

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI

ESCUELA DE INGENIERIA  
AREA CIENCIAS DE LA TIERRA



"APUNTES SOBRE LA MATERIA DE PETROLOGIA"

TRABAJO RECEPCIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A :

FRANCISCO MONTES AVILA



SAN LUIS POTOSI, S.L.P. 1989



F

QE431

.2

M6

c.1





1080072830



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI

ESCUELA DE INGENIERIA  
AREA CIENCIAS DE LA TIERRA



"APUNTES SOBRE LA MATERIA DE PETROLOGIA"

**TRABAJO RECEPCIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO GEOLOGO**

P R E S E N T A :

**FRANCISCO MONTES AVILA**



**SAN LUIS POTOSI, S.L.P. 1989**



QE 431  
. 2  
M6



(72830)







Junio 22, 1989

Al Pasante Sr. Francisco Montes Avila  
P r e s e n t e . -

En atención a su solicitud relativa me es grato indicar a usted que el H. Consejo Técnico Consultivo de la Facultad de Ingeniería ha designado como Asesor del Trabajo Recepcional que deberá desarrollar en su Examen Profesional de Ingeniero Geólogo, al Sr. Ing. Luis García Gutiérrez. Así como el Título propuesto para el mismo es:

" APUNTES SOBRE LA MATERIA DE PETROLOGIA "

TEMARIO:

- I.- CLASIFICACION DE LAS ROCAS
  - II.- LA CIENCIA DE LA PETROLOGIA
  - III.- LAS ROCAS VOLCANICAS Y PLUTONICAS
  - IV.- LAS ROCAS SEDIMENTARIAS
  - V.- LAS ROCAS METAMORFICAS
  - VI.- IDENTIFICACION MEGASCOPIA DE LOS MINERALES DE LAS ROCAS
- BIBLIOGRAFIA

Ruego a usted tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones debe prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar su Examen Profesional.

" MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAS AUDEBO "

ING. DAVID ATISHA CASTILLO  
DIRECTOR DE LA FACULTAD



## DEDICATORIAS

En especial hago patente mi agradecimiento a mis padres, Antonio Montes Zarazúa [q.e.p.d.] y María Concepción Avila Castillo porque a ellos debo todo lo que soy.

A mis hermanos, José Antonio, María Del Carmen, Alberto, Oralia, Isidro, María Juliana y Claudia Veronica, porque hoy culmina una meta más que nos hemos propuesto.

A Alberto, agradezco infinitamente el interés manifestado y la valiosa ayuda prestada en este trabajo.

Agradezco profundamente la ayuda que recibí del Ing. Luis García Gutiérrez, en el asesoramiento de este trabajo.

A todas aquellas personas que directa o indirectamente contribuyeron en la elaboración del presente trabajo.



## INDICE GENERAL DEL CONTENIDO

	Página
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	1
<b>ANEXOS</b>	9
<b>PREFACIO</b>	10
<b>I. CLASIFICACION DE LAS ROCAS.</b>	11
Introducción	11
CLASIFICACION	12
<b>II. LA CIENCIA DE LA PETROLOGIA.</b>	15
<b>FACTORES DE EVOLUCION MAGMATICA.</b>	19
Diferenciación magmática	21
Asimilación	21
Mezcla de magmas	22
Serie de reacción de Bowen	22
Etapas de consolidación magmática	24
Etapa Ortomagmática	25
Etapa Pegmatítica	25
Etapa Pneumatolítica	25
Etapa Hidrotermal	25
<b>III. ROCAS VOLCANICAS Y PLUTONICAS.</b>	25
<b>Características de las rocas volcánicas</b>	27
Modo de yacimiento	27
Composición química	27
Composición mineralógica	28
Estructura	29
Vesicular	30
Escoriácea	30
Amigdaloides	30
Acordonada	30
En almohadilla	30
Fluidal	31
Juntas	31
Prismática y columnar	31
Lava pahoehoe	31
Lava aa	32

