportando aguas ambas.

Importancia para la Ingeniería Civil

- Para definir niveles de rasante de los terraplenes.
- Para protección de taludes en corte y relleno, para asegurar su estabilidad.
- Para construir puentes en lugares adecuados (evitar cruce por meandros)
- Para la organización de la obra si tenemos que atravesarlos en los trabajos de construcción (obras de fábrica provisionales, desvío del cauce, terraplenes de aproche, etc.)

Esguerramiento superficial

Son las aguas que corren por la superficie terrestre debido a la lluvia. Su acción geológica esta determinada por el gasto o caudal y la velocidad de su corriente.

El efecto de la erosión puede provocar aludes o deslizamientos de tierra en las laderas y taludes.

En los taludes tanto en terraplén como en excavación, debemos tener muy presente el efecto erosivo de las aguas de escorrentía producto de las fuertes lluvias. Para evitar esto, los taludes en relleno se revisten de capa vegetal para que al salir la hierba, las raíces eviten la aparición de surcos “cárcavas”. En terraplenes altos se debe trabajar con un ancho superior al establecido por proyecto para asegurar que la sección transversal efectiva no se vea afectada y trabajar con mayor seguridad. En taludes en corte, también se reviste con capa vegetal y se construyen en el pie de los mismos cunetas o canales para recoger el agua y los arrastres; de ser necesario se construyen contra cunetas.

3.5 Aguas subterráneas

Antiguamente se creía que las aguas subterráneas procedían del mar y habían perdido su salinidad al filtrarse entre las rocas. Hoy se sabe que es agua procedente de la lluvia.

Las aguas subterráneas forman grandes depósitos que en muchos lugares constituyen la única fuente de agua potable disponible. A veces, cuando circulan bajo tierra, forman grandes sistemas de cuevas y galerías. En algunos lugares regresan a la superficie, brotando de la tierra en forma de fuentes o manantiales. Otras, hay que ir a recogerlas a distintas profundidades excavando pozos.

Estas con seguridad son uno de los recursos minerales más importantes que existen en el subsuelo, tienen un amplio uso y muy necesario en la vida del hombre. En Cuba la mayor 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 se debe conocer en la Ingeniería Civil para tratar de evitarlos o minimizarlos en la ejecución de obras.

En el clima de Cuba, 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 denominada “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 sequía. Se ha observado que sigue la topografía del terreno pero en una forma más suave en dependencia de las condiciones geológicas.

Acuíferos

La diferencia entre la cantidad de precipitación y la cantidad de agua arrastrada por los ríos se filtra bajo el suelo y forma los acuíferos que no son más que aquella estrato o formación geológica que permite la circulación del agua por sus poros y/o grietas. Dentro de estas formaciones podemos encontrarnos con materiales muy variados como gravas de río, calizas muy agrietadas, areniscas porosas poco cementadas, arenas de playa, algunas formaciones volcánicas, depósitos de dunas.... La filtración depende de las características físicas de las rocas. La porosidad no es sinónimo de permeabilidad, pues determinadas rocas como las arcillosas, aunque tienen una gran porosidad, son prácticamente impermeables ya que no disponen de conductos que se comuniquen. Si la capa impermeable forma una depresión, puede aparecer un lago subterráneo. En cambio, si la capa impermeable está inclinada se puede formar un río subterráneo.

Tipos de acuíferos

Las clasificaciones de los acuíferos pueden variar según el factor que se tome en cuenta para hacerlas. De este modo se pueden clasificar los acuíferos según los materiales litológicos que los constituyan (detriticos, fisurados, volcánicos, etc.) o, como en este caso se toma el factor de la presión hidrostática del agua encerrada en los mismos, lo cual se traduce en unas circunstancias prácticas muy útiles al hablar de captaciones de ese agua.

➤ Acuíferos libres

Son aquellos en los cuales existe una superficie libre del agua encerrada en ellos y que se encuentra a presión atmosférica. La superficie del agua será el nivel

freático y podrá estar en contacto directo con el aire o no, pero lo importante es que no tenga por encima ningún material impermeable. En estos acuíferos, al perforar pozos que los atraviesen total o parcialmente, el agua alcanza un nivel que sería el mismo que tendría dentro de la formación geológica, es decir el nivel freático (nivel real) coincide con el nivel piezométrico (nivel ideal que alcanzaría el agua a presión atmosférica).

➤ Acuíferos confinados

En este tipo de acuífero, el agua que contienen está sometida a cierta presión, superior a la atmosférica y ocupa la totalidad de los poros o huecos de la formación geológica, saturándola totalmente. Están sellados por materiales impermeables que no permiten que el agua ascienda hasta igualar su presión a la atmosférica. Por este motivo al perforar pozos que atraviesen el límite superior del material que constituye el acuífero, se observará que el nivel del agua asciende muy rápido hasta que se estabiliza en el nivel piezométrico. Podrán darse pozos surgentes si el nivel del agua queda por encima del nivel topográfico y pozos artesianos si el nivel se estabiliza por debajo de la cota del terreno. De esta manera, si imaginamos una serie de pozos atravesando un acuífero de este tipo, y unimos los niveles que alcanza el agua en cada uno, obtendríamos una superficie piezométrica que no coincide con el nivel freático que tenía el acuífero en estado natural.

➤ Acuíferos semiconfinados

Constituyen una variedad de los confinados, y se caracterizan por tener el techo (parte superior) o/y el muro (parte inferior) sellado por materiales que no son totalmente impermeables, sino que constituyen un acuitardo, es decir, un material que permite una filtración vertical que alimenta muy lentamente al acuífero principal. En estos casos, habrá situaciones en los que la recarga podrá hacerse en ambos sentidos en función de la diferencia de potencial.

➤ Acuíferos colgados

Algunas veces se da una capa de material más o menos impermeable por encima del nivel freático. El agua que se infiltra queda atrapada en esta capa para formar un lentejón, que normalmente tiene una extensión limitada sobre la zona saturada

más próxima. Los acuíferos colgados son más comunes de lo que se pueda suponer, aunque quizá sólo ocupan unos pocos centímetros de espesor, o sólo se alimenten después de una recarga muy excepcional. No suponen un recurso muy fiable, ya que a veces se puede perforar del todo y el pozo construido facilita el drenaje del agua contenida en el lentejón hacia la zona saturada.

Pozos y manantiales

Un manantial (Fig. 3.7) es un flujo natural de agua que surge del interior de la tierra desde un solo punto o por un área pequeña. Pueden aparecer en tierra firme o ir a dar a cursos de agua, lagunas o lagos. Los manantiales pueden ser permanentes o intermitentes, y tener su origen en el agua de lluvia que se filtra o tener un origen ígneo, dando lugar a manantiales de agua caliente.



Fig. 3.7 Manantiales

La composición del agua de los manantiales varía según la naturaleza del suelo o la roca de su lecho. El caudal de los manantiales depende de la estación del año y del volumen de las precipitaciones. Los manantiales de filtración se secan a menudo en períodos secos o de escasas precipitaciones; sin embargo, otros tienen un caudal copioso y constante que proporciona un importante suministro de agua local.

Un pozo (Fig.3.8) es un orificio o túnel vertical perforado en la tierra, hasta una profundidad suficiente para alcanzar lo que se busca, normalmente una reserva de agua subterránea (originalmente) del nivel freático o materias como el petróleo (pozo petrolífero). Generalmente de forma cilíndrica, se suele tomar la precaución de asegurar sus paredes con piedra, cemento o madera para evitar su derrumbe.



Fig. 3.8 Pozo de agua en Ostende (Bélgica).

Los pozos tradicionales para buscar agua están en los patios de las casas y tienen un brocal (pared que sobresale del nivel del suelo hasta una altura suficiente para que nadie caiga al interior), un cigüeño o una polea para subir el cubo y una tapadera para evitar que caiga suciedad al interior.

Los restos más antiguos de un pozo datan del siglo XII adc y proceden de Persia desde donde se extendieron por todo el mundo.

Los pozos artesianos (Fig. 3.9), donde el agua brota superficialmente como un surtidor, son el resultado de perforar un acuífero confinado cuyo nivel freático es superior al nivel del suelo. Cuando estas fuentes son termales (de agua caliente), se denominan caldas o termas. A las sales minerales que llevan disueltas las caldas se le reconocen propiedades medicinales, motivo por el cual se han construido en esas zonas muchos balnearios. Esta práctica es antigua, y ya en tiempos de los romanos eran muy apreciados los baños.

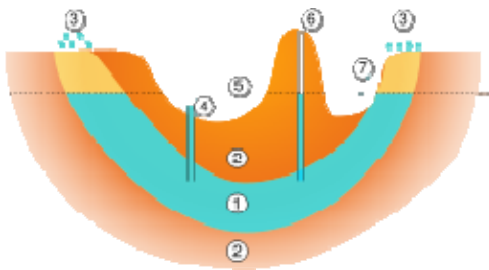


Fig. 3.9 Esquema de un acuífero artesiano.

Problemas de las Aguas Subterráneas para la construcción

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

- Ablandamiento o disolución de rocas que origina hundimientos.

- Actúa sobre suelos expansibles (arcillas o anhidritas) y causan levantamientos.
- La elevación del nivel freático causa inundaciones o humedad en la obra, subpresiones.
- Provoca deslizamiento de taludes.

3.6 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:

- Terra Rossa o suelos rojos procedentes de la caliza.

Al disolverse las calizas en la superficie o cerca de ella dejan un residuo arcilloso que forman los suelos rojos llamados terra rossa que se hallan sobre las pendientes inclinadas y suaves. Pueden alcanzar desde unos pocos decímetros hasta un metro y cubren la superficie rocosa. Se parecen a las lateritas. En Cuba son muy frecuentes estos suelos.

- Lapiaz o lenar

Es una superficie acalanada con surcos. Son propios de relieves abruptos y se caracterizan por una superficie acanalada, áspera, con surcos y alveolos. A veces los lapiaces se desarrollan bajo una cubierta de suelo y vegetación, pero muy rápidamente son expuestos a la superficie.

- Mogotes

Son cerros, testigos remanentes de la erosión. En Cuba es característica esta topografía en el Valle de Viñales, Pinar del Río.

- Sumideros

Depresión en forma de embudo que se abre en la superficie. Es una depresión en forma de embudo que se abre en la superficie. Su extensión varía desde unos

pocos metros hasta casi una hectárea y su profundidad promedio es de 3 a 10m o más. Los sumideros también son conocidos por simas y no siempre absorben las aguas superficiales.

Los ríos y arroyos se insumen en los sumideros y pozos cárnicos, desapareciendo y dejando aguas bajo un cause abandonado. Cuando hay tormentas en que hay una gran precipitación, los sumideros son incapaces de eliminar el exceso de agua, se originan lagos transitorios y a veces el río vuelve a correr por su cause abandonado. Los sumideros se originan por disolución y por desplome.

➤ Dolinas

Depresión en forma ovalada y bordes inclinados, rellenos de terra rossa. Su área es desde las decenas de metros hasta algunos kilómetros y es muy rica para la agricultura.

➤ Uvala

Es cuando se unen varias dolinas y forman una depresión de bordes sinuosos en forma de florón.

➤ Polje

Llanura cársica de bordes empinados, de fondo llano y rellena de terra rossa que forma un suelo cultivable y a veces cruzado por ríos.

➤ Cuevas

Es un cauce natural vacío subterráneo, que puede tener diseño simple o ramificaciones complejas. Se extiende horizontal o verticalmente, presenta uno o más niveles y puede estar o no ocupado por un río. Pueden existir hasta cinco niveles.

Carso cubano

Debido a las numerosas sumersiones y emersiones, más o menos extensas de la Isla y sus archipiélagos adyacentes las rocas han experimentado transformaciones, las especiales características de nuestro clima han dado origen a la evolución de una notable morfología cársica.

Desde la Península de Guanahacabibes hasta las terrazas marinas del extremo oriental se manifiesta esta morfología.

A los efectos de establecer una sencilla clasificación general para Cuba se dividen en:

➤ Elevaciones cársicas

Carso cónico: corresponde a elevaciones calizas de laderas empinadas y cimas redondeadas, su aspecto varía, ejemplo son la Sierra del Grillo (Madruga, La Habana), y los mogotes en el Valle de Viñales (Pinar del Río).

Mesetas cársicas: la componen regiones elevadas de cimas pleniplanadas que presentan frentes abruptos, como algunos de los macizos mogóticos de la Sierra de los Órganos; el macizo del Guaso en Guantánamo y las mesetas del Grupo Orográfico de Sagua-Baracoa.

➤ Llanuras cársicas

Se localizan llanuras cársicas al sur de la Isla de la Juventud y en las Penínsulas de Guanahacabibes y Zapata, pero la más importante es la que se encuentra en la zona meridional del occidente de Cuba.

➤ Carso pantanoso

Los ejemplos más representativos de esta morfología se localizan en las zonas periféricas a la llanura cársica que ocupa el centro de la Península de Zapata, la nombrada Ciénaga de Zapata, en la Ciénaga de Lanier, la Ciénaga de Yaguajay.

➤ Carso litoral

Las localidades geográficas más típicas del carso litoral son, la costa meridional de la Península de Guanahabibes, la costa septentrional habana-Matanzas, la costa sur de Oriente, especialmente por Maisí y Cabo Cruz.

Esta clasificación, como cualquier otra, no puede considerarse absoluta pues, en la práctica toda forma del relieve se encuentra asociada a las demás y el paisaje evoluciona de acuerdo a su estructura y origen geológico etc., por lo que se trata de un complejo de fenómenos y procesos de desarrollo constante y relacionado.

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. Ejemplo de la CEN (Cienfuegos) y la cayería al norte de Villa Clara.

3.7 Geodinámica Interna. Magmatismo y vulcanismo

Los procesos endógenos (internos) se desarrollan en el interior del planeta aunque pueden en escasos casos manifestarse en la superficie de la corteza terrestre.

Todos los fenómenos asociados a la actividad del magma se denominan magmatismo, incluyéndose tanto la penetración del magma en la corteza terrestre o en su superficie, tanto como su origen y transformación.

El magmatismo efusivo no es más que la salida a la superficie del magma, los aparatos por los que el magma se pone en contacto con la superficie, transformándose en lava, denominándose entonces volcanes.

La actividad volcánica, así como los movimientos sísmicos, no son más que la liberación en superficie de las energías que se manifiestan en el interior de la corteza terrestre. Los volcanes son grietas o aberturas de la corteza que se comunican con las zonas internas, donde los materiales rocosos se hallan en estado de fusión debido a las altas temperaturas reinantes.

Cuando las energías que llegan a la superficie son en forma de calor (magmas), dan lugar a la formación de los volcanes; y si esa energía se libera en forma de movimientos u ondas elásticas, se manifiestan mediante sismos o terremotos.

Gracias a las erupciones magmáticas de los volcanes se pueden estudiar los materiales líticos de la corteza, ya que es la única forma de comunicación existente entre lo más profundo de la litosfera y la superficie terrestre. El conocimiento de estos procesos determina las características de la corteza terrestre y su evolución; siendo fundamental su conocimiento para el desarrollo de la ingeniería.

Partes de un volcán

Un volcán consta de las siguientes partes (Fig. 3.10): cámara magmática, chimenea, cráter y cono volcánico.

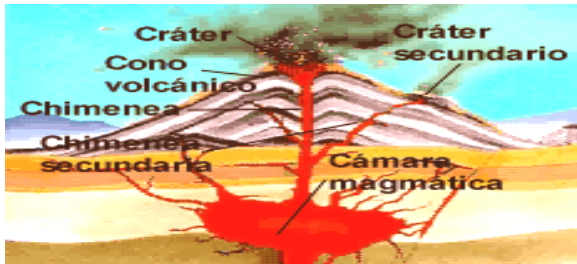


Fig. 3.10 Partes de un volcán

➤ Cámara magmática

La cámara magmática es el foco o zona de donde procede el material magmático (roca fundida), que posteriormente será arrojado en forma de lava. Se comunica con el cráter a través de la chimenea.

➤ Chimenea

La chimenea es el conducto, canal o grieta de la corteza terrestre por donde asciende el material magmático hasta el cráter. Durante el violento ascenso de estas materias se arrancan rocas de las paredes de la chimenea, que son incorporadas a la corriente ascendente y expulsadas al exterior junto como los demás productos ígneos.

➤ Cráter

El cráter es el orificio de salida por donde el volcán arroja al exterior los materiales magmáticos durante una erupción (lavas, gases, vapores, cenizas, etc.). Suele presentar la forma de un embudo o cono invertido.

➤ Cono volcánico

El cono volcánico (Fig. 3.11) es una construcción en forma de cono truncado, levantado alrededor del punto de emisión de un volcán. Se forma por aglomeración alrededor de la abertura, de lavas y parte de fragmentos de los materiales magmáticos que son arrojados al exterior a través del cráter.



Fig. 3.11 Cono del volcán Vesubio

Las actividades eruptivas de un volcán constituyen los denominados paroxismos, es decir, la fase en que se manifiesta la máxima intensidad de la actividad orogénica (también es aplicable a los movimientos sísmicos). Esta actividad volcánica no suele ser continuada en el tiempo, sino alterna o discontinua.

Cuando los volcanes presentan inactividad durante largos periodos históricos, se dice que son volcanes apagados o extinguidos. Por su parte, se denominan volcanes activos aquellos que muestran una actividad permanente, o discontinua pero con periodos de actividad en tiempos históricos cercanos. Durante los periodos en que los volcanes activos parecen extinguidos, en realidad muestran un periodo de descanso que alternan con otro de paroxismo.

Ejemplo de volcanes activos discontinuos con apariencia de inactividad, son: el Fuji, en la isla de Honshu (Japón), que tuvo su última y violenta erupción en 1707; y el Vesubio, al sur de Italia, en la Campania (Nápoles). Su primera erupción histórica se produjo el año 79 y sepultó bajo las cenizas a las ciudades de Pompeya, Herculano y Estabias. Desde entonces no ha cesado en su actividad; la última erupción violenta tuvo lugar en 1944.

Ejemplo de volcanes activos continuos son: el Etna, en la isla de Sicilia, que es el segundo volcán más alto de Europa (3.340m), después del Teide (3.718m.) situado en la Isla de Tenerife, en el archipiélago canario, España. Las erupciones más catastróficas fueron las de 1669 y 1928. A comienzos de 1992 volvió a entrar en erupción. Otro volcán activo de importancia es el Manua-Loa, en las islas de Hawai.

Productos volcánicos

Los volcanes activos, durante las erupciones, emiten materias magmáticas que normalmente irrumpen en la corteza terrestre en forma de lavas o gases; a este proceso se le denomina vulcanismo, y a las rocas que forman parte de él efusivas

o volcánicas; si las materias magmáticas no afloran a la superficie y se consolidan en el interior de la tierra, se le denomina plutonismo, y a las rocas que intervienen intrusivas o plutónicas. Los magmas son masas ígneas, espesas y viscosas, que se pueden presentar fundidas total o parcialmente, y proyectarse, desparramarse o volatilizarse, según se trate de materias sólidas, líquidas o gaseosas.