Lava de bloque	32
Características de las rocas plutónicas	32
Modo de yacimiento	32
Cuerpos plutónicos más comunes	33
Diquestratos	33
Lacolitos	33
Facolitos	33
Lopolitos	33
Cuello volcánico	34
Placolitos	34
Conolitos	34
Diques	34
Batolitos	35
Troncos	35
Plutones	35
Composición química y mineralógica	35
TEXTURA.	36
Cristalinidad	37
Tamaño de los granos	37
Formas de los cristales	38
Relaciones mutuas entre los cristales	39
CLASIFICACION DE LAS ROCAS IGNEAS.	40
Presentación (yacimiento)	41
Índice de coloración	41
Composición química	41
Saturación de sílice	42
Contenido mineralógico	42
ROCAS PIROCLASTICAS (TOBAS).	43
Ignimbritas	44
Nube ardiente	44
Aglomerado	45
PEGMATITAS.	45
IV. LAS ROCAS SEDIMENTARIAS	46
PROCESOS SEDIMENTARIOS.	46



Intemperismo	46
Transporte	46
Depósito	47
Litificación	47
Diagénesis	47
PROPIEDADES DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS.	47
Texturas de las rocas sedimentarias	48
Características de la textura de la masa	49
Color de los sedimentos	50
Estructuras sedimentarias	51
Estructuras externas	51
Tamaño y forma del cuerpo sedimentario	51
Estructuras internas	52
Estratificación y laminación	52
Estratificación transversal o cruzada	52
Estratificación gradual	53
Características de los planos de estratificación	53
Estructuras orgánicas	53
Marcas ondulatorias	53
Estriaciones y surcos	53
Biohermas	54
Biostromas	54
Fósiles	54
Naturaleza de los linderos	54
Pliegues	55
Fallas	55
Fisuras	55
Estilolitas	55
Composición de las rocas sedimentarias	55
Composición mineralógica	56
Minerales detríticos	56
Minerales no detríticos	57
Composición química	58
TEXTURAS DE LAS ROCAS CLASTICAS.	58
Tamaño	59
Forma (esfericidad)	59
Redondez	60
Relaciones entre la forma, la redondez y el tamaño	60
Textura superficial	61

TEXTURAS DE LAS ROCAS NO CLASTICAS.	61
CLASIFICACION Y DESCRIPCION DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS	63
Factores por considerar en la clasificación	63
Descripción de las principales rocas sedimentarias	64
Rocas clásticas	64
Conglomerado	
Brecha	
Arenisca	
Lutita	
Limolita	
Argilita	
Rocas no clásticas	66
Caliza	
Dolomita	
MEDIOS SEDIMENTARIOS	68
Medios continentales	68
El medio desértico	69
El medio glacial	69
El medio fluvial	70
El medio pantanoso o paludial	71
El medio lacustre	71
Medios de transición	72
El medio deltaico	72
El medio lagunal	73
El medio litoral	74
Medios marinos	74
Zona nerítica	75
Medio batial	76
Medio abisal y hadal	76
V. LAS ROCAS METAMORFICAS	77
AGENTES O FACTORES DEL METAMORFISMO.	77
Esfuerzo cortante	78



Presión litostática	78
Flúidos y gases	79
TIPOS DE METAMORFISMO.	79
Metamorfismo ígneo	80
Metamorfismo regional	80
Metamorfismo de dislocación	81
Pirometamorfismo	81
Metamorfismo cataclástico	81
Metamorfismo metasomático	81
Metamorfismo retrógrado	82
ZONAS DE METAMORFISMO	82
CONCEPTO DE FACIES METAMORFICAS	83
Principales facies metamórficas	84
Facies de sanidinita	84
Facies de piroxeno-hornfels	84
Facies de anfibolita	84
Facies de albita-epidota-anfibolita	85
Facies de esquisto verde	85
Facies de granulita	85
Facies de eclogita	85
Facies de esquisto de glaucófana	86
MINERALES METAMORFICOS.	87
Nesosilicatos	87
Sorosilicatos	87
Ciclosilicatos	87
Inosilicatos	88
Filosilicatos	88
Tectosilicatos	88
TEXTURAS Y ESTRUCTURAS DE LAS ROCAS METAMORFICAS.	88
Descripción de algunas de las texturas más importantes	89
Texturas que presentan elementos con planos lineales	89
Exfoliación	89
Esquistosidad	89
Crucero pizarroso	89
Bandeamiento gnéissico	89