➤ Sólidos

Los materiales sólidos arrojados por los volcanes en erupción hacia la superficie terrestre (por proyección), son también llamados piroclastos (Fig. 3.12).



Fig. 3.12 Los piroclastos son materiales sólidos (cenizas, lapillis y bombas)

➤ Líquidos

Las materias fundidas, más o menos líquidas, están constituidas por las lavas, que no son otra cosa que magmas que afloran a través del cráter y se deslizan por la superficie.

Si la consistencia es suficientemente líquida, ejemplo de las lavas con origen en rocas basálticas, pueden llegar a formarse notables cascadas (Fig. 3.13) a través de las vertientes a velocidades de hasta 300 metros por hora, o coladas superficiales.



Fig. 3.13 Volcán del monte Etna durante la erupción de 1992

➤ Gaseosos

Durante las erupciones, pueden ser emitidas a la atmósfera grandes cantidades de gas volcánico (Fig. 3.14). Las materias gaseosas suelen ser mezclas de composición compleja, que además pueden ser muy distintas, no sólo de una erupción a otra, sino incluso en los diferentes periodos de una misma erupción.



Fig. 3 14 Gases volcánicos

Tipos de erupciones

Los llamados magmas básicos (fluidos), magmas ácidos (viscosos), así como la temperatura, cantidad de productos volátiles que incluyen las lavas, y forma en que se presenta el cono volcánico, determinan los tipos de erupciones volcánicas. En base a estos elementos se distinguen los diferentes tipos de volcanes: hawaiano, estromboliano, vulcaniano, vesubiano, peleano, krakatoano, submarinos, de ceno y fisurales.

3.8 Efecto de los terremotos

Los terremotos se producen cuando las tensiones acumuladas por la deformación de las capas de la Tierra se liberan bruscamente. Se rompen las masas de rocas que estaban sometidas a fuerzas gigantescas, reordenándose los materiales y liberando enormes energías que hacen temblar la Tierra. Sus focos de inicio (hipocentro) se localizan a diferentes profundidades, estando los más profundos hasta a 700 kilómetros. Son especialmente frecuentes cerca de los bordes de las placas tectónicas. Al año se producen alrededor de un millón de sismos, aunque la mayor parte de ellos son de tan pequeña intensidad que pasan desapercibidos. Actúan de forma instantánea en un área extensa y las ondas sísmicas que provocan, especialmente las superficiales, causan formación de fallas, desprendimientos de tierra, aparición y desaparición de manantiales, daños en construcciones y muertes en las personas. Son muy difíciles de predecir y, en la

actualidad, no hay sistemas eficaces para alertar a la población con tiempo de la inminencia de un sismo.

Los efectos geológicos de los terremotos también son de considerable magnitud, provocando la aparición de fallas con diferentes desplazamientos, y en otros casos, ponen de manifiesto fallas antiguas, como ocurrió en el terremoto de San Francisco de 1906, con la gran falla de San Andrés.

La ocurrencia de las fallas puede traer como consecuencia la aparición de nuevos manantiales y la desaparición de otros existentes, cambios de dirección en el curso de los ríos, etc. Otros efectos muy importantes son los deslizamientos de tierra, que a veces interrumpen el curso de los ríos formando grandes lagos o riadas de lodo, como ocurrió en el terremoto de Nicaragua de 1972.

Tsunamis

Los terremotos submarinos provocan movimientos del agua del mar (maremotos o tsunamis). Los tsunamis son olas enormes con longitudes de onda de hasta 100 kilómetros y que viajan a velocidades de 700 a 1000km/h. En alta mar la altura de la ola es pequeña, sin superar el metro; pero cuando llegan a la costa, al rodar sobre el fondo marino alcanzan alturas mucho mayores, de hasta 30 y más metros. El tsunami está formado por varias olas que llegan separadas entre sí por unos 15 o 20 minutos. La primera que llega no suele ser la más alta, sino que es muy parecida a las normales. Después se produce un impresionante descenso del nivel del mar seguido por la primera ola gigantesca y a continuación por varias más.

La falsa seguridad que suele dar el descenso del nivel del mar ha ocasionado muchas víctimas entre las personas que, imprudentemente, se acercan por curiosidad u otros motivos, a la línea de costa.

España puede sufrir tsunamis catastróficos, como quedó comprobado en el terremoto de Lisboa en 1755. Como consecuencia de este sismo varias grandes olas arrasaron el golfo de Cádiz causando más de 2000 muertos y muchos heridos y daños materiales.

En 1946 se creó la red de alerta de tsunamis después del maremoto que arrasó la ciudad de Hilo (Hawaii) y varios puertos más del Pacífico. Hawaii es afectado por un tsunami catastrófico cada 25 años, aproximadamente.

Los tsunamis pueden recorrer grandes distancias, como el que afectó la costa japonesa en 1960, provocado por un terremoto ocurrido en Chile, a 16 000 Km de distancia. Los tsunamis son más frecuentes en el Pacífico, rodeado como está por el llamado "cinturón de fuego".

3.9 Intensidad y origen de los sismos. Sismógrafo y ondas sísmicas

Para poder describir la fuerza de un terremoto y los daños que produce se han confeccionado escalas que miden la intensidad y la magnitud de los sismos.

La intensidad es una medida subjetiva de los efectos de los sismos sobre los suelos, personas y estructuras hechas por el hombre. No usa instrumentos sino que se basa en las observaciones y sensaciones ocasionadas por el terremoto. Es útil para describir el terremoto en zonas en las que no hay sismógrafos próximos y para comparar los terremotos antiguos. Hay más de 50 escalas distintas para medir la intensidad, pero las más conocidas son dos:

- La Mercalli modificada. Tiene 12 grados y es la más usada internacionalmente
- la MSK es la que se utiliza en la mayoría de los países europeos y es la oficial en España (Tabla 3.3). Va del grado I al XII.

La magnitud es una medida objetiva de la energía de un sismo hecha con sismógrafos. La escala más conocida y usada es la de Richter (1935) y mide el "logaritmo de la máxima amplitud de un sismograma registrado por un instrumento estándar, a una distancia de 100 kilómetros del epicentro". Posteriormente ha sufrido correcciones, pero la idea básica sigue siendo la misma (Tabla 3.1). Como la escala es logarítmica el paso de una unidad a la siguiente supone multiplicar la energía por diez. El mayor terremoto conocido en el mundo se produjo en Chile en 1960 y tuvo una magnitud de 9,5. Ocasionó 6000 muertos y produjo un tsunami que causó víctimas en Hawaii y Japón.

Un terremoto de magnitud 12 en la escala de Richter partiría la Tierra en dos.

Tabla 3.1 Magnitud de los terremotos

Terremotos al año, en el mundo, según magnitud (escala de Richter)		
Descripción	Magnitud	Número por año
Enorme	8,0+	1
Muy grande	7,0-7,9	18
Grande (destrutivo)	6,0-6,9	120
Moderado (daños serios)	5,0-5,9	1,000
Pequeño (daños ligeros)	4,0-4,9	6,000
Sentido por la mayoría	3,0-3,9	49,000
Se puede llegar a percibir	2,0-2,9	300,000
Imperceptible	menos de 2,0	600,000+

En la actualidad, la intensidad de los terremotos se ha venido midiendo mediante observación directa de las destrucciones y otras consecuencias del movimiento sísmico. Con este objetivo se han establecido diferentes escalas cualitativas, mediante las cuales se clasifican los terremotos en “grados”. Es decir, que de acuerdo con los efectos del movimiento sobre las construcciones y otros objetos, se van asignando grados al mismo, por ejemplo grado I, IV, VI, etc. Estos grados de intensidad, como es lógico, no son constantes en un terremoto, sino que su valor disminuye a partir del epicentro hacia fuera. Son muy conocidas las escalas sísmicas de Richter, así como la de Mercalli.

Una escala absoluta de intensidades (M), es la de Gutenberg-Richter (Tabla 3.2), la cual está relacionada con la energía del sismo, libera en el foco. Dicha energía puede evaluarse a partir de la expresión:

$$E = \pi^2 \rho v \left(\frac{a}{T} \right)^2$$

Donde,

E – Energía

V – Velocidad de las ondas

ρ – Densidad media de las rocas

T – Periodo de las oscilaciones

En esta escala los sismos más débiles tienen una intensidad 0 (10^{10} ergios*) y los más fuertes 9 (10^{26} ergios). Los límites de intensidad están dados por la resistencia de las rocas.

Tabla 3.2 Escala de Gutenberg-Richter

Designación	Fuerza	Intensidad (M)	Energía (ergios)	# de sismos por año
Catastrófico	11 - 12	8 o más	10^{25}	1
Fuertemente destructor	9 – 11	7 – 7,9	10^{23}	10
Destructor	7 – 9	6 – 6,9	10^{21}	100
Acompañados de daños	6 - 7	5 – 5,9	10^{19}	1 000
Bastante débil	5 - 6	4 – 4,9	10^{17}	10 000
Sólo perceptible	4 - 5	3 – 3,9	10^{15}	100 000

1 ergio = 1dina/cm.

Tabla 3.3 Escala MSK propuesta en 1964

Grado	Consecuencias
I	No percibida por humanos, sólo por sismógrafos
II	Percibida sólo por algunas personas en reposo, en pisos altos
III	Percibida por algunas personas en el interior de los edificios. Similar al paso de un camión ligero
IV	Percibido por muchos en el interior de los edificios. No atemoriza. Vibran ventanas, muebles y vajillas. Similar al paso de un camión pesado.
V	Las personas que duermen se despiertan y algunas huyen. Los animales se ponen nerviosos. Los objetos colgados se balancean ampliamente. Puertas y ventanas abiertas baten con violencia. En ciertos casos se modifica el caudal de los manantiales.
VI	Muchas personas salen a la calle atemorizadas. Algunos llegan a perder el equilibrio. Se rompe cristalería y caen libros de las estanterías. Pueden sonar algunas campanas de campanarios. Se producen daños moderados en algunos edificios. Puede haber deslizamientos de tierra.
VII	La mayoría se aterroriza y corre a la calle. Muchos tienen dificultades para mantenerse en pie. Lo sienten los que conducen automóviles. Muchas construcciones débiles sufren daños e incluso destrucción. Alguna carretera sufre deslizamientos. En las lagunas se nota oleaje y se enturbian por remoción del fango. Cambian los manantiales: algunos se secan y otros se forman.
VIII	Pánico general, incluso en los que conducen automóviles. Los muebles, incluso pesados, se mueven y vuelcan. Muchas construcciones sufren daños o destrucción. Se rompen algunas canalizaciones. Estatuas y monumentos se mueven y giran. Pequeños deslizamientos de terreno, grietas de varios centímetros en el suelo. Aparecen y desaparecen nuevos manantiales. Pozos secos vuelven a tener agua y al revés.
IX	Pánico general. Animales que corren en desbandada. Muchas construcciones son destruidas. Caen monumentos y columnas y se rompen parcialmente las conducciones subterráneas. Se abren grietas de hasta 20 centímetros de ancho. Desprendimientos y deslizamientos de tierra y aludes. Grandes olas en embalses y lagos
X	La mayoría de las construcciones sufren daños y destrucción. Daños peligrosos en presas y puentes. Las vías se desvían. Grandes ondulaciones y roturas en carreteras y canalizaciones. Grietas de varios decímetros en el suelo. Muchos deslizamientos. El agua de canales y ríos es lanzada fuera del cauce.
XI	Quedan fuera de servicio las carreteras importantes. Las canalizaciones subterráneas destruidas. Terreno considerablemente deformado.
XII	Se destruyen o quedan dañadas prácticamente todas las estructuras, incluso las subterráneas. Cambia la topografía del terreno. Grandes caídas de rocas y hundimientos. Se cierran valles, se forman lagos, aparecen cascadas y se desvían ríos.

El origen de los sismos

De acuerdo con su origen, los sismos pueden dividirse en tres grandes grupos, los tectónicos, los volcánicos y los de colapso. La gran mayoría de ellos, por lo menos los de cierta importancia son de origen tectónico.

El origen tectónico de los terremotos se ha determinado por el hecho de que las zonas de mayor actividad sísmica, coinciden con las de los movimientos tectónicos actuales más intensos. Lo expresado puede comprobarse superponiendo un mapa sísmico a uno tectónico, fundamentalmente de movimientos actuales que son los que han provocado los sismos registrados.

El origen inmediato de los sismos, es provocado por el incremento de las tensiones tectónicas elásticas en las rocas, hasta llegar a su límite de resistencia, que es cuando de repente sufren la ruptura y se desplazan. Antes de ocurrir el terremoto, el incremento de las tensiones hace que se vaya acumulando energía potencial elástica, que al producirse el choque, se libera, transformándose en energía cinética, que se propaga en todas las direcciones, amortiguándose gradualmente, en forma de ondas elásticas, que al llegar a la superficie producen el terremoto.

El punto o zona donde se origina el terremoto se denomina “foco” o “hipocentro” (Fig. 3.15). La proyección del hipocentro sobre la superficie terrestre es el llamado “epicentro”, que lógicamente es el lugar donde las sacudidas son más intensas.

La profundidad hipocentral de los terremotos puede ser hasta de 600-800km, pero lo más frecuente es que los focos se encuentren relacionados con las partes superiores de la corteza terrestre. En general puede decirse que son frecuentes a profundidades menores de 50km.

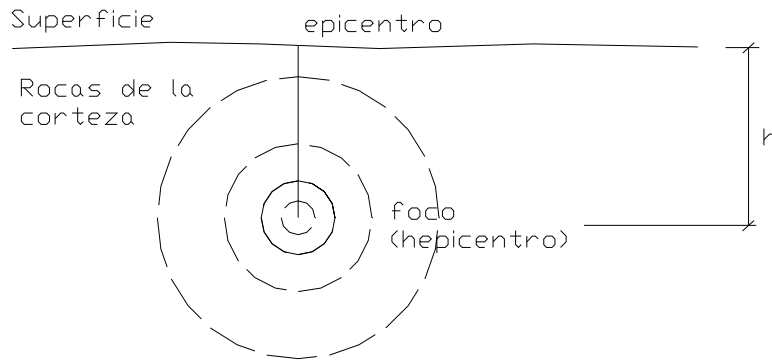


Fig. 3.15 Origen de un sismo

Alrededor del epicentro, la intensidad del terremoto va disminuyendo a medida que nos alejamos del mismo. Los puntos de igual intensidad pueden unirse por medio de una línea llamada “isosista”. Estas curvas rodean al epicentro en forma de elipses concéntricas, conformándose de este modo un mapa de intensidades, que nos permite resumir las características generales de la intensidad del terremoto.

Ondas sísmicas

Como ya conocemos, a partir del foco se propagan en todas direcciones ondas elásticas, que al llegar a la superficie producen el terremoto. Estas ondas sísmicas son de tres tipos principales:

- Ondas Longitudinales (p): Son ondas en las que las partículas vibran en la misma dirección de propagación del movimiento oscilatorio, es decir, son una serie de movimientos de dilatación y compresión de la roca. Estas ondas se conocen también con el nombre de “ondas primarias” (p), por ser las que tienen mayor velocidad de propagación. Ellas son producidas por alteración del volumen.
- Ondas transversales (s): En este caso las partículas vibran perpendicularmente a la dirección de propagación del movimiento. Tienen una velocidad de propagación menor que las ondas p, y se les llaman también “ondas secundarias” (s), por llegar a la superficie después que las longitudinales. Ellas se producen como reacción a la alteración de la forma.
- Ondas superficiales (l): Se originan en la superficie de frontera entre dos medios de diferente estado, por ejemplo, roca-atmósfera (sólido-gaseoso).

Estas ondas se propagan por la superficie de discontinuidad, y con una velocidad mucho menor que las anteriores.

Sismógrafos

Para el registro y estudio detallado de los sismos se utilizan aparatos especiales altamente sensibles denominados sismógrafos. Estos equipos se basan en el principio del péndulo de inercia, y los mismos son de dos tipos fundamentales:

- de componente vertical
- de componente horizontal

La determinación real de la dirección de las oscilaciones se hace utilizando tres equipos.

El registro tomado por los sismógrafos recibe el nombre de sismograma y en el mismo quedan grabadas las oscilaciones del terreno de una forma exagerada. Sobre ésta gráfica, automáticamente se va marcando el tiempo en segundos, que permite interpretar con cierta precisión los resultados.

El estudio del sismo grama permite conocer aspectos importantes de los terremotos, como son por ejemplo, la distancia del instrumento al epicentro, la profundidad hipocentral, etc.

En el sismograma mostrado pueden observarse las ondas p, s y l, con sus tiempos de llegada correspondientes.

La interpretación de los sismogramas es una tarea difícil y debe ser realizada solamente por especialistas. No obstante, pueden obtenerse algunos resultados por simple inspección.

3.10 Zonación sísmica de Cuba

El territorio nacional, para fines de aplicación se ha dividido en 4 zonas, las cuales se indican en los Mapas de Zonificación Sísmica con Fines de Ingeniería de las figuras 3.16 y 3.17. Dichas zonas se describen y se le asignan valores de aceleración en fracciones de la gravedad. En la tabla 3.4 se listan las principales localidades ubicadas en las mismas.

El mapa presentado es el resultado de una evaluación cualitativa del riesgo sísmico con criterios probabilísticos con la información disponible hasta la fecha.

La NC-053-114. Construcción Sismorresistente, establece la metodología para el cálculo de la carga de sismo a emplear en el proyecto estructural, según el llamado “método dinámico”. En este documento se establece un esquema de zonas sísmicas para el sector de la construcción, en el que se definen 4 zonas:

Zona 0

De riesgo sísmico muy bajo sin efectos dañinos para las construcciones donde no es necesario tomar medidas sismo-resistentes en estructuras y obras. No obstante desde el punto de vista sismológico, no puede decirse que existe sismicidad nula.

Zona 1

De riesgo sísmico bajo que puede ocasionar daños en las construcciones debiéndose tomar medidas sismo - resistentes en todas las estructuras y obras en función de la importancia de las mismas. Esta zona se subdivide a la vez en dos zonas; 1A y 1B. Los valores de la aceleración horizontal máxima del terreno para el cálculo **A** serán de 0.075g para la Zona 1A y de 0,1g para la zona 1B

Zona 2

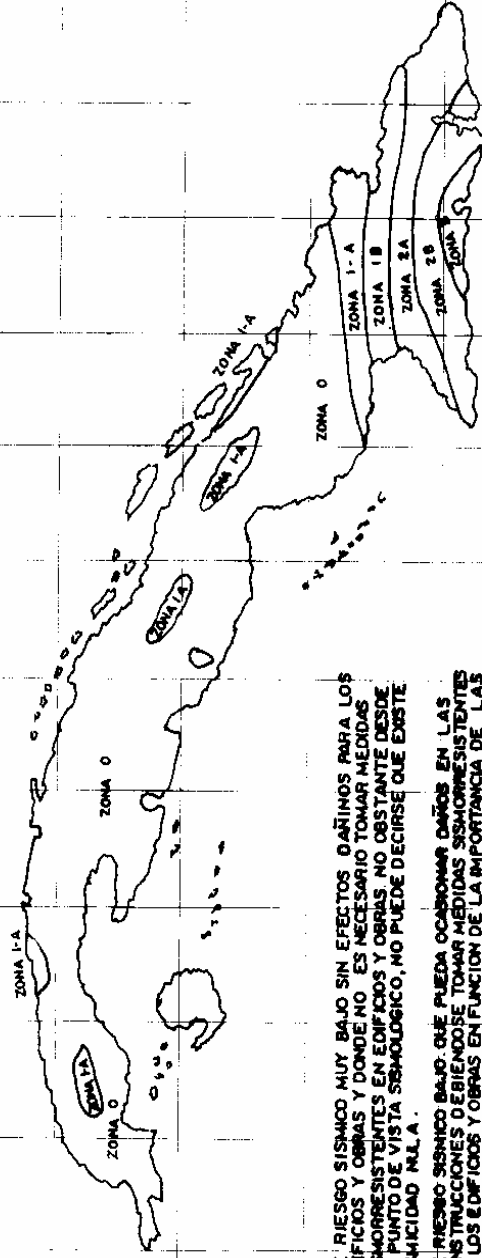
De riesgo sísmico moderado que puede ocasionar daños en las construcciones debiéndose tomar medidas sismo - resistentes en todas las estructuras y obras en función de la importancia de las mismas. Esta zona se subdivide a la vez en dos zonas; 2A y 2b. Los valores de la aceleración horizontal máxima del terreno para el cálculo **A** serán 0,15g para la Zona 2A y de 0,20g para la zona 2B

Zona 3

De riesgo sísmico alto que puede ocasionar daños graves en las construcciones debiéndose tomar medidas sismo - resistentes en las estructuras y obras en función de la importancia de las mismas. La aceleración horizontal máxima del terreno para el cálculo **A** será de 0,30g

Tabla 3.4 principales localidades ubicadas en las diferentes zonas sísmicas del territorio nacional

Zonas Sísmicas				
1A	1B	2A	2B	3
Amancio	Cacocún	Baracoa	Alto Songo	Aserradero
Banes	Cauto Embarcadero	Bartolomé Masó	El Caney	Cabañas
Caimito	Cueto	Bayamo	El Cristo	Caletón
Consolación del S.	Guamo Emb.	Bayate	La Maya	El Cobre
Esmeralda	Mayarí	Buey Arriba	Niceto Pérez	Chivirico
Holguín	Sagua de Tánamo	Campecheula	Palma Soriano	Santiago de Cuba
Jobabo	Urbano Noris	Contramaestre	Pilón	Siboney
Las Tunas		Florida	San Luis	Sigua
Mir		Guantánamo	Yerba Guinea	
Nuevitas		Imías		
Punta Brava		Jiguaní		
Releite		Mangos de Baraguá		
Santa Cruz del S		Manzanillo		
San Diego los B		Mayarí Arriba		
Velazco		Media Luna		
		Niquero		
		San Antonio del S.		
		Yara		



ZONA - 0
DE RIESGO SISMICO MUY BAJO SIN EFECTOS DAÑINOS PARA LOS EDIFICIOS Y OBRAS Y DONDE NO ES NECESARIO TOMAR MEDIDAS SISMORRESISTENTES EN EDIFICIOS Y OBRAS NO OBTANTE DESDE EL PUNTO DE VISTA SISMOLOGICO, NO PUEDE DECIRSE QUE EXISTE SISMICIDAD MUY ALTA.

ZONA - 1
DE RIESGO SISMICO BAJO QUE PUEDE OCASIONAR DAÑOS EN LAS CONSTRUCCIONES DEBIENDOSE TOMAR MEDIDAS SISMORRESISTENTES EN LOS EDIFICIOS Y OBRAS EN FUNCION DE LA IMPORTANCIA DE LAS MISMAS. LA ACELERACION HORIZONTAL MAXIMA DEL TERRENO PARA EL CALCULO SERA DE 0.075 g PARA LA ZONA 1-A Y DE 0.10g Y PARA LA ZONA 1-B.

ZONA - 2
DE RIESGO SISMICO INTERMEDIO QUE PUEDE OCASIONAR DAÑOS EN LAS CONSTRUCCIONES, DEBIENDOSE TOMAR MEDIDAS SISMORRESISTENTES EN LOS EDIFICIOS Y OBRAS EN FUNCION DE LA IMPORTANCIA DE LAS MISMAS. LA ACELERACION HORIZONTAL MAXIMA DEL TERRENO PARA EL CALCULO SERA DE 0.15g PARA LA ZONA 2-A Y DE 0.20g PARA LA ZONA 2-B.

ZONA - 3
EL RIESGO SISMICO ALTO CAPAZ DE OCASIONAR DAÑOS GRAVES EN LAS CONSTRUCCIONES DEBIENDOSE TOMAR MEDIDAS SISMORRESISTENTES EN LOS EDIFICIOS Y OBRAS EN FUNCION DE LA IMPORTANCIA DE LA MISMA. LA ACELERACION HORIZONTAL MAXIMA DEL TERRENO PARA EL CALCULO SERA DE 0.30g.

[illegible]

Fig. 3.17 Zonación sísmica de la región oriental

3.11 La construcción en zonas sísmicas. Determinación de la carga sísmica

Según señalan distintos autores, los edificios de estructura de acero, bien calculados y contruidos resisten los terremotos más fuertes. En el terremoto de Tokio (1943), de 16 grandes edificios de acero, sólo uno casi se derrumbó y cinco sufrieron daños de consideración. En este terremoto se derrumbaron 576 262 casas. No obstante, las estructuras de hormigón armado pueden diseñarse y construirse con gran seguridad, como lo demuestran las construcciones antisísmicas ejecutadas en Japón, Estados Unidos, etc. Que han resistido sismos de considerable intensidad.

La construcción antisísmica constituye toda una especialidad en la Ingeniería Estructural, y la misma se basa no solamente en las características estructurales de los edificios, sino también en las características sismológicas de la zona de emplazamiento de los mismo, incluyendo la estructura y los materiales geológicos yacentes.

Gran importancia práctica ofrecen los mapas de microregionalización sísmica para el proyecto y construcción de obras civiles, ya que en ellos se reflejan las condiciones propias del lugar, que pueden agravar los efectos de los terremotos, ya sea por el tipo de material, presencia de aguas subterráneas, posibles deslizamientos de tierra, etc.

En Cuba se han realizado estudios de microregionalización sísmica, fundamentalmente en la zona de Santiago de Cuba, que es la más peligrosa en este sentido.

Determinación de la carga sísmica

La carga sísmica que actúa sobre una edificación u obra se determina:

- De acuerdo con el período y el modo o grado de vibración propia del edificio u obra.
- En dependencia del peso, cargas de la obra.
- El grado sísmico de la zona.
- Las condiciones del subsuelo.
- La importancia de la obra o edificio.

Las cargas sísmicas horizontales se asume que actúan a lo largo de los ejes longitudinales y transversales. Se asumen aplicadas a los niveles de los pisos (pues es ahí donde se consideran aplicadas, de forma concentrada las masas).

Las cargas sísmicas verticales para balcones, voladizos, según la fórmula de carga horizontal aplicada en el centro de masa del elemento; en obras de fábrica del 15-25% de carga estática vertical, para sismicidades VII y VIII grados.

En el cálculo simultáneo de las acciones sísmicas horizontal y vertical se utilizará como carga resultante la composición vectorial de ambas acciones y se considerara el diseño en el sentido que resulte más desfavorable.

CAPITULO IV

Investigaciones Ingeniero-Geológicas

4.1 Investigaciones Ingeniero-Geológicas. Generalidades

La ingeniería geológica estudia los factores geológicos que afectan la planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de estructuras ingenieras.

Se consideran investigaciones ingeniero-geológicas a todas aquellas actividades que proporcionan la identificación de los suelos y rocas de interés en el área de estudio, así como las propiedades concernientes a sus parámetros fundamentales que permitan caracterizar el comportamiento presumible de todos los elementos que reciben la acción o resultan afectados por la influencia de la construcción que se pretende ejecutar.

El empleo racional de todos los factores que intervienen en un estudio de suelo posibilita una solución técnica adecuada para la realización de un proyecto de cimentación económicamente conveniente. La mecánica de suelos y rocas como nuevas ciencias surgidas en el siglo pasado, facilitaron la complementación de ambos aspectos, el técnico y el económico.

Las investigaciones ingeniero-geológicas darán a conocer las condiciones más importantes del suelo y las rocas, pero siempre habrá algún riesgo de condiciones desconocidas. Este riesgo puede reducirse al mínimo haciendo una investigación mas completa pero nunca se puede eliminar.

No se puede acometer proyecto alguno de la clase que sea, con la garantía de no tener dificultades. El grado de éxito alcanzado refleja la habilidad e inventiva de los que intervienen, pero también depende de circunstancias que están fuera de control.

4.2 Mapas geológicos y geotécnicos

El mapa geológico es el que resume de forma general la constitución geológica general del área de estudio. Los mapas geológicos muestran la estructura geológica de distintas áreas de la superficie terrestre y de la tierra en conjunto. Un mapa geológico revela la distribución en la superficie terrestre de estratos rocosos de distintas edades, composición, petrográfica y contenido mineral, la distribución de las aguas subterráneas y demás.

El mapa geológico es un instrumento esencial para acometer las investigaciones geológicas con claridad, precisión y rapidez. Además es un elemento indispensable para la interpretación de problemas, que mediante la observación directa en el terreno sería en extremo difícil y en ocasiones imposible.

En estos, se ha convenido eliminar los sedimentos del cuaternarios, pues de no ser así se perdería el objetivo fundamental del mismo, además para el emplazamiento de la obra se realiza generalmente un movimiento de tierras que incluye la eliminación de la capa vegetal (descortezado). No obstante las formaciones cuaternarias se señalan en los mapas en los siguientes casos:

- Cuando tienen un gran espesor (potencia)
- Cuando tienen importancia para el proyecto a realizar e interés económico
- Cuando se desconoce la naturaleza de los sedimentos que yacen debajo de ellos

Los mapas geotécnicos nacen de una integración de factores básicos sobre el terreno y el entorno, tales como litología, clima, topografía, etc.

Dependiendo de la variedad de aspectos diferentes que deban ser tratados, aparecen multitudes de mapas geológicos-geotécnicos, los que varían según el tipo de incidencia básica que se trata desde la planificación regional hasta los estudios de detalle, la escala de trabajo, metodología, etc.

Simbología en los mapas

Muchos símbolos geológicos tienen carácter internacional debido a su gran uso y difusión, otros sin embargo tienen un carácter convencional y son empleados de modo muy particular por algunos geólogos, instituciones o países, por lo que deben aparecer debidamente referenciados en los mapas.

Los símbolos empleados en los mapas geológicos suelen dividirse en tres grupos fundamentales: cronológicos, litológicos y de carácter general.

- Símbolos cronológicos: representan la edad de los materiales que aparecen reflejados en un plano geológico, puede mostrarse de modos diferentes; mediante símbolos con letras o por colores.
- Símbolos litológicos: son aquellos que representan los tipos de materiales que aparecen reflejados en el plano geológico; estos pueden ser representados en blanco y negro o con colores.

Los símbolos en perfiles o cortes geológicos se adaptan a la orientación de las rocas. Es decir en un pliegue también los símbolos son plegados. En capas inclinadas se inclinan también los símbolos (solo para símbolos orientados).

Para rocas carbonatadas (Fig. 4.1) como caliza, dolomitas, margas y otras se usa normalmente una simbología orientada como los “ladrillos”. Diferentes tipos de calizas se puede diferenciar por tamaño de los ladrillos.

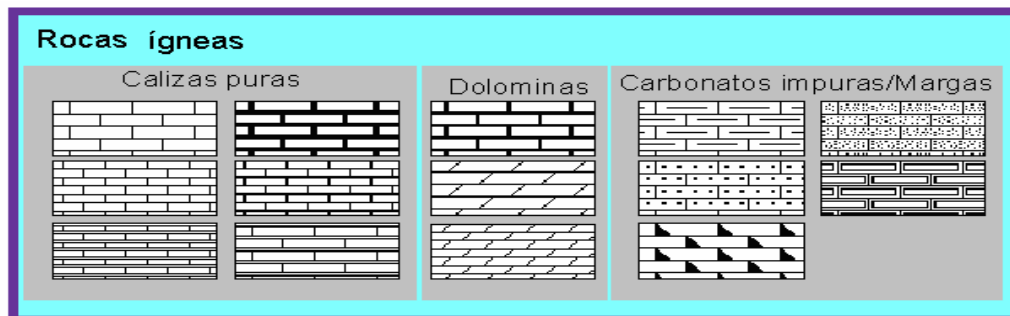


Fig. 4.1 Símbolos en blanco y negro para rocas ígneas

Para rocas sedimentarias clásticas (Fig. 4.2): Areniscas, Arcillas, Pizarras, Conglomerados y Brechas.



Fig. 4.2 Símbolos en blanco y negro para rocas sedimentarias

Rocas volcánicas (Fig.4.3) como Andesitas, Basaltos, Riolitas y para rocas intrusivas como Granito, Diorita, Sienita.

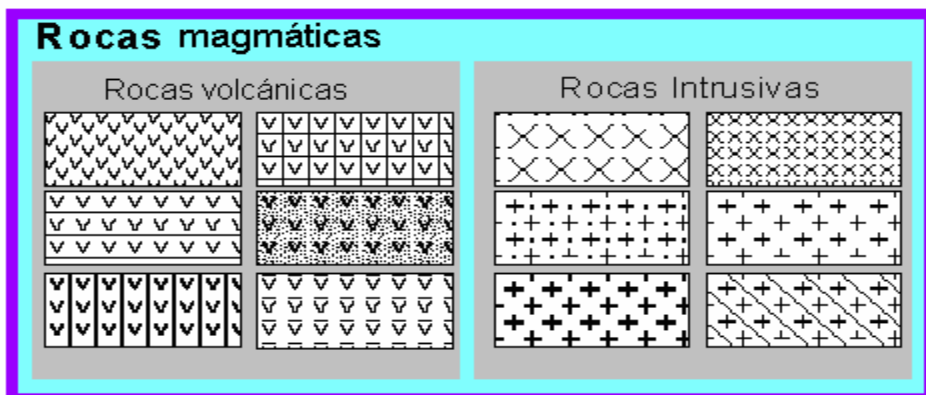


Fig. 4.3 Símbolos en blanco y negro para rocas magmáticas

Rocas metamórficas (Fig.4.4) deformadas como Pizarras, Esquistosos. Otros tipos de rocas (Fig.4.5)

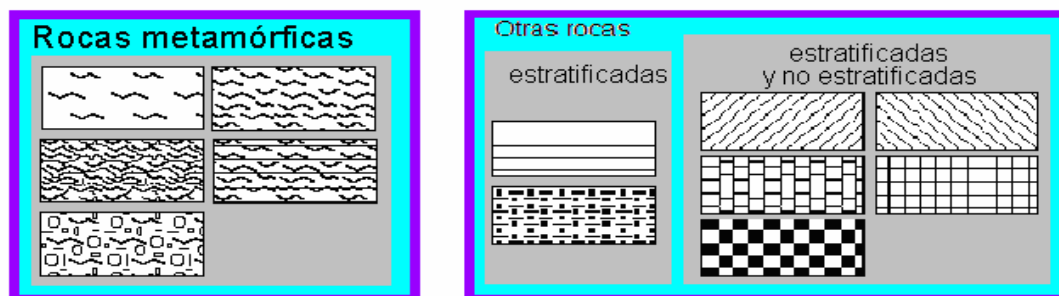


Fig. 4.4 y 4.5 Símbolos en blanco y negro para rocas metamórficas y otras
Los mapas "más profesionales" normalmente se confeccionan a color. Cada edad tiene su propio color así como también los tipos de rocas (Fig.4.6).

Edad	Color
Cuaternario	amarillo muy claro
Neógeno	amarillo
Paleógeno	verde claro
Cretácico	verde limón
Jurásico	azul
Triásico	violeta
Pemico	café-azul
Carbonífero	gris
Devónico	café
Silúrico	verde-azul
Ordovicio	verde oscuro
Cámbrico	gris-verde

Roca	Color
ácidas	rojo
básicas	verde
ultrabásicas	violeta
medias	naranja

Fig. 4.6 Símbolos litológicos a color

- Símbolos de carácter general (Fig. 4.7): para realizar la interpretación de la geología representada, es necesario contar con una serie de datos, que son aportados por símbolos estructurales, de carácter informativo.

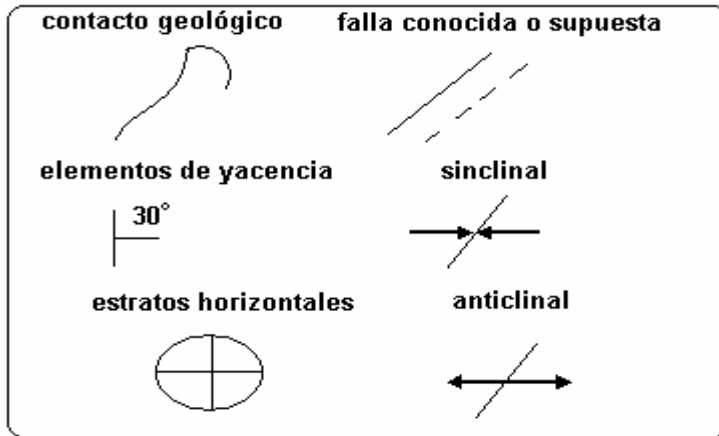


Fig. 4.7 Símbolos de carácter general

Perfil geológico

Los perfiles o secciones geológicas se construyen con el objetivo de conocer la disposición de los materiales y fenómenos geológicos, según una dirección determinada (Fig. 4.8).

Un perfil geológico es la representación esquemática de un corte ideal del subsuelo donde se muestra la disposición de los materiales y fenómenos geológicos.

Los cortes geológicos tienen una gran aplicación en la ingeniería práctica siendo muy usados en el proyecto y construcción de presas, túneles, metros, carreteras, etc. La correcta interpretación de los mismos reduce notablemente el número de sondeos a realizar y permite dirigir la atención hacia los lugares más complejos.

Para construir un corte geológico se debe hacer primeramente un perfil topográfico basándose en las curvas de nivel. La escala horizontal que se emplea es la misma del mapa geológico, mientras que la vertical puede exagerarse para destacar algunos elementos.