Alineamiento	90
Orientación preferente	90
Texturas que no tienen orientación preferente o granos equidimensionales.	90
Hornfésica	90
Granoblástica	90
Poligonal	90
Texturas que presentan cristales grandes dentro de la roca	91
Porfiroblástica	91
Idioblástica	91
Xenoblástica	91
Augen	91
Texturas que presentan inclusiones o bordes dentro de un porfiroblasto	91
Poikiloblástica	91
Helicítica	92
Estructuras que presentan características concentricas	92
Orbicular	92
Texturas que presentan fragmentos de roca intacta	92
Cataclástica	92
Flaser	92
Milonítica	93
Mortero	93
 CLASIFICACION DE LAS ROCAS METAMORFICAS.	93
 DESCRIPCION DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE ROCAS METAMORFICAS.	94
Rocas metamórficas no exfoliadas	94
Skarn	
Hornfels	
Mármoles	
Cuarzitas	
Rocas metamórficas con exfoliación	96
Pizarras	



Filitas  
Esquistos  
Gnissas  
Anfibolitas  
Granulitas  
Eclogitas  
Migmatitas  
Milonitas  
Filonitas

<b>VI. IDENTIFICACION MEGASCOPICA DE LOS MINERALES DE LAS ROCAS.</b>	<b>101</b>
Rocas ígneas	101
Rocas metamórficas	103
Rocas sedimentarias	104
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>105</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>114</b>

## ANEXOS.

- Anexo 1 : Serie de reacción de Bowen.
- Anexo 2 : Principales minerales formadores de roca.
- Anexo 3 : Texturas de las rocas ígneas.
- Anexo 4 : Clasificación de las rocas ígneas.
- Anexo 5 : Minerales característicos de las rocas ígneas.
- Anexo 6 : Clasificación de las tobas con base en el tamaño y forma de sus constituyentes.
- Anexo 7 : Clasificación de las tobas.
- Anexo 8 : Escala de grados de Wentworth para la clasificación del tamaño de las partículas.
- Anexo 9 : Estructuras sedimentarias.
- Anexo 10: Clasificación de las rocas sedimentarias.
- Anexo 11: Tetraedro fundamental de Pettijohn.

## PREFACIO.

Este trabajo es una compilación de datos, lo cual se refiere a la ciencia de la petrología, a las propiedades, clasificación y descripción de las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, y a la identificación megascópica de los principales minerales que las componen.

Cada uno de estos capítulos se puede usar independientemente, están ordenados como una unidad para conducir al lector de una a otra etapa para su mejor comprensión.

El capítulo I hace referencia a la clasificación de las rocas. El capítulo II es una introducción a la petrología, además de una breve descripción de los factores que intervienen en la evolución magmática.

En el capítulo III, IV y V, se hace referencia a la clasificación, descripción, composición y propiedades de las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.

Por último, en el capítulo VI se trata sobre la descripción de las principales características observables, en los minerales que constituyen dichas rocas.



## I. CLASIFICACION DE LAS ROCAS.

### Introducción.

La definición y clasificación de las diferentes clases de rocas es importante para poder expresar los conceptos petrológicos y anotar de forma clara los datos de observación concernientes a las rocas. Sin embargo, no existe acuerdo general respecto a una base satisfactoria para la clasificación, ni en cuanto al grado de precisión deseable o practicable en una definición.

La enseñanza en cursos normales de la petrología y la geología de campo requieren un sistema de clasificación en el que los grandes grupos de rocas se pueden identificar y describir en función de caracteres observables en la muestra macroscópica y en el campo.