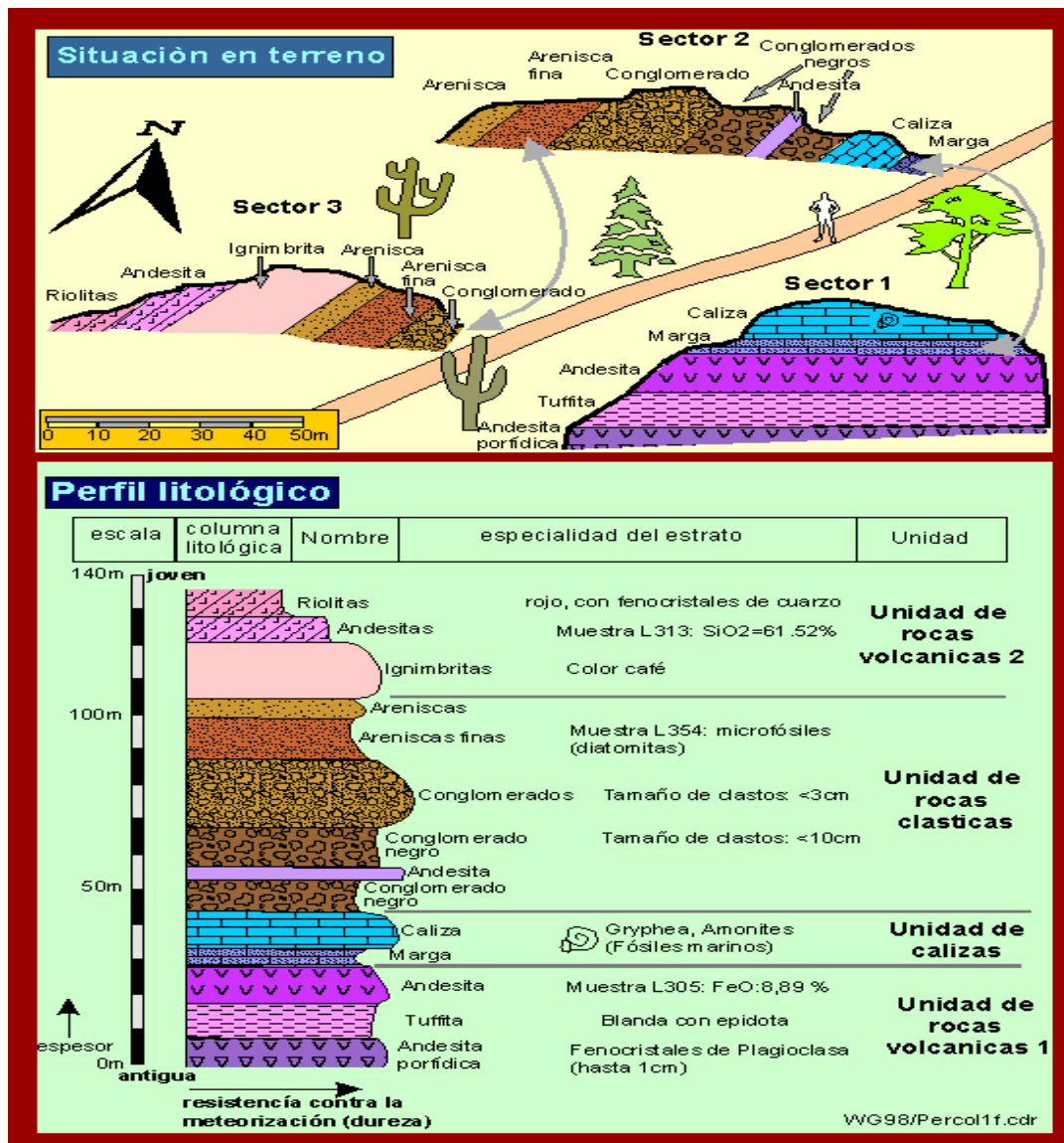


Fig. 4.8 Muestra de un perfil y su localización en el terreno

Columnas estratigráficas

Una columna estratigráfica es una herramienta de estudio de la ingeniería geológica, que consiste en establecer como es la estructura vertical de las capas de rocas en un punto determinado, con una escala desde unos pocos centímetros de profundidad, hasta de incluso kilómetros. Se utilice un método u otro, la construcción de la columna estratigráfica, también llamada serie estratigráfica, tiene dos pasos fundamentales: identificar las distintas capas, y determinar su edad, para establecer a qué período geológico pertenecen. La identificación de las capas se realiza mediante el estudio de las facies.

Analizando las facies se determina qué capas hay en toda la columna que se ha estudiado. Una vez diferenciadas, se recurre a otras técnicas para establecer su edad. Lo más frecuente es emplear los fósiles, ya sean macrofósiles o microfósiles. Este método es muy preciso. En otras ocasiones se utilizan eventos especialmente significativos y bien identificados de la geología de la Tierra, como por ejemplo la presencia de cenizas de una erupción muy virulenta reconocida e identificada. Y otras muchas veces, y más cuando se quieren medidas de edad mucho más precisas, se utiliza la información extraída por las cadenas de isótopos radiactivos. Estos procesos ocurren a una velocidad determinada y específica para cada elemento radiactivo, de forma que si se es capaz de determinar la cantidad de elemento original y de elemento producto de la desintegración, como se conoce la velocidad a la que el primero desaparece para transformarse en el segundo, se puede determinar el tiempo transcurrido desde su deposición en la capa.

Las columnas estratigráficas son muy útiles porque permiten saber qué procesos geológicos han ocurrido en un punto dado a lo largo de la historia geológica de la Tierra.

Clasificación de los mapas

Los mapas geológicos se dividen según su finalidad en generales y especiales.

- Los mapas generales contienen la estructura geológica, las edades de los complejos estratigráficos, el magmatismo que ha 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 orientados para la prospección de yacimientos minerales y petróleo, problemas hidrogeológicos.
- Los mapas especiales se confeccionan para resolver los problemas geológicos con un determinado fin. Entre ellos pueden citarse los mapas litológicos, estratigráficos, tectónicos, etc.

Los mismos también pueden clasificarse en superficiales y profundos.

- Los mapas geológicos superficiales son los que muestran la distribución y características de los materiales y fenómenos geológicos que aparecen en la superficie terrestre, inmediatamente debajo de los sedimentos cuaternarios.

Dichos mapas se ejecutan a partir de datos obtenidos en la superficie del terreno, por medio de afloramientos naturales o artificiales. El mapa geológico superficial expone las relaciones geólogo-topográficas y la distribución superficial de los diferentes materiales y fenómenos geológicos.

- Los mapas geológicos profundos muestran las características estructurales de las materiales, por lo que se conocen también con el nombre de mapas estructurales. Los mapas estructurales más usados son los que representan las estructuras por medios de estratoisohipsas. Los mapas profundos se ejecutan a partir de datos obtenidos por registros de pozos, investigaciones geofísicas, sondeos y extrapolaciones de los datos de superficie.

Los mapas geológicos también pueden clasificarse según su escala:

- Mapas de reconocimiento (o de resumen) 1:1 000000 y menores
- Mapas regionales (sinópticos) 1:250 000-1:100 000
- Mapas básicos
- Mapas detallados

Los mapas usados en ingeniería civil pertenecen a este tipo y por eso son llamados mapas ingeniero-geológicos o geotécnicos.

Clasificación de los mapas ingeniero-geológico o geotécnicos

Son mapas especiales que generalmente se hacen a escala detallada de 1:50000 o mayores. Su objetivo es presentar un cuadro claro y comprensivo de las condiciones geológicas, morfológicas e hidrogeológicas del área.

- Por su objeto
 - ✓ Específicos: para un determinado aspecto de la ingeniería(carreteras, urbanismo, industrias)
 - ✓ Generales: para todos los aspectos del desarrollo de una zona
- Por su contenido
 - ✓ Analíticos: de un determinado factor geológico(geomorfología, hidrogeología, formaciones superficiales, materiales, sísmicos, geoambientales)
 - ✓ De síntesis, que a su vez pueden ser: de condiciones geotécnicas, de zonificación geotécnica y de aptitud

- Por su escala
 - ✓ Grande $E \leq 1:10000$
 - ✓ Mediana $1:10000 < E \leq 1:100000$
 - ✓ Pequeña $E > 1:100000$

4.3 Estudios de riesgos geológicos y geoambientales

La espectacularidad de los avances científicos y tecnológicos de los últimos años puede dar la impresión de que se ha conseguido un dominio sobre la naturaleza casi total. Pero cuando sucede un terremoto, un volcán entra en erupción o una gran inundación arrasa una zona, se hace patente la grandeza de las fuerzas de la naturaleza que, en pocos minutos, pueden liberar energías destructoras de enorme magnitud.

Los eventos geológicos son procesos que tienen lugar en el planeta, y que generan transformaciones que ocurren de una manera lenta o súbita. Sin embargo unos y otros pueden ser igualmente letales para la sociedad.

Los eventos lentos o acumulativos son aquellos que actúan durante un largo período de tiempo, por lo que sus efectos no son muy evidentes a simple inspección. Estos eventos se traducen en contaminaciones al medio, erosión, movimientos seculares del terreno; estos últimos se desarrollan a pequeñas velocidades y se miden a milímetros por año, pero con el tiempo llegan a modificar el relieve, afectar edificaciones, las costas o el curso de los ríos.

En contraste, los eventos súbitos, generalmente catastróficos, son aquellos que tienen lugar por la liberación en un breve espacio de tiempo, de alguna energía del interior de la tierra, que se traduce en erupciones volcánicas, terremotos, derrumbes, deslizamientos, etc.

En la tabla 4.1 los eventos geológicos que implican amenazas para Cuba.

A continuación se expone brevemente algunos de estos fenómenos:

- Movimientos de tierras y aludes

Los deslizamientos de taludes, desprendimientos de rocas y aludes de nieve son algunos de los procesos geológicos más comunes en la superficie de la Tierra. Forman parte del ciclo natural del terreno ya que la erosión y la gravedad actúan constantemente para transportar materiales de las zonas más altas hacia abajo.

Se producen deslizamientos cuando capas enteras de terreno se mueven sobre el material firme que tienen por debajo. En su movimiento siguen uno o varios planos de corte del terreno (Fig. 4.9).

Los desprendimientos son fragmentos de roca que se separan de un talud y caen saltando por el aire en buena parte de su recorrido. Los aludes son caídas de grandes masas de nieve.



Fig. 4.9 Esquema de un deslizamiento

El que una ladera permanezca estable o sufra un deslizamiento depende de la unión de varios factores, entre los que están:

- ✓ Características del terreno
- ✓ Condiciones climáticas
- ✓ Macizos rocosos con fallas y fracturas
- ✓ Acción antrópicas
- ✓ Se conoce la acción de otros factores como terremotos, rocas calizas (estructuras cársticas), etc.,

➤ Erosión

Los ríos, el mar u otros procesos van erosionando la base de las laderas y provocan gran cantidad de deslizamientos. Para ver los efectos que produce la erosión ver epígrafe 3.1 del capítulo anterior.

➤ Expansividad de las arcillas

Las arcillas tienen la propiedad de que al empaparse de agua aumentan su volumen. Esto supone que los terrenos arcillosos en climas en los que alternan períodos secos con otros húmedos se deforman y empujan taludes, rocas, carreteras, etc. provocando deslizamientos y desprendimientos.

➤ Los terremotos y volcanes

Los terremotos y volcanes clasifican dentro de los riesgos súbitos, estos generalmente cuando ocurren provocan grandes pérdidas humanas y materiales por lo que se hace necesario tenerlos en cuenta para minimizar sus efectos dentro de lo posible.

➤ Desplomes de cavernas

En muchas islas del Caribe y en especial en Cuba, hay amplias extensiones de terreno cuyo sustrato está constituido por calizas con paisaje cársico, las que a menudo guardan grandes reservorios de agua.

En estas condiciones otro evento geológico generador de desastres es el desplome del techo de las cavernas. Donde quiera que existan calizas se forman cavernas en la profundidad, independiente de que sea en el fondo del mar, en una costa, una llanura o una montaña. Los desplomes de los techos cavernarios ocurren normalmente, y evidencia de ello son las propias bocas de las cavernas, que en su mayoría han sido formadas por desplomes. Este es un riesgo al que se exponen sobre todo las edificaciones e instalaciones que se cimientan sobre zonas cársicas por lo que su ejecución debe estar precedida por investigaciones ingeniero-geológicas del sustrato para situar adecuadamente los cimientos.

Tabla 4.1 Eventos geológicos potencialmente peligrosos que se presentan en Cuba (Curso Naturaleza geológica de Cuba, 2006)

Tipo de evento	Causas principales	Áreas de riesgos	Grado de predictibilidad
Erupciones volcánicas y fumarolas	Transformaciones físico-químicas en el interior de la tierra	Zonas volcánicas activas y latentes	En Cuba no se espera que ocurran en el futuro
Tsunamis (maremotos)	Terremotos, derrumbes, impactos de meteoritos	Zonas costeras bajas, sobre todo en las márgenes de los mares	Se pueden predecir a corto plazo si se establecen

		profundos	sistemas especiales de observación
Transformaciones costeras por los movimientos del terreno	Geotectónica	Zonas costeras en regiones tectónicamente activas	Estos movimientos son lentos (mm/años) es posible tomar previsiones a mediano plazo
Terremotos	Erupciones volcánicas y fallas tectónicas	Zonas sísmo-activas en los contornos de las placas tectónicas y zonas de tensiones a lo largo de las fallas	Aún no se pueden predecir a corto plazo
Derrumbes de laderas montañosas	Alteración de las rocas, fracturas y acción de la gravedad	Laderas montañosas de laderas abruptas asociadas a fallas, terremotos, deshielos y tormentas pluviales	Difíciles de predecir a menos que se establezcan sistemas de detección especiales
Deslizamiento de lodo y piedras	Alteración de las rocas y acción de la gravedad	Zonas montañosas asociadas a deshielos y tormentas pluviales	Difíciles de predecir a menos que se establezcan sistemas de detección especiales
Desplomes de cavernas	Disolución de las calizas y acción de la gravedad	Zonas de desarrollo calizo	Difíciles de predecir a menos que se establezcan sistemas de detección especiales
Concentraciones de elementos potencialmente tóxicos en aguas, suelos y atmósfera	Composición química de las rocas y agua. Acción del hombre	Rocas, mares o manantiales con grandes concentraciones de estas sustancias	Difíciles de prevenir a menos que se realicen investigaciones específicas

Colapsos totales o parciales de edificaciones, represas, embalses, puentes y túneles	Falta de estudios de ingeniería geológica y medidas inadecuadas de aseguramiento	Obras civiles fabricadas sin estudios previos ni observaciones periódicas durante la explotación de las mismas	Pueden evitarse realizando los estudios correspondientes en cada una de las etapas de estas obras
--	--	--	---

4.4 Métodos de Investigación e Ingeniería-Geológica

La realización de cualquier proyecto de cimentaciones deberá ir presidida de una investigación geotécnica específica, adoptada a en las condiciones de cada caso concreto.

Todos los estudios, reconocimientos de campo, ensayos de laboratorio, análisis de informaciones existentes etc., deberán quedar recogidos en único documento, que constituirá el informe geotécnico que ha de servir de base al los trabajos posteriores.

Para determinar los métodos a seguir en una investigación se debe pasar por una serie de pasos o fases generales con el objetivo de recopilar toda la información necesaria:

- **Análisis o estudio preliminar:** Comprende los trabajos previos de recopilación y análisis de la información existente. En general esta fase se desarrolla en oficina aunque puede incluir visitas de inspección y cualquier otros trabajos de campo sencillos (esta etapa concluye con el informe geotécnico preliminar).
- **Estudio de trabajos anteriores:** Incluye todos los trabajos de reconocimiento de campo posteriores al estudio preliminar, así como los ensayos de laboratorio correspondientes.
- **Estudio detallado:** Depende del tipo de obra y las condiciones del terreno, incluye todos los ensayos específicos a realizar.
- **Confección de mapas y perfiles ingeniero-geológicos:** en ellos se reflejan todas las características de la zona necesarias para la ejecución del proyecto.

- Confección del informe ingeniero-geológico: El informe debe incluir un resumen de la información previa, la descripción y análisis de los trabajos realizados, la identificación de los materiales que existen en el lugar y la caracterización geotécnica de los mismos, así como los demás aspectos que resultan de interés a la hora de las valoraciones de los factores que pueden influir en la decisión del proyecto de cimentaciones.

Los métodos de investigación se dividen en dos grandes grupos; métodos directos y métodos indirectos.

- Los métodos directos son aquellos donde se obtiene una muestra que es representativa del subsuelo y se le somete a diferentes análisis. Dichas muestras pueden ser obtenidas a mano, o con equipos corrientes, tales como muestras inalteradas de superficie, calicatas, trincheras, pozos criollos, galerías y barrenas a mano; y la muestra por medio de máquinas especializadas.
- Los métodos indirectos son aquellos en los que se miden propiedades físicas desde la superficie, sin que necesariamente halla que obtener muestras. Son aquellos métodos geofísicos que esencialmente al medir una propiedad física de la roca, infieren su composición y los fenómenos geológicos ocurridos.

4.4.1 Levantamiento Ingeniero-Geológico y Geotécnico

Prospección geológica es un nombre prácticamente equivalente o sinónimo al trabajo geológico sobre el terreno o levantamiento geológico. Esto significa el examen sistemático de una región para obtener información geológica.

El levantamiento geológico ayuda al ingeniero a determinar el emplazamiento de túneles, puentes, acueductos, presas y muchas otras estructuras. El estudio de cada afloramiento debe ser un trabajo minucioso y siguiendo un plan determinado, ya que el tan solo hecho de encontrarlos ya resulta difícil.

El objetivo es la confección de los mapas geotécnicos y el mismo se realiza por medio de marcharrutas y es complementado con los resultados de los demás métodos investigativos.

Para la confección de mapas ingeniero-geológicos, es necesario realizar un levantamiento con características especiales, que no es más que el llamado levantamiento ingeniero-geológico.

Las investigaciones ingeniero-geológicas están encaminadas a cumplimentar las tareas técnicas para la construcción de una obra, es decir, reflejar las condiciones ingeniero-geológicas del área de emplazamiento de la misma, que permitan elaborar el proyecto de construcción.

Estos levantamientos se realizan de forma análoga a los que se efectúan con fines netamente geológicos, pero con la peculiaridad de que se recopilan datos más amplios y complejos.

4.4.2 Trabajos topográficos

En primer lugar, se estudia la zona objeto del trabajo para organizar adecuadamente todo el trabajo que se ha de realizar.

Posteriormente, se confecciona un plan de trabajo que al final de las diferentes fases dará como resultado el conjunto de los datos de campo imprescindibles para disponer de los valores numéricos necesarios para la confección de cualquier cartografía.