Estos caracteres son los que se refieren a la presentación, composición mineral y fábrica (estructura y textura). Puesto que muchos de los compuestos minerales de la roca se presentan con frecuencia en granos macroscópicos, algunos de los criterios de la clasificación pueden quedar supeditados a la confirmación con el microscopio. Otros requisitos que debe seguir una clasificación general satisfactoria, son la sencillez, la falta de ambigüedad y cierto grado de significado genético.

La clasificación debe de ser lo bastante sencilla, tanto para el profesor como para el estudiante, para permitirles comprender y retener sus rasgos esenciales sin tener que hacer consultas continuas a los diccionarios petrológicos o a los

libros de texto.

Existen varios tipos de clasificaciones, como son la química, la de yacimiento (presentación) y la mineralógica. La utilidad de la clasificación química radica en que hace posible la comparación de los diferentes tipos de rocas por medio de los factores químicos; se refiere a la composición, sabiéndose así cuales son realmente los constituyentes de la roca, pero su gran desventaja es que el análisis no es de campo, sino estrictamente de laboratorio.

Por medio de la clasificación de presentación se logran inferir las condiciones físicas que pudieron haber prevalecido durante la formación de la roca, en parte por el ambiente geológico circundante, y la textura expresa las condiciones en las cuales tuvo lugar la cristalización. La clasificación mineralógica en algunos tipos de rocas es la más práctica y rápida, como es el caso de las rocas ígneas.

Otros tipos de clasificaciones son las que se basan en el color o en la exfoliación o no exfoliación, textura, orígenes, etc.

## **CLASIFICACION**

Cualquiera que sea la teoría sobre el origen de la Tierra, por lo menos es cierto que todas las partes de la superficie original de ésta pasaron a través de una etapa fundida, y que el primer material sólido que existió, se derivó del material fundido o magma. Esta corteza original está ahora expuesta en la

superficie presente, pero todas las rocas subsecuentemente formadas, en el primer caso, se han producido ya sea a partir de ella o de posteriores erupciones de materia fundida.

Las rocas formadas por la consolidación del magma fundido se denominaron rocas primarias o ígneas.

Después de la solidificación de la corteza original y de la formación de la hidrosfera y la atmósfera, las aguas y demás agentes atmosféricos comenzaron a atacar a las rocas primarias. La acción desintegradora producida desprendió detritos y la acción química produjo despojos y también materiales en solución. Los fragmentos sueltos serían barridos por el agua y por el viento y finalmente se recogerían en los huecos o irregularidades existentes en la corteza, en donde también se encontrarían las aguas y las materias solubles. Los despojos recogidos y depositados a partir de su suspensión en agua o en aire finalmente serían cementados para formar rocas duras y así, ser añadidos a la corteza sólida.

Bajo circunstancias adecuadas, la materia soluble, también sería precipitada, ya sea directa o indirectamente, mediante la ayuda de microorganismos, esto último en tiempos geológicos posteriores.

Las rocas así producidas eventualmente se solidificaron y ayudaron a construir la corteza. Estos procesos han estado sucediendo durante el tiempo geológico.

Las rocas formadas de esta manera se llaman secundarias o sedimentarias, debido a que están compuestas de materiales que han sido derivados. Pueden dividirse en rocas sedimentarias



clásticas y no clásticas.

Finalmente, tanto las rocas ígneas como las sedimentarias pueden sujetarse a movimientos terrestres que las llevan hacia las profundidades de la corteza, en donde son sujetas a la acción de altas temperaturas y presiones. Por estos medios las rocas son parcial o totalmente reconstituidas; por lo tanto; sus caracteres originales son cambiados y otros nuevos caracteres son impresos en ellas.

Las rocas que de tal manera cambiaron en forma más o menos completa con respecto a su condición original, se conocen como rocas metamórficas.

De tal modo, se ha llegado a una clasificación triple de las rocas, que ha sido sustentada por largo tiempo de conformidad con sus orígenes para dividir las en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.

Las rocas ígneas se distinguen por la presencia de minerales cristalinos entrelazados, o que son fijados por la matriz diminutamente cristalina o de vidrio. Muestran signos de haber sido originadas a partir de temperatura elevada, como las lavas actuales. Son usualmente voluminosas, no estratificadas y frecuentemente ocupan fallas y fisuras.