Una vez analizada la zona, se procede a establecer la ubicación de todas las estaciones desde las que hay que medir, mediante unas radiaciones desde la estación, la totalidad de los puntos. La localización de todas las estaciones será de tal manera que se podrá dirigir, desde cada una de ellas, una visual recíproca, como mínimo, a otra estación.

Una vez analizado el trabajo a realizar, se ha de señalar en el mismo terreno los puntos más adecuados para el trabajo. Las señales estarán constituidas por unos puntos exactos que, posteriormente, quedaran reflejados en los cálculos y planos entregados con la documentación.

En los trabajos topográficos de precisión es importante evitar los errores de excentricidad procedentes de una falta de exactitud en el estacionamiento del teodolito y de las miras. Para estacionar el teodolito se centra el equipo mediante una plomada óptica, se fija adecuadamente al terreno con el trípode y se nivela con

respecto a un plano paralelo al terreno en el punto de la estación. Para estacionar las miras se sitúan éstas verticalmente sobre el punto que deseamos medir gracias a una plomada de burbuja. La parte central del trabajo es la toma de datos de campo.

Una vez medidos todos los puntos, se procede a dibujar un croquis del lugar a mano alzada y, posteriormente, con una cinta métrica indeformable se reflejan en el croquis las distancias principales obtenidas. De esta forma, y con una previa corrección de los errores propios de las mediciones realizadas con cinta métrica, se dispone de otra fuente de datos para analizar el terreno a cartografiar.

Dentro de los trabajos de gabinete una vez conocidos los errores de cierre realizados se reparten los valores obtenidos proporcionalmente a cada estación y así se obtienen los resultados definitivos a partir de los cuales se puede calcular el resto de parámetros.

Los mapas topográficos utilizan el sistema de representación de planos acotados mostrando la elevación del terreno utilizando líneas que conectan los puntos con la misma cota respecto de un plano de referencia, denominadas curvas de nivel, en cuyo caso se dice que el mapa es hipsográfico. Dicho plano de referencia puede ser o no el nivel del mar, pero en caso de serlo se hablará de altitudes en lugar de cotas.

4.4.3 Investigaciones Geofísicas

Las investigaciones geofísicas se basan en la medición de distintas propiedades físicas de las rocas desde la superficie de la tierra (métodos indirectos), empleando para ello diferentes equipos especializados. A partir de esas propiedades se infiere la composición y características de los materiales que yacen a profundidad, e incluso se pueden interpretar la estructura geológica presente. Estudian los campos físicos, naturales y artificiales; los que están influidos por las diferentes cualidades físicas de los minerales y rocas, y dependen de una gama de factores los cuales son: el interperismo, cambios químicos de las aguas subterráneas, el magnetismo terrestre, estado de las tensiones naturales

del macizo rocoso. Además las diferentes características de las estructuras geológicas como fallas, rupturas, etc.

Los métodos geofísicos comenzaron a utilizarse en la ingeniería hace aproximadamente 50 años. Los más empleados en nuestro país son los eléctricos, los sísmicos y los de carotaje por lo que se hace necesario explicarlos a detalle, existen otros métodos como los gravimétricos y magnéticos.

➤ Métodos eléctricos

✓ El método de campo eléctrico natural:

Los campos de electro filtración tienen su explicación en la absorción de las paredes de los capilares de los iones de un mismo signo. La diferencia de potenciales entre los extremos del capilar provoca una corriente de dirección opuesta al flujo del líquido que impide que se acumulen cargas en los extremos del capilar; permitiendo entonces calcular el potencial de electro filtración.

Este método es utilizado en la solución de diversas tareas como el conocimiento del flujo de las aguas subterráneas; determinar las zonas de fracturas, rellenos de material arcilloso o arenoso; determinación de la posición e intensidad de las pérdidas de agua en las presas y otros reservorios; determinación del cono de abatimiento; conocer las variaciones en la dirección del flujo de las aguas subterráneas producto de la infiltración.

✓ El método de la polarización inducida:

Está asociado a medios de conducción iónica, relacionado con los procesos de difusión que ocurren entre los capilares afectados por membranas de potencial en la presencia de fracciones de arcilla, dependiendo esta de: contenido de arcilla; tamaño de los granos; humedad; contenido de sales.

Las tareas que este método posibilita solucionar son las siguientes: se determina la profundidad del nivel freático en depósitos areno-arcillosos; se determina la presencia de lentes de agua dulce; se determina la interfase entre el agua dulce y la salada; también se identifican algunos tipos de rocas, así como las características de depósitos areno-arcillosos.

✓ El método de sondeo eléctrico vertical:

Es ampliamente empleado en la solución de diversas tareas hidrogeológicas, recomendándose para su uso emplear redes cuadradas, las cuales deben ser lo suficientemente densas para delimitar con la mayor precisión posible las áreas de desarrollo cársico, cuando es utilizado en su variante circular generalmente se determina la dirección principal y la intensidad relativa del agrietamiento. Dado por la gran extensión de rocas carbonatadas presentes en el país, es empleado para determinar la profundidad a que se encuentran las calizas, diferenciar en el corte las calizas de las arcillas, margas fijando la posición y el espesor de unas y otras, así como la localización de zonas cársicas poco profundas.

✓ El método de perfilaje electrónico:

Ocupa un papel preferencial dentro de las investigaciones con fines ingeniero-geológicos ya sea se una, dos o tres aberturas. Los principales métodos empleados son: el perfilaje eléctrico simétrico donde se utilizan dos o tres aberturas dando la posibilidad de interpretar con más certeza los resultados por el método de comparación, donde se determina también la composición de los suelos; el perfilaje eléctrico combinado se recomienda en los casos donde hallan complicaciones geológicas tales como, curvas cársicas aisladas rellenas de arcilla o agua, localización de fallas, determina el agrietamiento; el perfilaje eléctrico bipolar estudia el campo provocado por un bipolo a diferencia del resto y su superioridad sobre ellos está dada en que la abertura del dispositivo puede ser menor que la abertura del perfilaje eléctrico simétrico, para la investigación de un mismo corte geológico. En la Figura 4.10 se ilustra la disposición de electrodos en el método Dipolo-Dipolo utilizado frecuentemente para llevar a cabo calicatas eléctricas.

Se aplica en las siguientes tareas: mapeo de las estructuras de plegamiento compuestas desde el punto de vista eléctrico, por rocas homogéneas y que tienen como basamento un horizonte de apoyo. Mapeo de los contactos con fuerte buzamiento y con diferentes resistividades. Mapeo de las formaciones geológicas, poco conductoras y con gran buzamiento

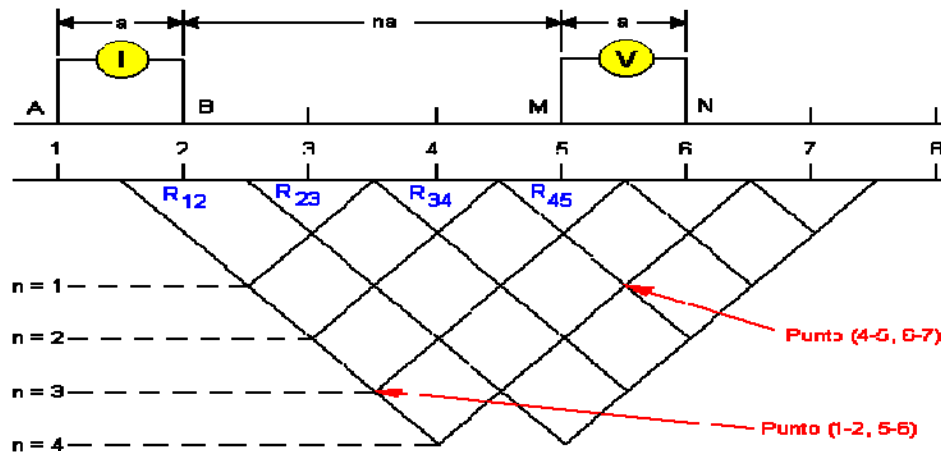


Fig. 4.10 Disposición de electrodos para la configuración Dipolo-Dipolo

➤ Métodos sísmicos

Estos métodos han sido introducidos para resolver tareas de ingeniería dado por las pequeñas profundidades que es requisito estudiar, llamándosele “Sísmica Somera”; mediante su aplicación se confirman datos obtenidos en otros métodos y se obtienen otros que se reflejan a continuación: condiciones de yacencia de las rocas; precisar la posición de rocas de diferentes litologías siempre que exista contraste de profundidades; aporta información sobre el estado de agrietamiento de las rocas, lo cual da la posibilidad de que exista tectonismo en la zona; determina el nivel freático; determina el espesor de la corteza de interperismo, mapeando las rocas conservadas. La sísmica de refracción y reflexión brindan grandes ventajas a las investigaciones y sobre todo la primera ya que además de determinar el relieve de la zona analizada, determina el relieve de los diferentes estratos, así como las características dinámicas de los mismos

✓ Sondeo sísmico

Las ondas P o longitudinales (Fig. 4.11) tienen la ventaja de que son las que se propagan con mayor velocidad siendo, por lo tanto, las de mayor interés cuando se utilizan métodos que, como el de la sísmica de refracción, están basados en la obtención de las primeras llegadas de las ondas a los sensores.

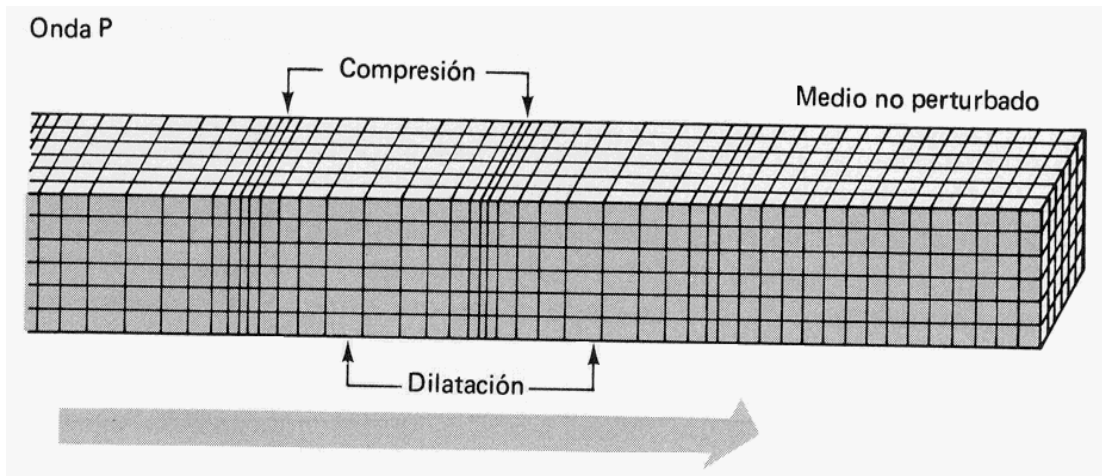


Fig. 4.11 Onda Longitudinal o P

Puede proporcionar óptimos resultados a la hora de determinar la profundidad a la que se encuentra el nivel freático en el terreno ya que dicho nivel constituye un refractor muy característico con velocidad de propagación de 1500 m/s (velocidad de propagación del sonido en el agua).

Los resultados de la interpretación deben dar lugar a un perfil del terreno donde se indique la profundidad de los distintos refractores y la velocidad de propagación asociada a cada uno de ellos. El objetivo era estudiar la estabilidad de las laderas de un embalse.

Además de proporcionar información sobre la naturaleza del sustrato rocoso y sus cambios laterales, la sísmica de refracción permite estimar aproximadamente el módulo de elasticidad de las formaciones investigadas, el grado de fracturación de la roca y su ripabilidad.

- ✓ Método de Viejirov

Este método permite resolver algunos tipos de tareas ingeniero-geológicas en la etapa de investigaciones preliminares, posibilitando distribuir más adecuadamente las perforaciones. Este método también puede ser utilizado para resolver problemas de estudio del estado de conservación de un macizo, ya sea con el objetivo de construir una obra o como material de construcción.

- Métodos de pozos o carotaje

- ✓ Carotaje eléctrico

El carotaje SP (polarización natural), estudia la polarización natural de las rocas, es decir de los componentes eléctricos de las mismas. Los campos eléctricos naturales de filtración se observan sobre los terrenos donde ocurre la filtración de las aguas subterráneas a través de los poros de las rocas. Los campos eléctricos naturales de difusión-absorción aparecen en el contacto de soluciones de sal con diferentes concentraciones.

El carotaje MPE (método de los potenciales de electrodos). En el contacto de un metal con la solución, aparece una diferencia de potenciales, llamada potencial de electrodo del metal dado, la magnitud de estos potenciales varía considerablemente por lo que se pueden identificar las rocas con relativa facilidad.

El carotaje RA (resistividad aparente). Es la forma principal de investigaciones de pozo. Se utiliza en instalaciones de cuatro electrodos; los valores medidos dependen no solo de la resistividad verdadera de las rocas que rodean la sonda, sino de muchas otras causas.

El carotaje PP (polarización provocada). Se aplica más ampliamente en los yacimientos mineros.

✓ Carotaje radioactivo

El carotaje CG (carotaje gamma). Se realiza con el fin de estudiar la radioactividad natural de las rocas. En general se realiza como método obligatorio en la búsqueda simultanea de elementos radioactivos al efectuarse la perforación de pozos con cualquier fin.

El carotaje CGG (carotaje gamma-gamma). En ocasiones se le llama carotaje de densidad ya que con su ayuda se estudia la densidad de las rocas que rodean la sonda del pozo. Este método está basado en la capacidad de las sustancias de dispersar la radiación gamma y al mismo tiempo la intensidad de dicha radiación, lo que depende de su número atómico.

El carotaje según el método de los isótopos radioactivos tiene en conjunto con el CG gran utilidad en las investigaciones hidrogeológicas.

El carotaje térmico se emplea en la división en cortes de la roca mediante diferentes propiedades térmicas.

El carotaje acústico permite obtener características más detalladas de las propiedades elásticas de las rocas.

El carotaje magnético se refiere a las distintas investigaciones relacionadas con las propiedades magnéticas de las rocas descubiertas por la perforación y división del corte según estas propiedades, como el estudio del campo magnético dentro del pozo.

➤ **Métodos gravimétricos**

El método gravimétrico hace uso de campos de potencial natural. Se miden las variaciones laterales de la atracción gravitatoria de un lugar al otro. Los datos reducidos apropiadamente dan las variaciones en la gravedad. Es un método adecuado para la detección de grandes cavidades en el subsuelo. En combinación con la tomografía eléctrica, se obtendrá una disposición más detallada de la localización de los materiales y sus características. El gravímetro consta de un peso suspendido de un resorte. El resorte principal se mueve por medio de un movimiento de un resorte auxiliar manejable por un tornillo micrométrico. El giro del tornillo micrométrico da la medida de la desviación del valor de la gravedad con respecto a su valor de referencia.

➤ **Métodos magnéticos**

GEO-radar (G.P.R. Ground Penetrating Radar): Este método permite conocer con precisión las variaciones de la conductividad del terreno, de este modo se detectan los cambios de litologías así como los posibles huecos en el terreno. El GEO-radar emite una radiación en el terreno mediante impulsos electromagnéticos, de muy corta duración, que se repiten con una determinada frecuencia. Cuando la onda halla una heterogeneidad en las propiedades eléctricas de los materiales, parte de la energía se refleja en la superficie y parte se transmite en profundidad. Una antena receptora capta estas señales. Se estudian hasta un espesor máximo de 5-10 metros.

4.4.4 Perforación, Excavación y Muestreo

Hoy en día se aplican las técnicas y los ensayos “in situ”, los cuales se han ido modificando con el objeto de realizar investigaciones más completas (métodos directos). Todos los ensayos directos operan similarmente, se perfora y/o se excava y se toman muestras.

Las máquinas de perforación: según su funcionamiento las maquinas de perforación se pueden clasificar en dos tipos básicos de percusión y rotativas.

Las maquinas de perforación por percusión consisten en un trepano que mediante un sistema de balancines golpea el fondo del pozo triturando la roca; estos fragmentos son recogidos después en una cubeta que limpia el pozo de recortes este método es el más empleado para las investigaciones ingeniero-geológicas por ser el más seguro en cuanto a la fiabilidad de las muestras.

Las máquinas de perforación rotativas son pequeñas máquinas montadas en un camión a remolque, constan de una torre de acero y un malacate, accionado por un motor. La herramienta esta formada por un trompo en donde gira el varillaje. En la última varilla se enrosca la barrena que al girar rompe la roca y perfora. Las barrenas pueden ser de distintos tipos. Estas se usan generalmente para la extracción de testigos en los macizos rocosos porque si se extrae suelo la muestra tiene grandes posibilidades de ser alterada.

➤ Calicatas

Es una excavación cuadrada de 2m de lado y no más de 6m de profundidad. Pueden requerir entibación según el tipo de suelo. Se muestrean de abajo hacia arriba anotándose las profundidades de los contactos litológicos, posibilita la medición de los elementos de yacencia y la toma de muestras con poca alteración. Debe hacerse descripción general de las rocas, diaclasas, etc.

➤ Trincheras

Son excavaciones longitudinales (manual o mecánica) cuyos lados se ubican por medio de la brújula para poder individualizarlos, se usan para la documentación geológica.

En las trincheras se hace un croquis durante su descripción, se hacen en zonas cubiertas para aclarar las condiciones geológicas.

➤ Pozos criollos

Son excavaciones circulares de más de 2m de diámetro con una profundidad de hasta 15 m. Se usan en la documentación geológica y en investigaciones hidrogeológicas. Generalmente llevan entibación. Son poco usados debido a dificultades de ejecución.

➤ Galerías

Se emplean para la investigación profunda, por ejemplo, en la construcción de presas, túneles, etc. Para ello se hace un pozo y luego se ejecuta la galería de 1,40m de ancho y 2m de altura.

➤ Muestreo por laboreo manual

Se lleva a cabo con herramientas sencillas o con pequeñas máquinas, posibilita la obtención de muestras inalteradas.

Las muestras más usadas son los monolitos.

Se emplean en la etapa de investigación detallada donde es necesario investigar los parámetros mecánicos en una muestra que prácticamente tenga su composición y humedad original, y cuya estructura sufra la menor modificación posible (muestra inalterada).

➤ ***Muestras obtenidas por barrenas a mano***

Se obtienen con diferentes tipos de barrenas accionadas manualmente, ninguna alcanza más de 5m.

La toma de muestras es una de las actividades importantes de las campañas de reconocimiento geotécnico. Por ese motivo ha de estar planificada antes de comenzar la campaña de reconocimientos.

Las muestras pueden obtenerse de sondeos, de calicatas o de lugares especificados donde no se haya hecho perforación o excavación previa.

Las muestras se denominan alteradas cuando no conservan las condiciones originales del terreno o inalteradas estas son cuando se mantienen la humedad, densidad y por tanto la resistencia, deformabilidad, permeabilidad y en fin sus características estructurales originales. En cualquier caso las muestras deben ser representativas del lugar que se desea estudiar; en ese sentido deben evitarse

siempre los lavados o segregaciones de las muestras salvo que ese aspecto, por alguna razón singular, no tenga importancia en el problema en estudio.