Las rocas sedimentarias están compuestas de materiales clásticos y precipitados o de sustancias de naturaleza y origen orgánico. Estos minerales están a menudo separados, no consolidados o soldados en una sola unidad, ya sea mediante presión o por sustancias cementadoras.

Además están distinguidas por la presencia frecuente de

estratificación, residuos orgánicos (fósiles) y otras marcas indicativas de depósito a partir de agua o aire, en el mar o en la Tierra.

Las rocas metamórficas presentan caracteres que en algunos aspectos son intermedios entre las rocas ígneas y las sedimentarias. Gran calor y presión provocan la recristalización y, por lo tanto, tal como las rocas ígneas frecuentemente consisten en cristales entrelazados entre sí.

Además, la presión provoca el desarrollo de capas más o menos regulares, láminas o bandeamiento, por lo cual las rocas metamórficas se parecen a las de origen sedimentario; las rocas metamórficas son formadas a partir de las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Frecuentemente retienen huellas de sus estructuras originales.

## II. LA CIENCIA DE LA PETROLOGIA.

Petrología es la ciencia que se ocupa de las rocas que están formadas por conjuntos de minerales definidos y constituyen parte de la Tierra. Trata del modo de ocurrencia, la composición, la clasificación y el origen de las rocas, así como de sus relaciones con los procesos e historia geológica.

La petrología es, por lo tanto, una parte fundamental de la geología.

Las rocas pueden estudiarse en dos formas: como unidades de la corteza terrestre -y por lo tanto como documentos de la historia de la Tierra-, o mediante el estudio microscópico en láminas

delgadas.

El estudio de las rocas mediante láminas delgadas se denomina petrografía.

Sin embargo, la petrología es término más amplio en el estudio de la rocas e incluye tanto a la petrografía como a la petrogénesis, es decir, el estudio de los orígenes.

La petrografía comprende la parte puramente descriptiva de la ciencia, desde los puntos de vista mineralógico y estructural, ya que es indispensable obtener el conocimiento exacto de las unidades con las que se debe tratar antes de poder estudiar sus relaciones más amplias con respecto a los procesos geológicos y a sus orígenes; la petrografía es requisito indispensable para la petrología y debe llevarse a cabo tanto como sea posible, mediante métodos cuantitativos, tal como otras ciencias físicas o químicas. El término litología es sinónimo de petrología. Etimológicamente significa el tratado de las rocas.

La historia de la Tierra como cuerpo independiente empezó hace alrededor de 4600 millones de años. Para formarse este planeta se juntaron pequeños e innumerables fragmentos (teoría de la acreción). Dichos fragmentos provenían de una gigantesca explosión (supernova) de una estrella. El examen de su interior, por medio de la sismología, no revela traza alguna de la estructura caótica que debe haber tenido en aquel tiempo.

El interior de este planeta parece tener estructura sumamente ordenada, con núcleo pesado, manto menos pesado y corteza exterior más ligera aún. Tal vez la única explicación a lo anterior es que el planeta debió calentarse a grado tan elevado

después de su formación, que ocasionó la completa ordenación de su estructura. Cuando estuvo en estado de fusión o semifusión, la fuerza de gravedad ocasionó que las substancias más pesadas se acumularan en el centro, en tanto que las más ligeras emergieran a la superficie.

Más tarde las primeras placas de corteza sólida deben haber aparecido en varios puntos de la superficie: Los primeros fragmentos de esa delgada superficie sobre la cual iban a tener lugar todos los sucesos de la evolución de la vida. El desarrollo geológico del planeta que ha dado a su superficie exterior el aspecto que se observa actualmente, comienza en ese punto.

Las etapas fundamentales en la evolución de la Tierra, y el aspecto que presentaba entonces, se deben buscar necesariamente en las rocas más antiguas de la Tierra y tratar de descubrir cuales fueron los sucesos que condujeron a su formación.