Las muestras alteradas pueden tomarse manualmente, con pico y pala, con excavadoras mecánicas o proceder de testigos de sondeos. Pueden transportarse en sacos o bolsas.

Las muestras inalteradas o poco alteradas pueden tomarse con toma-muestras específicos (hincando tubos cortos biselados) de paredes de pozos, zanjas o calicatas previamente apuntalados. Deben empaquetarse, transportarse y conservarse en laboratorio hasta su ensayo de manera que no sufran alteración.

La toma de muestras más usual de los reconocimientos geotécnicos se realiza en sondeos mediante toma-muestras específicos adaptados al tipo de terreno. La toma de muestras inalteradas o poco alteradas de suelos granulares limpios no es posible por procedimientos convencionales. En algunas arenas resultan eficaces los toma-muestras de pistón tipo Osterberg o tipo Bishop y para arcillas los tubos de paredes delgadas llamadas Shelby.

La obtención de muestras inalteradas resulta un trabajo muy difícil de lograr, pues ello depende grandemente de las propiedades de los suelos y rocas que se investiguen, sin embargo, actualmente existen muchos métodos que dan resultados satisfactorios. Los métodos más utilizados son dos:

➤ Hinca de muestreadores

Consiste en hacer penetrar un tubo muestreador en el suelo, lo que puede lograrse con tres métodos diferentes: mediante un gato hidráulico; por el empuje continuo, aplicando una fuerza constante; por medio de un martillo que golpee el muestreador hasta enterrarlo.

Uno de los muestreadores más utilizado es el shelby (de pared delgada de acero estirado en frío) de 2 a 5" (5,08-12,70cm) de diámetro, su extremo inferior está biselado en arista cortante e inclinada hacia dentro. Tiene una válvula de retención para mantener el testigo dentro del tubo, también se utiliza el muestreador de pistón para muestras blandas, creando un vacío que retiene la muestra.

➤ Otro muestreador muy utilizado es la cuchara de Terzaghi.

El tubo de shelby se utiliza en hincado continuo para obtener una muestra “inalterada” y la cuchara de Terzaghi se usa como penetrómetro dinámico en el método de conteo de golpes SPT. La muestra por los golpes es alterada, pero permite la obtención de numerosos datos, generalmente se cuenta el número de golpes para lograr una penetración de 30cm dándonos una idea sobre la densidad de los suelos no cohesivos y la resistencia de los suelos cohesivos.

4.4.5 Ensayos de laboratorio

El suelo contiene una amplia variedad de materiales tales como gravas, arenas y mezclas de arcillas, arenas aluviales, limos, minerales, materias orgánicas etc. Los suelos pueden ser mezclas bien definidas de unos cuantos minerales específicos o mezclas heterogéneas de cualquier cosa.

Para la determinación en el laboratorio (Fig. 4.12) de las propiedades de los suelos que se desee conocer se impone la toma de muestras, actividad esta que reviste gran importancia en los estudios geotécnicos, por tal motivo esta debe de estar bien planificada.

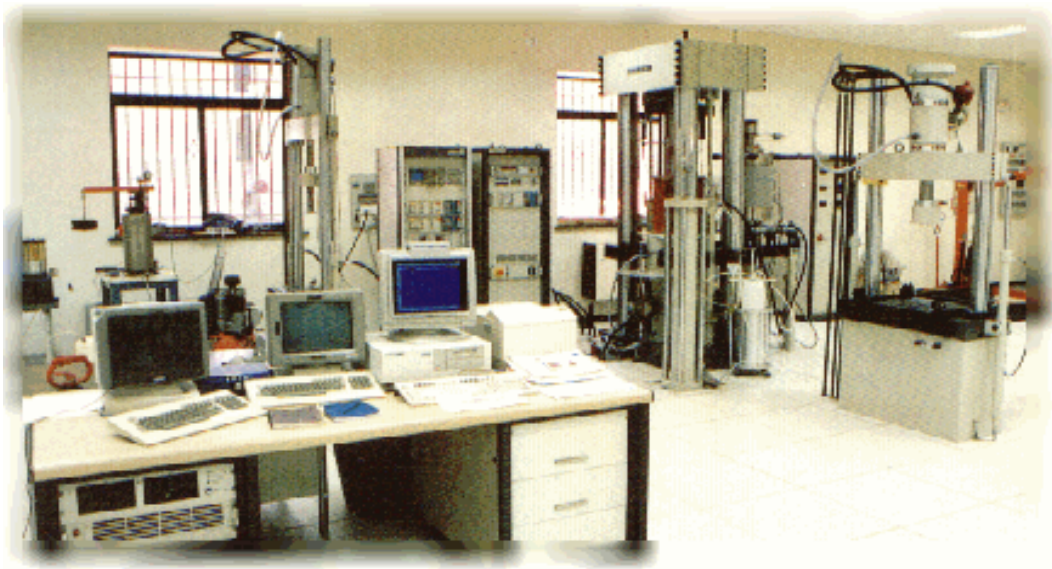


Fig. 4.12 Laboratorio de mecánica de suelos

Los ensayos de laboratorio constituyen la herramienta principal para el estudio de las características geotécnicas del terreno.

Existen ensayos de laboratorio destinados a definir la naturaleza del suelo, esto es su composición granulométrica y mineralógica sus propiedades índice etc. existen ensayos de laboratorio especialmente destinados al estudio de la resistencia, de la deformación y de la permeabilidad.

Siempre que se realicen los ensayos de laboratorio es conveniente dejar claro con que tipo de muestras fue ejecutado así como los procedimientos seguidos al respecto.

Ensayos de identificación de suelos

Dentro de este grupo de ensayos de laboratorio se consideran incluidos los siguientes:

- Ensayos granulométricos por tamizado y por sedimentación.
- Ensayo de límites de Atterberg.
- Densidades mínima y máxima de arenas.
- Determinaciones del peso específico de las partículas.
- Análisis químicos del suelo. Contenido en sulfatos, carbonatos y materia orgánica como más interesantes.
- Análisis químicos del agua intersticial.

Estos ensayos se pueden realizar con muestras alteradas o inalteradas. En cualquier caso exigen desmenuzar previamente la muestra.

Con los dos primeros ensayos (granulometría y límites de Atterberg) es posible clasificar los suelos dentro de tipos cuyas características geotécnicas son similares. A estos efectos se recomienda utilizar el sistema unificado de clasificación de suelos, que está ampliamente difundido.

También se consideran de este grupo los ensayos de densidad seca y humedad natural que permiten conocer las dos variables más importantes del estado del suelo. Su determinación debe hacerse, sin embargo, en muestras inalteradas o poco alteradas.

Determinación de la humedad natural

Considerando que uno de los componente del suelo es el agua resulta importante el conocimiento de este aspecto para la identificación del terreno pues esto

permite valorar la consistencia, el grado de saturación y de esta forma apreciar las condiciones del lugar.

Peso específico

Cada terreno se caracteriza un tanto por la relación que existe entre su peso y el volumen que ocupa en el espacio, es decir, el peso puede ser el resultado de las partículas sólidas más el agua ya de las partículas sólidas mas el agua ya que para estos efectos se desprecia el de los gases (aire) y en ocasiones el agua puede estar ausente, esto genera que un suelo puede encontrarse en tres estado.

- Estado seco. (Ausencia total del agua) en este caso el peso específico sería.
- Estado húmedo: La presencia del agua no alcanza todo el volumen que puede lograr.
- Estado saturado: El agua ocupa todo el espacio libre entre las partículas sólidas.

Peso específico relativo de los sólidos es la relación que se hace entre el peso de las partículas sólidas y su volumen respecto al peso específico del agua destilada.

Granulometría

En las investigaciones geotécnicas resulta interesante indagar en el tamaño, forma y distribución de las partículas sólidas que componen al suelo ya que esto proporciona una información que entre otras cuestiones permite clasificar a los mismos.

Límites de consistencia

En mecánica de suelos puede definirse la plasticidad como la propiedad de un material por lo cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse.

Propiedades mecánicas

Resistencia a los esfuerzos cortantes.

Para la correcta decisión de una solución de cimentación superficial resulta de vital importancia el conocimiento de las características del terreno con respecto a la

resistencia a los esfuerzos cortantes, responsable esta propiedad de garantizar la estabilidad de la estructura que soportará.

Prueba Triaxial de esfuerzo cortante

El ensayo está especialmente indicado para conocer la resistencia y la deformabilidad del suelo ante distintos niveles de confinamiento. Se puede realizar con muestras de cualquier tipo de suelo ya sean alteradas o inalteradas. Es difícil, sin embargo, preparar probetas inalteradas de suelos granulares.

Los resultados de resistencia y deformación de suelos obtenidos de ensayos triaxiales son aplicables al estudio de todos los problemas geotécnicos.

Permeabilidad

La determinación del coeficiente de permeabilidad se puede hacer en laboratorio mediante permeámetros de carga constante o variable.

Las condiciones de ensayo, tales como tamaño de las muestras, forma de preparación, gradientes hidráulicos etc., deben especificarse debidamente, ya que no existe una normativa claramente establecida para todas las variantes de este tipo de ensayos.

La permeabilidad de los suelos cohesivos puede deducirse de los ensayos edométricos.

Ensayos dinámicos

Para el estudio de los efectos de cargas dinámicas cíclicas y principalmente el de acciones sísmicas fuertes, existen equipos dinámicos que permiten obtener parámetros geotécnicos adecuados. Para problemas de resistencia frente a cargas cíclicas (licuefacción de arenas) el ensayo más indicado es el de corte simple. Para problemas de deformación dinámica el ensayo más adecuado es el de columna de resonancia.

Estos u otros ensayos dinámicos deben ser especificados e interpretados por técnicos especialistas, ya que hoy aún están lejos de ser ensayos rutinarios normalizados.

Otros ensayos de laboratorio

Los ensayos mencionados en los apartados anteriores están muy lejos de ser una relación completa de los posibles. Existe una gran variedad de ensayos, menos

comunes, que pueden ser de gran interés en el estudio de determinados problemas geotécnicos específicos.

Entre otros ensayos de suelos, se citan los siguientes:

- CBR. Determinación de la capacidad portante para explanadas y capas de firmes.
- Determinación de la relación succión-humedad en procesos de humectación y secado de suelos.
- Determinación de la presión de hinchamiento y de la expansión libre de suelos expansivos.
- Ensayos de dispersabilidad (o dispersividad) mediante análisis químico de los cationes del agua de adsorción de arcillas. Ensayos de dispersabilidad “pin-hole”. Ensayo de dispersión mediante doble densímetro.
- Ensayos de compresión brasileños (medida indirecta de la resistencia a tracción).
- Ensayos de molinete (vane test) y penetrómetro en laboratorio.
- Ensayos de compresión en la célula Rowe: edómetro de 25cm. (10”) de diámetro.

Cada vez con mayor frecuencia se realizan ensayos de laboratorio especiales (muestras de gran tamaño, prototipos ensayados en máquinas centrífugas, modelos reducidos, etc.)

4.4.6 Pruebas de campo in situ

La determinación de las características del terreno mediante ensayos “in situ” ofrece una ventaja clara sobre la determinación de características en laboratorio. El terreno es ensayado, en el primer caso, en condiciones parecidas a las que interesan para los estudios posteriores. Esto no es siempre cierto, ya que existen situaciones (ensayos de préstamos, por ejemplo) en los que la conservación de las condiciones naturales no es de interés.

También pueden existir situaciones singulares en las que los ensayos “in situ” se han de realizar en condiciones más lejanas de aquellas de interés que las que se pueden simular en laboratorio.

En términos generales se recomienda determinar el mayor número de parámetros geotécnicos mediante ensayos “in situ”, especialmente los relativos a la resistencia al corte, la compresibilidad y la permeabilidad. Los ensayos de laboratorio permitirán después ampliar esas características a rangos de presiones y ambientes diferentes a los de los ensayos “in situ” y que pudieran ser de interés dentro de los objetivos del reconocimiento.

Penetrómetros dinámicos

La forma más económica y sencilla de ensayar el terreno en profundidad consiste en la hincada de un varillaje con una punta metálica de forma conveniente. Durante la hincada se van contabilizando los números de golpes para hacer avanzar la hincada 20cm. El resultado se suele representar en forma de diagrama de ese número de golpes “N” obtenido en cada profundidad.

Como quiera que el tamaño de la puntaza sea más amplio que el diámetro del varillaje, el rozamiento entre éste y el terreno es pequeño y el resultado del ensayo estaría relacionado con la resistencia del terreno en el entorno de la punta. La hincada se continúa hasta la profundidad de interés previamente fijada o hasta alcanzar una resistencia elevada.

El ensayo de penetración estándar, SPT (Standard Penetration Test), es el más común dentro de los ensayos “in situ”; prácticamente todas las empresas dedicadas a los reconocimientos geotécnicos disponen del equipo necesario para realizarlo y además, en la geotecnia actual, es el mejor ensayo para investigar la compacidad de depósitos de arena en profundidad.

El estudio dinámico de la hincada de la cuchara del SPT permite evaluar la energía que se transmite a través del varillaje. Esa energía se puede medir durante la realización de los ensayos con equipos de auscultación especiales (acelerómetros y defórmómetros). En los ensayos SPT realizados con normalidad, esa energía es aproximadamente igual al 60% de la energía potencial teórica de la masa. En ocasiones es posible conocer esa energía (tarado de equipos) y puede existir información fehaciente relativa al porcentaje de energía transmitida “h”.

Los ensayos SPT permiten determinar parámetros del terreno especialmente indicados para estimar la facilidad de hincada de pilotes y tablestacas.

En ocasiones interesa concretar con números el concepto de compacidad, para ello es recomendable utilizar el concepto de densidad relativa.

La relación que existe entre la densidad relativa, D_r , y el índice, N , del SPT es diferente según sea la presión efectiva vertical al nivel del ensayo. De entre las correlaciones existentes y a falta de mejor información.

Existe una correlación evidente entre el ángulo de rozamiento de los suelos granulares y el índice N (SPT).

Penetrómetros estáticos

El ensayo de penetración estático (o CPT “Cone Penetration Test”) consiste en una hinca mediante empuje, a velocidad lenta (1 a 3cm. /s), de una varilla con una punta adecuada, dentro del terreno.

El avance del penetrómetro se realiza en intervalos discontinuos de modo que se pueda medir la resistencia a la penetración de la punta sola o del conjunto completo. Existen equipos automáticos que miden, en una hinca continua, la resistencia al avance en la punta y la resistencia a la penetración por fuste en el manguito lateral.

La interpretación de estos ensayos permite determinar la resistencia al corte del terreno y obtener una descripción indirecta del tipo de suelo atravesado y de su compresibilidad. En ese sentido, se necesitarían reconocimientos complementarios por otros métodos para obtener una descripción cierta de la naturaleza del terreno e, incluso, una determinación más exacta de su deformabilidad. La resistencia al corte del terreno, obtenida mediante estos ensayos es especialmente adecuada para el cálculo de la carga de hundimiento de cimentaciones profundas.

Existe una relación entre la resistencia por la punta en el ensayo de penetración estática, q , y la densidad relativa de las arenas C . También existe una relación entre esa resistencia de las arenas y el módulo de deformación que se debe utilizar en los cálculos de asientos de cimentaciones superficiales.

Para suelos granulares existe una correlación evidente entre la resistencia por punta del ensayo de penetración estática y el ángulo de rozamiento.

El ensayo de penetración estática es especialmente adecuado para medir la resistencia al corte sin drenaje de los suelos cohesivos blandos.

Ensayos de molinete

El ensayo de molinete o “vane test”, realizado en el fondo de sondeos o mediante hinca directa hasta el nivel de ensayo, está especialmente indicado para investigar la resistencia al corte sin drenaje de suelos arcillosos blandos.

La interpretación de sus resultados permite obtener, además, una estimación indirecta de la deformabilidad del terreno.

Los parámetros de resistencia que se obtienen están igualmente indicados para la determinación de cargas de hundimiento de cimentaciones superficiales o profundas en condiciones no drenadas así como para el estudio de estabilidad de taludes de dragado o relleno, también en condiciones no drenadas.

Ensayo por sondeo mecánico

El reconocimiento del terreno mediante sondeos mecánicos es un método muy antiguo al que el ingeniero concede gran fiabilidad. Sin embargo, en la práctica, el testigo recuperado puede llegar a estar muy alterado, y no siempre es posible recuperar la totalidad del mismo, perdiéndose en las zonas más débiles y fracturadas, a lo que hay que añadir el alto coste que supone obtener el testigo sobre todo a medida que aumenta la profundidad de perforación.

El objetivo de la testificación de sondeos es solucionar estas dificultades y satisfacer las necesidades de los técnicos.

Se podría definir la testificación de sondeos como la introducción de un laboratorio físico en un sondeo para obtener la medida continua y registro de una característica física determinada del terreno. El equipo empleado (ver Fig. 4.13) está compuesto de una sonda o instrumento de medida muy reducido para que se pueda introducir en un sondeo, un equipo en superficie que recoge las señales transmitidas y las procesa para visualizar el registro gráfico de la intensidad del parámetro físico que se mida frente a la profundidad, y el cable o elemento de unión entre la sonda y el aparato en superficie.

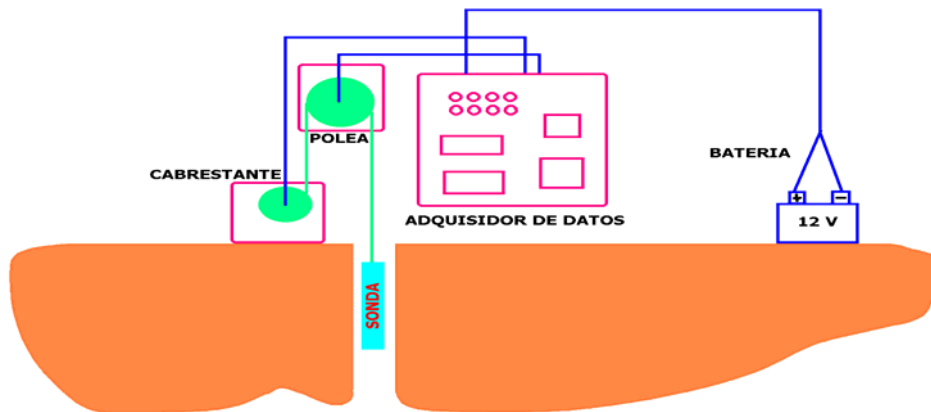


Fig. 4.13 Componentes de un equipo de testificación

Piezocono

El ensayo de piezocono (Fig. 4.14) es básicamente un ensayo de penetración estática continuo, con medida de presión intersticial, que se encuadra dentro del conjunto de los ensayos de campo realizados "in situ".