Las rocas más antiguas encontradas hasta la fecha son las del sudoeste de Groenlandia, su edad aproximada es entre 3750 y 3760 millones de años. Sin embargo, tal vez estas rocas no sean verdaderos fragmentos de la corteza terrestre más temprana.

Algunos de estos fragmentos son sedimentarios, lo cual significa que anteriormente deben haber existido otras rocas.

Estas primeras rocas deben haber sido destruídas por la erosión, sus restos transportados por ríos primitivos y con toda probabilidad depositados en un lago o en un mar; son las primeras superficies cubiertas por agua de las que se tienen pruebas concretas. Por lo tanto, es posible que la corteza terrestre se haya formado hace más de 3760 millones de años, pero se desconoce



la fecha exacta.

Se sabe, sin embargo, que en aquel tiempo no sólo existió corteza sólida, sino que estuvo sujeta a la erosión por la lluvia y por el viento, de la misma forma que ocurre hoy en día y que los fragmentos desprendidos por la erosión terminaron acumulándose en algo similar a un océano.

La fecha en que nació la corteza terrestre puede situarse entre 3800 y 4000 millones de años.

El origen de la Tierra se relaciona estrechamente con la petrología. Se recuerda que la petrología consta de dos partes:

- (1). Petrografía o estudio de la composición mineralógica y estructural de las rocas; y
- (2). Petrogénesis, que comprende el estudio sobre el origen de las mismas rocas.

Si se comprende el origen de la Tierra, se podrá paso a paso seguir reconstruyendo la formación de cada uno de los tipos de rocas conocidos, primero por la generación de una roca ígnea, que por diferenciación daría lugar a todos los tipos conocidos. La diferenciación magmática abarca todos los procesos por medio de los cuales un magma homogéneo se descompone en fracciones desiguales que, en último término, forman rocas de composición diferente.

El proceso más importante de la diferenciación magmática es el fraccionamiento del magma, resultante de la cristalización, ya que ciertos minerales de las rocas ígneas están por lo general

asociados, dado que cristalizan en el mismo intervalo de temperatura.

A medida que avanza la cristalización del magma, prevalece la tendencia a que se mantenga la condición de equilibrio entre la fase sólida y líquida. Para mantener ese equilibrio, los cristales de formación temprana reaccionan con el líquido y tienen lugar ciertos cambios de composición.

En el caso de los feldespatos (plagioclasas), los cristales (minerales) primeramente formados son los más ricos en calcio. A medida que avanza la reacción y desciende la temperatura, los minerales se vuelven progresivamente más sódicos.

Esto implica reacciones normalmente progresivas y que se produzca una serie de soluciones sólidas homogéneas.

Los cambios de esta clase constituyen una serie de reacción continua. Ciertos minerales ferromagnesianos, por otra parte, reaccionan con la masa fundida para dar un nuevo mineral con estructura cristalina diferente, y de distinta composición.

Tales cambios bruscos constituyen lo que se conoce como serie de reacción discontinua. Mientras mayor sea el grado de fraccionamiento, más prolongado es el proceso de reacción.

Este principio de reacción fué establecido por Bowen, e ilustra como un magma puede solidificarse para formar un solo tipo de roca o para dar origen a muchos tipos de roca.

#### **FACTORES DE EVOLUCION MAGMATICA.**

La composición de los magmas primarios puede ser modificada

para producir una variedad grande de rocas ígneas. Dicha variación, observada en las rocas ígneas asociadas, es debida en gran parte a alguna forma de evolución magmática.

Existen varias clases de procesos evolutivos a los cuales puede considerarse como causantes de los productos finales de la actividad ígnea. A estos se le llama diferenciación magmática, asimilación y mezcla de magmas. Los petrólogos están de acuerdo en que la evolución magmática no puede ser atribuida a uno solo de estos procesos por separado. Más bien se concibe la modificación del magma como una serie compleja de acontecimientos, en la cual pueden intervenir los tres procesos en diferentes grados y pueden haber otros procesos importantes de los cuales se sabe poco hasta la fecha.