La esencia del mismo es la incorporación, al ensayo clásico de penetración estática, de la medida de la presión intersticial que se genera durante la hinca y es ésta precisamente la característica principal que lo diferencia del resto de los penetrómetros estáticos.



Fig. 4.14 Vistas del equipo piezocono

Como resultado del ensayo se obtienen unos registros de resistencia por punta y presión intersticial en función de la profundidad. Alternativamente a la hinca continua, se puede proceder al estudio de la disipación de la presión intersticial a una determinada profundidad, obteniéndose unas curvas de consolidación que recogen esta pérdida de presión intersticial con el tiempo.

A partir de los resultados del ensayo, se puede conocer de un modo sencillo, la estratigrafía del terreno, así como algunos de sus parámetros geotécnicos fundamentales como son la resistencia al corte sin drenaje y el coeficiente de consolidación horizontal. También pueden deducirse de modo sencillo otros parámetros geotécnicos, como son: la presión de preconsolidación, la razón de sobre consolidación. Este tipo de ensayo es una herramienta muy útil y completa de grandes posibilidades para el reconocimiento geotécnico de todo tipo de suelos blandos, tanto terrestres como marinos.

Resulta de gran aplicabilidad en los temas relacionados con el proyecto y construcción de terraplenes sobre suelos blandos, en las cuestiones ligadas a la producción de asientos, capacidad portante a generación y disipación de las presiones intersticiales, así como los problemas de estabilidad ligados a veces a las capas permeables e impermeables.

Ensayo de corte “in situ”

El ensayo de corte in situ (Fig. 4.15) se utiliza normalmente para determinar la resistencia al esfuerzo cortante de una discontinuidad o en formaciones masivas. Este ensayo consiste en someter al terreno, a una tensión normal y a otra tangencial creciente hasta que se produce el corte. Con la variación de la presión normal en sucesivas probetas talladas con este fin (al menos tres, recomendable cuatro), se intenta conseguir la línea de resistencia intrínseca del terreno, de la que se deduce c (cohesión) y el ángulo de rozamiento interno.



Fig. 4.15 Montaje de un ensayo de corte in situ

4.5 Categorías de las investigaciones Ingeniero-Geológicas

Las peculiaridades del levantamiento ingeniero geológico, así como de las investigaciones realizadas durante el mismo dependen de la categoría de la investigación, por lo que resulta de gran interés la forma de evaluar las categorías de una investigación.

Las categorías de las investigaciones ingeniero-geológicas se establecen tomando en cuenta las categorías de las obras y la complejidad geológica. La categoría de las obras se dividen en 1-2-3 y estas se basan en:

- extensión del área
- características estructurales
- asuntos permisibles
- altura de alojamiento

La complejidad (categoría) geológica se dividen en A-B-C y estas se basan en:

- terreno llano, ondulado o abrupto
- estratigrafía
- litología
- tectonismo
- aguas subterráneas
- actividad sísmica

Atendiendo a los aspectos establecidos anteriormente las categorías de las investigaciones ingeniero-geológicas podrían ser: simples (1), media (2), complejas (3)

En la siguiente Tabla 4.2 se resumen la evaluación de la categoría de una investigación ingeniero geológica.

Tabla 4.2 Categoría de una obra

Categorías de obras	categorías geológicas		
	A	B	C
1	/	/	//
2	/	//	///
3	///	//	///

4.6 Etapas de las investigaciones Ingeniero-Geológicas

Como ya se ha señalado las investigación ingeniero-geológicas deben hacerse de forma sistemática, y cada uno de los pasos dependen del estado de desarrollo del proyecto y están determinadas por las características geológicas y el tipo de construcción.

Según Q. Zaruga y V. Mend., pueden considerarse los siguientes pasos de una investigación ingeniero-geológica.

- la investigación de reconocimiento en la etapa inicial del proyecto.
- investigación detallada que proporciona las bases reales.
- investigación durante la construcción en obras grandes, en la etapa de ejecución del proyecto, principalmente en la excavación que se corrobora los datos de los pasos anteriores.

Investigación de reconocimiento

Es una investigación no muy dificultosa, pero tiene una gran importancia y responsabilidad, pues del análisis realizado, el geólogo sugiere al ingeniero la localización o entre ambos deciden el lugar de emplazamiento y seleccionan los métodos constructivos a emplear. En esta fase se deben realizar las siguientes actividades:

- Recopilación de la información geológica e hidrogeológica y estudios de los mapas existentes; afines entrevistas con ingenieros que hayan trabajado en lugares cercanos; estudio fotográfico; nivel de precisión de los mapas topográficos existentes.
- Itinerario por el área de trabajo y comprobación de la exactitud de la información obtenida. Posible reconocimiento aéreo si los datos fotográficos existentes no son suficientes.
- Con todos estos datos interpreta las condiciones geológicas de la región y planifique los trabajos a realizar.
- Levantamiento ingeniero-geológico a la escala apropiada al tipo de obra y complejidad geológicas, redes de perforación con la densidad y profundidad requeridas.

En cuanto a la selección del espaciamiento y profundidad de las perforaciones según el tipo de obra que se va a ejecutar existen distintos criterios, pero algo inconsistentes. Uno de los criterios es perforar hasta una profundidad del doble del ancho del edificio pero ocurre que en edificios muy anchos y de una sola planta se perfora innecesariamente, en tanto que para torres esbeltas, suelen ser insuficientes. Estos parámetros no solo dependen de las cargas, sino también de la complejidad geológica que la mayoría de las veces se desconoce.

Como vía general puede usarse los valores de las Tablas 4.3 y 4.4.

Tabla 4.3 Parámetros generales

Estructura o proyecto	Espaciamiento
Carreteras	300-600
Para cubicar prestamos	30-120
Presas de tierra, diques	30-60
Edificios de varios pisos	15-30
Fabricas de una sola planta	30-90

Tabla 4.4 Parámetros generales

Ancho del edificio(m)	Número de pisos				
	1	2	4	8	16
30	3,5	6,0	10,0	16,0	24,0
60	4,0	6,5	12,5	21,0	33,0
120	4,0	7,0	13,5	25,0	41,0

Con todos estos datos el ingeniero puede decidir el lugar que va a ocupar su obra y a elegir el tipo de cimentación.

Investigación geológica detallada

El programa definitivo y el volumen de trabajo se preparan basándose en los resultados de la etapa de reconocimiento.

Los levantamientos geológicos son más detallados, al igual que los métodos geofísicos en las áreas de los objetos de obra. En ellas también se densifican la red de perforación y la profundidad de los pozos. Todo este trabajo se realiza de

acuerdo con la complejidad geológica del lugar. Se presta especial atención a los problemas que hagan peligrar la obra como la estabilidad, el asentamiento, etc.

En la investigación detallada hay que tener un criterio económico y no realizar investigaciones innecesarias. Los informes de cada etapa deben realizarse a tiempo pues la obra no comienza hasta que la investigación no se ha terminado.

La investigación detallada en grandes obras podrá tener dos o tres etapas según la importancia de la construcción.

Investigación geológica durante la construcción

En las obras más importantes tales como presas, puentes, centrales energéticas es necesaria la presencia de geólogos en estrecha combinación con los ingenieros. El geólogo debe observar y tomar muestra de todas las excavaciones y corroborar la veracidad de los datos de la investigación realizada. Hacer un mapa donde refleje todos los fenómenos observados, tales como: fallas, diaclasas, así como tipos de rocas encontradas, manifestaciones de agua.

Ante una contingencia inesperada el geólogo hace una nueva investigación para resolverla y suministrar los nuevos datos al ingeniero para que pueda decidir.

Al finalizar la obra se confeccionará un informe final, que se colocará con los demás informes; en el mismo se reflejarán los problemas presentados durante el periodo de ejecución y las soluciones de los mismos siendo archivados por si son necesarios con posterioridad.

4.7 Investigaciones Ingeniero-Geológicas para obras de transporte

Desde el surgimiento de la humanidad surgieron los caminos, famosos en esta empresa son los romanos e incas ya que sus construcciones han desafiado el transcurso de los siglos siendo utilizados actualmente.

En Cuba antes del triunfo de la revolución no se contaba con un servicio especializado de investigaciones ingeniero-geológicas de los viales por lo que se confiaba su construcción a la experiencia del ingeniero, hoy la construcción de estas obras es segura.

Como procedimiento normal el estudio del suelo donde se emplazará la obra debe pasar por las tres etapas de investigaciones en orden ascendente y mantener una secuencia de investigación.

Etapas de reconocimiento

Esta etapa corresponde al estudio preliminar a ejecutar donde se aclararan fundamentalmente los aspectos siguientes:

- Características de la complejidad ingeniero-geológica para la variante o variantes evaluadas.
- Orientación en la localización de los materiales de construcción a lo largo del trazado.

Todo ello permitirá efectuar una valoración técnica y económica así como programar el complejo de investigaciones requeridas según las exigencias del proyecto.

El procedimiento de investigaciones a seguir, consiste en obtener criterios de las características ingeniero-geológicas donde se plantea ubicar el trazado, tomándose para este fin datos de:

- Los planos geológicos en la zona, fotos aéreas y de las investigaciones próximas que fueron ejecutadas con anterioridad limitándose estos datos a una franja de 1Km. La cual incluye el eje del trazado.
- Debe garantizarse la localización de materiales con la calidad requerida y ubicados a una distancia tal, que asegure ventajas económicas.

Una vez analizados los criterios anteriores a partir de la información recopilada se procede a realizar un recorrido o marcharruta en la cual se ejecuta una inspección con vistas a obtener criterios tales como: zonas de posibles grandes cortes, drenaje superficial, ríos, zonas cárnicas, fallas, niveles de aguas en pozos, zonas anegadas; en resumen todo aquello que facilite decidir la ubicación posterior de la investigación que se ejecutara, además, se tomarán datos referidas a las zonas con posibilidad de ser explotadas como material para terraplén. Toda inspección será debidamente localizada en planos y perfiles geológicos que faciliten el trabajo posterior de gabinete para crear el programa de investigación requerido.

Programa de investigación

De acuerdo con los criterios obtenidos en el reconocimiento preliminar, se elabora un programa de investigación, el cual abarca toda la zona o tramo planteado en el proyecto donde se define el volumen de muestras requeridas para su evaluación y el equipamiento necesario capaz de garantizar que las muestras mantengan los requerimientos de ser alteradas o inalteradas y la profundidad a que deben ser seleccionadas. El programa de investigación contempla:

- la ubicación de las perforaciones calicatas o trincheras requeridas la profundidad que estas deben alcanzar.
- la medición de los niveles freáticos
- la presencia de cavernas u oquedades de dimensiones considerables
- la selección de muestras y su volumen de acuerdo con el fin perseguido así como los aditamentos a emplear (barrena helicoidal, shelby).

En dependencia del tipo de obra y según la etapa de proyecto investigada se tomaran los espaciamientos de las perforaciones las cuales en forma de orientación se establecen a continuación:

Etapas de tarea de proyección

- Calicatas o trincheras espaciadas en un rango de 250-700m en dependencia de las características de los materiales existentes, del relieve de la superficie del terreno y del tipo de obra (su importancia, ancho y cargas actuantes)
- En las zonas de préstamos serán inspeccionadas con vistas a su posible utilización y se deberá muestrear al menos los materiales superficiales para su clasificación.

En esta etapa de investigación podrá emplearse los métodos geofísicos (geoeléctricos y magnetométricos) con el fin de reducir volúmenes de estudios correspondientes a la etapa que le sigue.

Etapas de proyecto técnico

En esta etapa se programan las perforaciones para los diferentes tipos de obras.

Espaciamiento de las perforaciones:

Carreteras-----rango de 250m-500m

Autopistas----- rango de 100m-300m

Aeropuertos----- rango de 100m-200m

Además está en función de la importancia de la obra, dimensiones, cargas, etc.

Profundidad de las perforaciones:

Carreteras	para terraplén	para terraplén
	Con $h \leq 5m$	con h mayor de 5m
	1,5 y 3,0m	0,5 (h+1)

Donde h: altura del terraplén (diferencia entre la cota de rasante de proyecto y la cota del terreno natural)

Para las zonas de corte se establece que la profundidad de las perforaciones alcanzará 1,5-3m en carreteras y de 3-5m en autopistas.

Para aeropuertos se alcancen siempre profundidades a partir de la cota del terreno natural comprendidas entre 3,0-5,0m.

El mayor o menor valor dados en los rangos será seleccionado de acuerdo a los criterios del técnico basado en la calidad de los materiales existentes en el subsuelo, importancia de la obra, etc.

Las zonas seleccionadas en la etapa anterior como canteras serán sometidas a un proceso de investigación riguroso ubicando las posiciones en forma de cuadrículas que abarquen toda el área con posibilidad de ir espaciando la red de calicatas entre 50 y 150m, en casos de elevaciones de alturas considerable, se incluirán calas que logran delimitar el volumen del material disponible en profundidad. La profundidad máxima que se alcanzará en los sondeos será la definida por la superficie del nivel freático y en calicatas de 3-5m.

Etapas de proyecto ejecutivo

Se programan perforaciones de acuerdo a las necesidades del proyecto, para definir cuestiones concretas que se determinaron en la etapa anterior. Por ejemplo: dar soluciones a cortes de elevada altura, terraplenes altos y zonas desfavorables como cimientos de vías.

También se podrá realizar un estudio geofísico intensivo para micro localizar anomalías de origen cársico, zonas de facturación de rocas, fallas tectónicas, etc.

En esta etapa las zonas de préstamos se estudiarán como material de relleno con determinadas características para sustituir un espesor de material inestable con el propósito de ganar en resistencia y deformación.

Programa de ensayos

Se realiza con vistas de garantizar los parámetros de cálculos utilizados en el diseño. Teniendo en cuenta la ubicación en profundidad de las muestras seleccionadas y el grado de alteración que presenta el tipo de muestreo utilizado.

Para la clasificación se tomarán muestras suficientes para los ensayos de límites, granulometría e hidrómetro.

Además se realizarán los ensayos de humedad y densidad en estado natural para los materiales del cimiento de la vía y los materiales utilizados como relleno.

También se realizarán los ensayos de proctor, CBR, peso específico, clasificación para las muestras de los préstamos.

En cimientos inestables se determinará la resistencia o compresión simple o la resistencia al corte directo y el módulo de deformación del material (E_0) mediante ensayos de consolidación.

Los parámetros mecánicos (C , Φ , E_0) se determinarán de muestras inalteradas. Otros ensayos pueden utilizarse son el triaxial y pruebas de placas.

4.8 Investigaciones Ingeniero-Geológicas para edificaciones

De forma particular para nuestro país, la (NC-054-269/84) establece las etapas y procedimientos para dichas investigaciones estas etapas son:

1-Investigación preeliminar para la tarea de proyección.

2-Investigación detallada para el proyecto técnico

3-Investigación definitiva para el proyecto ejecutivo

4 Investigación complementaria para detalles de proyectos

A continuación describiremos de manera muy somera cada una de estas etapas.

Ante todo debemos destacar, que por el carácter de los objetos, los datos disponibles y los objetos requeridos pudiera no ser necesario ejecutar todas las etapas planteadas en todo tipo de obra.

Investigación preeliminar para la tarea de proyección

Se ejecuta para elegir el lugar más apropiado para la construcción de la obra desde el punto de vista técnico económico para lo que se exige documentación previa:

Documentación de proyecto. Se presentaran por el organismo inversionista o proyectista, la documentación siguiente:

- plano de macro localización (1:50 000 o 1:25 000)
- plano de micro localización (1:10 000 o más) con objetos de obra, servicios soterrados, etc.
- Antecedentes de la zona geología, geografía, comunicaciones, aspectos ecológicos, etc.
- Etapa de preparación (programa de la tarea técnica y evaluación económica prevista)
- Programa de la tarea técnica de investigaciones
- ✓ trabajo de campo: topografía, geofísica, perforación (250-40m), geología e hidrografía, pruebas adicionales de campo.
- ✓ trabajo de laboratorio: ensayos físicos mecánicos, ensayos químicos, análisis petrográfico y paleontológico.
- ✓ trabajo técnico: visitas de reconocimiento al campo, trabajo de gabinete.

Investigación detallada para el proyecto técnico

Se ejecuta para la confección de un proyecto en el lugar de emplazamiento que fue seleccionado en la primera etapa proporcionando los datos necesarios que posibiliten la posición más adecuada de los objetos de obra, tanto por el criterio tecnológico como por los índices económicos.

- Documentación previa

Documentación de proyecto

- a) plano de macro localización (1:25 000)
- b) plano de micro localización (1:5000 -:2000)

Antecedentes de la zona

- Etapas de preparación

Programa de la tarea técnica de investigación

Cronograma de ejecución de la investigación

Costo integral planificado

Información técnica de los resultados

- El informe debe contener: obra, situación, asunto, introducción, descripción del lugar, geología e hidrológica, trabajo de campo, trabajo de laboratorio, trabajos geofísicos, conclusiones y recomendaciones

Además se integraran los siguientes aspectos:

- plano de ubicación
- plano de levantamiento ingeniero-geológico
- plano de fenómenos físico-geológicos
- plano de hidroisohipsas
- columnas litográficas de los sondeos
- cortes geológicos
- otros gráficos

Investigación definitiva para el proyecto ejecutivo

Esta investigación se ejecuta para la confección integral del proyecto propuesto y tomando en cuenta los factores que han intervenido en las diversas investigaciones, proporcionando los datos indispensables para la elaboración de una solución segura y económica.

- Documentación previa

Documentación del proyecto

Documentación de la zona

- Etapa de preparación

Programa de la tarea técnica de investigación

Cronograma de ejecución de las investigaciones

Costo integral planificado

Información técnica de los resultados

Investigación complementaria para detalles de proyectos

Esta investigación se ejecuta en caso de tareas de compleja solución y necesaria ampliación de criterios importantes en algún aspecto fundamental que no pueden emitirse en las etapas anteriormente señaladas, debiendo ser bien fundamentados en todos los casos.

4.9 Investigaciones ingeniero-geológicas para obras hidráulicas

La construcción y explotación de una obra hidrotécnica lleva consigo generalmente un cambio en las condiciones ingeniero-geológicas e hidrogeológicas de la zona de emplazamiento. Desde este punto de vista hay que estudiar la influencia positiva o negativa sobre la naturaleza de la obra.

La tarea básica de la investigación ingeniero-geológica para una obra hidrotécnica es, pues, ofrecer los datos ingeniero-geológicos que den la posibilidad de seleccionar la mejor variante para ubicar la obra y sus objetivos, ofrecer los datos para la elaboración de un proyecto racional y seguro; y elaborar un pronóstico de los cambios de las condiciones naturales originales, causadas por la intervención de la construcción misma.

Partiendo de estas tareas básicas la investigación ingeniero-geológica debe satisfacer las siguientes necesidades:

- Los resultados de las investigaciones ingeniero-geológicas deben ser suficientes para apreciar objetivamente las condiciones de emplazamiento de la obra. Los datos recibidos por el proyectista deben ser suficientes para evaluar las diferentes variantes, incluyendo la proyección de los métodos de trabajo de la construcción.
- La investigación ingeniero-geológica tiene que ofrecer las características físico-mecánicas y de filtración principales, del macizo rocoso, que posibiliten la óptima elaboración del proyecto en las condiciones naturales existentes. Estos resultados deben ofrecer la base necesaria para proyectar medidas de seguridad a la hora de ejecutar la obra y posteriormente durante su explotación.
- Los resultados de las investigaciones tienen que reflejar los datos que aclaren los posibles cambios en las condiciones ingeniero-geológicas, hidrogeológicas e hidroquímicas durante y después de la construcción y para apreciar la posibilidad del desarrollo de fenómenos físico-geológicos en la zona de emplazamiento y sus alrededores.

Actualmente la investigación ingeniero-geológica se divide al igual que los demás tipos de obras en etapas los que está de acuerdo con la necesidad de realizar un proyecto óptimo, racional y seguro. Los trabajos deben ser realizados con el objetivo de servir como forman parte de la investigación en la etapa siguiente.

Levantamiento hidrogeológico

El levantamiento hidrogeológico tiene por finalidad, conocer las características del acuífero, el flujo de las aguas, la profundidad de su yacencia, sus propiedades químicas que puedan afectar la obra, las permeabilidades de las rocas y en el caso de presas de tierra, la posibilidad y volumen de las pérdidas en el embalse, hacia los valles vecinos, por debajo de la cortina, por los hombros, así como los efectos del llenado del embalse en las regularidades del régimen hidrogeológico de la región.

El levantamiento hidrogeológico se lleva a cabo simultáneamente al estudio ingeniero-geológico y de hecho son inseparables.

Trabajos topográficos

El estudio topográfico define la forma de superficie del terreno, tales como lomas, valles, terrazas y otros rasgos similares, tanto a gran escala, como a pequeña escala. El drenaje o distribución de la corriente es un aspecto fundamental de la topografía.

Una vez se hayan ejecutado y terminado las construcciones de grandes obras de ingeniería se realizan las observaciones geodésicas para detectar los desplazamientos y deformaciones que sufren las obras, todas las etapas constructivas sin exclusión necesitan la geodesia y topografía para su desarrollo.

Tarea de proyección

Es la etapa de anteproyecto. Sirve para la elección del eje o trazado de la obra y de los objetos de obra.

El objetivo de la misma es ofrecer los elementos ingeniero-geológicos necesarios para realizar la evaluación técnica económica más conveniente de las variantes estudiadas por los proyectistas e inversionistas. Conjuntamente se estudian las posibilidades de materiales de construcción en forma preliminar.

Etapas de proyecto técnico

Es la etapa de proyecto que sirve para obtener todos los materiales necesarios en la selección definitiva del lugar de ubicación del conjunto hidráulico; así como la proyección de todas las obras de fábrica en los límites del área de construcción. Conjuntamente se estudian de forma muy detallada los materiales de construcción a emplear.

Etapas de proyecto ejecutivo

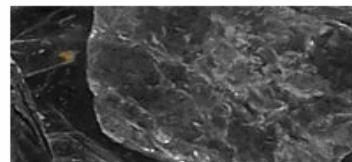
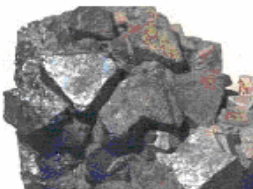
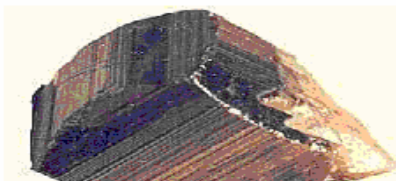
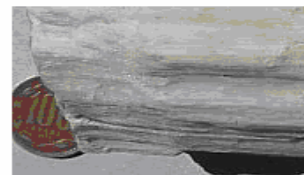
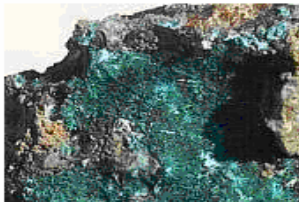
Es la etapa del proyecto en que se realizan los trabajos de investigaciones especiales, determinados por el desarrollo del proyecto y definidos conjuntamente por el proyectista y el geólogo.

Desde el punto de vista de proyecto para aquellas presas que tengan una gran carga hidráulica de hasta 20m de altura cimentados en roca y hasta 15m cimentados en suelos podemos en condiciones ingeniero-geológicas simples unir todos los trabajos en una sola etapa de investigaciones ingeniero-geológicas. En esencia eso significa que en regiones con estructuras geológicas y geomorfológicas simples donde en conjunto las rocas son homogéneas y sin complicaciones con ausencia de tectónicas disyuntivas, con ausencia, en una escala importante, de fenómenos físicos geológicos (carso, deslizamientos) y que las aguas subterráneas y yacen en capas litológicamente homogéneas.

Problemas Propuestos

Capítulo I

1. ¿Cuál es el objeto de estudio de la Geología?
2. ¿Qué importancia económica aprecia UD en los estudios geológicos e ingeniero geológicos?
3. ¿Cuáles son los aspectos o factores que caracterizan a los minerales?
4. Explique las causas del porqué el diamante y el grafito a pesar de tener la misma composición química, tienen propiedades tan diferentes.
5. Algunos minerales son mezclas isomorfas. ¿Cómo se comporta la composición química en estos casos?
6. ¿Cómo pueden presentarse los minerales en la corteza terrestre? Cite ejemplos específicos.
7. ¿Cuáles son los minerales de origen endógeno? Cite ejemplos.
8. ¿En qué condiciones pueden formarse los minerales de origen sedimentario? Cite ejemplos.
9. ¿Qué se entiende por elemento nativo? ¿Qué otras clases se conocen?
10. Señale las diferencias entre la exfoliación o clivaje y la fractura.
11. Comente o critique el siguiente planteamiento: “el clivaje de los minerales está en correspondencia con su dureza”.
12. ¿Qué factores determinan el color de los minerales?
13. Según su criterio, qué minerales pudieran ser los presentados en las siguientes fotografías:

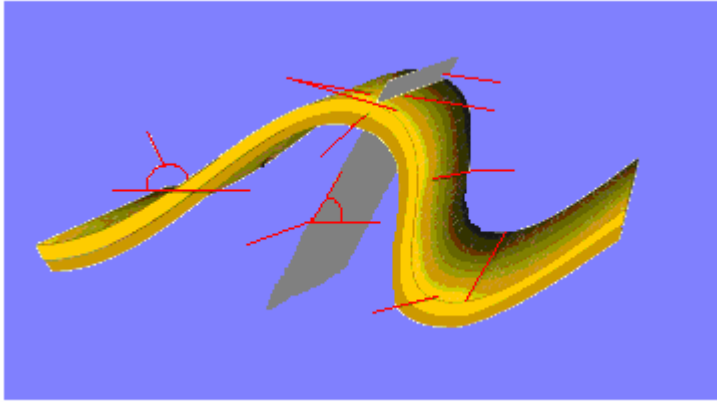


14. Muestre la relación genética que existe entre los tres tipos fundamentales de rocas.
15. ¿Cuál es el origen de las rocas cubanas?
16. Explique la diferencia que existe entre los tres tipos fundamentales de rocas.
17. Según la profundidad de consolidación exponga los diferentes tipos de rocas ígneas. ¿Qué factores intervienen en dicha división?
18. Señale el campo de aplicación de las rocas ígneas en la construcción.
19. ¿Cuáles son las fuentes de origen del material sedimentario?
20. Explique la relación existente entre la estructura de las rocas sedimentarias y su origen.
21. Señale el campo de aplicación de las rocas sedimentarias en la construcción.
22. Describa la forma en que pueden modificar las rocas los agentes del metamorfismo.
23. ¿Qué diferencias existen entre el metamorfismo de contacto y el regional?
24. Señale el campo de aplicación de las rocas metamórficas en la construcción.

Capítulo II

1. ¿Cómo puede distinguirse la parte yacente de un estrato en posición vertical?
2. ¿Cuál es la causa de la formación de los estratos?
3. ¿Qué es el azimut de buzamiento?
4. ¿Qué entiende UD por cronología relativa?
5. ¿Cuáles son las leyes estratigráficas que pueden servir para establecer la cronología relativa?
6. ¿Es necesario para la formación de un fósil, que se mantenga el organismo como tal? Explique.
7. Enumere comenzando por el más reciente las siguientes épocas geológicas: cretácico superior, cretácico inferior, jurásico superior, oligoceno, eoceno, mioceno, paleoceno.
8. Señale los criterios que pueden usarse para establecer una correlación estratigráfica.
9. ¿Cuáles son los distintos tipos de deformaciones que sufren las rocas?

10. Identifique los elementos componentes de un pliegue:

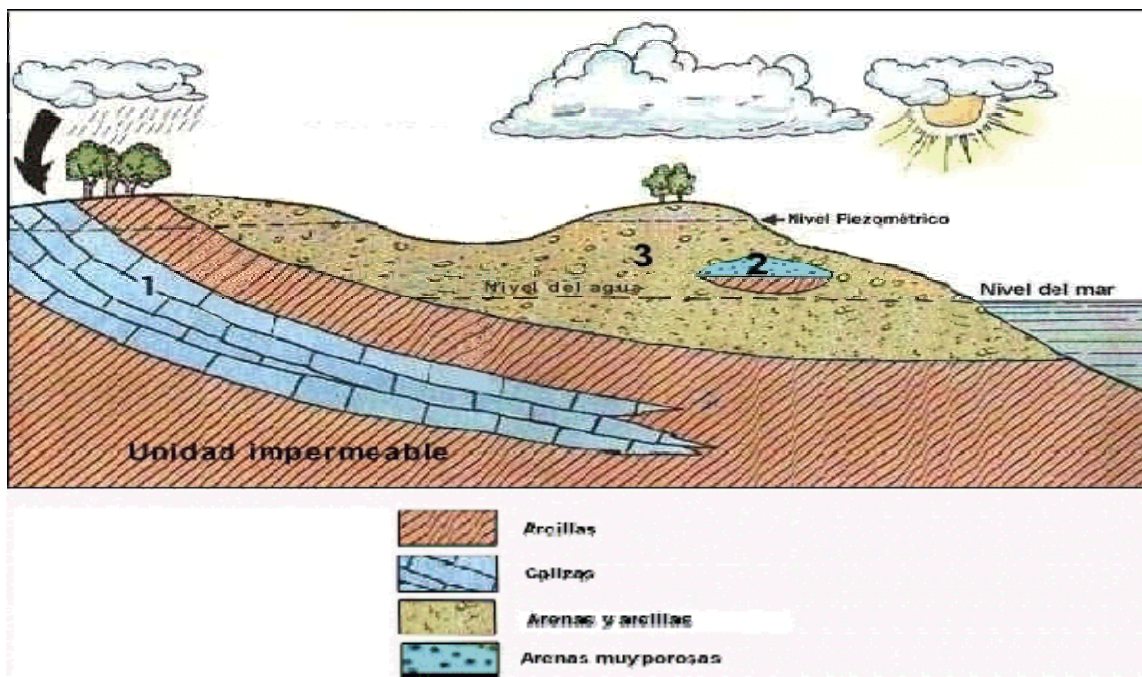


11. Señale las características de los pliegues anticlinales.
12. Describa las características de los pliegues sinclinales.
13. Explique brevemente el proceso de formación de un domo salino.
14. ¿Qué es una diaclasa? ¿Cuáles son sus características?
15. ¿Qué es una falla? ¿Cuáles son sus características?
16. Represente gráficamente un sobrecorrimento y señale sus partes principales.
17. ¿Qué indicios pueden usarse para identificar una falla?
18. Enumere los trastornos que puede ocasionar la presencia de una falla en el área del emplazamiento de una obra.

Capítulo III

1. ¿Qué relación existe entre los fenómenos de la geodinámica externa y la geodinámica interna?
2. Señale las características de los productos originados por los diferentes tipos de meteorización.
3. ¿Cuál es el objeto final de la meteorización química?
4. ¿Cómo puede ocurrir la meteorización física? Ejemplifique cada caso.
5. ¿Qué rocas serán más estables a las continuas variaciones de temperatura? Cite un ejemplo en específico.

6. ¿Qué diferencia existe entre la corteza de meteorización y el suelo?
7. Enumere los diferentes tipos de suelos y sus características.
8. Señale los diferentes tipos de acuíferos, exponga sus principales características.
9. Comente o critique el siguiente planteamiento: “las aguas freáticas se originan por infiltración, mientras que las confinadas son de condensación”.
10. En el siguiente diagrama se puede ver un corte geológico con diferentes materiales litológicos. ¿Podrías identificar que tipo de acuífero conforma cada una de ellas?



11. Explique brevemente el proceso de desarrollo del carso.
12. Exponga las principales características del carso cubano. Cite los lugares más representativos.
13. ¿Cómo se originan los terremotos? ¿Cuales son los más importantes y resientes?
14. ¿Qué es un tsunami?
15. Describa las características de los distintos tipos de ondas sísmicas.
16. ¿Cómo puede medirse la intensidad de los terremotos?
17. ¿En que consisten los mapas de zonación sísmica?

18. ¿Por qué es importante considerar la acción sísmica en las construcciones?
¿Cómo se toma en cuenta?

Capítulo IV

1. ¿Qué objetivos persiguen las investigaciones ingeniero-geológicas?
2. ¿De que factores dependen el volumen y tipo de investigaciones ingeniero-geológicas a realizar?
3. Señale la utilidad de los mapas geológicos.
4. ¿Cómo pueden clasificarse los mapas?
5. Describa los distintos tipos de símbolos utilizados en los mapas geológicos.
6. Identifique las distintas formas de representación de las edades geológicas en los mapas.

Edad	Color
	amarillo muy claro
	amarillo
	verde claro
	azul
	violeta
	café-azul
	gris
	café
	verde-azul
	verde oscuro
	gris-verde

7. ¿Qué es el levantamiento geológico?
8. Señale las características de los cortes o perfiles geológicos.
9. ¿Cómo se construye un corte geológico?
10. Diga las partes componentes de una columna estratigráfica.
11. ¿Cuáles son los factores que provocan la aparición y desarrollo de los corrimientos de tierra?

12. ¿Qué medidas pueden adoptarse para evitar el desarrollo de los deslizamientos?
13. ¿Qué aspectos debe tomar en cuenta la investigación geológica para la cimentación de edificios?
14. Describa las características que deben tener las investigaciones ingeniero-geológicas para la construcción de una electro nuclear.
15. ¿Por qué se hace necesario la investigación geológica durante la construcción de algunos tipos de obras?
16. ¿De que factores depende la profundidad y el espaciamiento de las perforaciones realizadas en una investigación?
17. ¿En que consisten los ensayos de penetración? Exponga las limitantes fundamentales de este método.
18. ¿Qué se entiende por una muestra alterada?
19. ¿Qué es un sondeo, cuales son sus características?
20. ¿En que consisten los métodos geofísicos de investigación del subsuelo?

Referencias bibliográficas

- (2006) *Curso Naturaleza geológica de Cuba*, La Habana.
- BETANCOURT, S. (1985) *Geología para ingenieros civiles*.
- BETANCOURT, S. (1985) *Geología para ingenieros civiles*. Santa Clara.
- BETEJTIN, A. (1977) *Curso de Mineralogía*, Moscú.
- BRAUNS, R. (1967) *Mineralogía General*, La Habana.
- BRAUSON, E. B. & TAN, W. A. (1959) *Elementos de Geología*, Madrid.
- BRUHNS, W. & KAMDOHR, P. (1966) *Petrográfica*, La Habana.
- CUELLAR, A. C. & HORTA, Y. (1995) Material de estudio sobre la aplicación de la ingeniería geofísica en las investigaciones ingeniero-geológicas y geotécnicas. Trabajo de Diploma. Santa Clara, Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
- DOPEÑA, L. M. (1991) Reconocimientos Geotécnicos. CEDEX. Santa Clara.
- ESTÉVEZ, A. & RUIZ, L. D. (1995) Material de estudio sobre las investigaciones geológicas para presas de tierra. Trabajo de Diploma. Santa Clara, Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
- GORSHLEOV, G. & YAKUSLOVA, A. (1977) *Geología General*, Moscú, Editorial MIR.
- HOLMES, A. (1971) *Geología Física*, Barcelona.
- LANGE, O., IVANOVA, M. & LEVEDERA, N. (1966) *Geología General*, La Habana.
- MELENDEZ, B. & FUSTER, J. M. (1975) *Geología*, Madrid.
- PANECA, N. C. & SUÁREZ, M. C. (1996) Material de estudio sobre las investigaciones ingeniero-geológicas para obras hidráulicas y viales. Trabajo de Diploma. Santa Clara, Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
- PAZ, S. (1987) *Geología para ingenieros*, La Habana, Editorial Pueblo y Educación.
- RAMOS SIERRA, O., VEGA CAMAROS, D. & CARRASCO ESPINACH, S. (1981) *Geología Elemental*, La Habana, Editorial Pueblo y Educación.
- SEGURA SOTO, R. (1973) *Introducción a la petrográfica*, La Habana.

NC 053-114. "Sismicidad en Cuba"

<http://www.astromia.com/tierraluna/minerales.htm> (consultado en marzo 2008)

<http://www.astromia.com/tierraluna/rios.htm> (consultado en marzo 2008)

<http://www.astromia.com/tierraluna/rocas.htm> (consultado en marzo 2008)

<http://www.medioambiente.cu/museo/trocas.htm> (consultado en mayo 2008)

<http://www.mineranet.com.ar/educa.asp> (consultado en abril 2008)

<http://www.natureduca.com/geol/geodinext/introd.php> (consultado en marzo 2008)

<http://es.wikipedia.org/wiki/Meteorizaci%C3%B3n> (consultado en mayo 2008)

<http://www.monografias.com/geologia/aplicada.htm> (consultado en mayo 2008)

<http://www.rena.edu.ve/cuartaEtapa/cienciasTierra/Tema12.html> (consultado en mayo 2008)

<http://www.fortunecity.com/campus/carthage/1033/Pag2/acuif.htm> (consultado en mayo 2008)

<http://ingenieriageologica.iespana.es/enlaces-geologia-aplicada.htm> (consultado en mayo 2008)

<http://www.hyparion.com/web/info/columnas-estratigraficas.htm> (consultado en mayo 2008)

<http://www.hyparion.com/web/info/topografia/topocas.doc> (consultado en mayo 2008)

<http://plata.uda.cl/minas/apuntes/geologia/geologiageneral/ggcap10a.htm>
(consultada en junio 2008)

<http://plata.uda.cl/minas/apuntes/geologia/geologiageneral/ggcap10a.htm>
(consultada en junio 2008)