Los magmas primarios pueden cristalizar sin fraccionamiento o pueden dividirse en magmas secundarios que, por su composición, se diferencian entre sí del magma original. Este fenómeno evolutivo general es conocido con el nombre de diferenciación magmática.

La diferenciación producida por la cristalización fraccionada es de suma importancia. En el magma que se está enfriando pueden existir diversas condiciones que impidan que los cristales precipitados al principio y que no están en equilibrio con el resto del magma, sigan reaccionando con el líquido a medida que progresa el enfriamiento y, por lo tanto, que cambien de composición con el fin de permanecer en equilibrio.

Los cambios mineralógicos producto de esas reacciones quedan definidos por medio de las series de reacción de Bowen.

### Diferenciación magmática.

La diferenciación magmática abarca todos los procesos por medio de los cuales un magma decididamente homogéneo se descompone en fracciones desiguales, que en último término forman rocas de composición diferente. El proceso más importante de la diferenciación magmática es el fraccionamiento del magma resultante de la cristalización. Ciertos minerales de las rocas ígneas están por lo general asociados debido a que cristalizan en el mismo intervalo de temperatura. Los grupos olivino-labradorita, olivino-diópsida, oligoclasa y ortoclasa-albita, son asociaciones típicas.

### Asimilación.

La asimilación es factor importante que lleva a la diversidad en las rocas ígneas. La reacción entre el magma y la roca encajonante es fenómeno acompañante normal a la intrusión ígnea. En el curso de esta reacción, el magma se contamina por la incorporación del material originalmente presente en la roca encajonante.

En general, es un proceso complejo de reacción recíproca entre el magma y la roca invadida. Ciertos minerales de la roca encajonante pueden fundirse parcial o totalmente y de este modo incorporarse a la fracción líquida del magma. Otros son cambiados por procesos de reacción, es decir, por intercambio iónico entre líquido y cristales de aquellas facies cristalinas con las cuales ya estaba saturado el líquido.

El producto es una roca ígnea contaminada que en ningún



momento fué totalmente líquida y que esta constituida por material aportado parcialmente por el magma original y la roca encajonante.

En cualquier caso, el magma está contaminado y las rocas que tuvieron su origen en él, son naturalmente de origen híbrido.

Algunas dioritas, por ejemplo, se originaron de este modo, por la reacción del magma granítico con rocas encajonantes gabroicas. Algunos autores sostienen que todas las dioritas se forman así.

La asimilación se refiere precisamente a la asimilación de materiales extraños por los magmas, de acuerdo con diversos mecanismos, como: Fusión, disolución y reacción.

#### **Mezcla de magmas.**

La mezcla de magmas es también considerada como factor de la evolución magmática. Las rocas de composición poco común, en las que gran número de fases de cristalización son magmáticas incongruentes y representan un estado falto de equilibrio, bien puede ser producto de la mezcla de dos magmas parcialmente cristalizados.

#### **Serie de reacción de Bowen.**

Según esta idea, los minerales que van cristalizando en el magma continúan reaccionando con el mismo para ponerse en equilibrio, formándose así, por un lado, la serie continua en la cual comienzan formándose plagioclasas cálcicas, luego las alcalino-cálcicas y al final las alcalinas. Por otro lado,

comienzan cristalizando los olivinos que, al reaccionar a cierta temperatura con el líquido magmático, dan lugar a la formación de piroxena magnésica, luego a piroxena cálcica, pasando luego a la anfíbola, la biotita y en este punto tienden a juntarse las dos series o ramas en el feldespato potásico, el que es seguido por la moscovita y al final por el cuarzo. Ver anexos.

En cuanto al proceso general de la cristalización del magma, se supone que, de acuerdo con la fuerza espontánea de cristalización, al enfriarse el magma pasa por 2 etapas principales: La primera en la cual la cristalización es lenta, llamada región metaestable; en ella se forman sólo cristales pequeños pero numerosos.

Si durante esta etapa sobreviene el enfriamiento brusco, como en el volcanismo, resultarán rocas vítreas o microcristalinas con pocos cristales visibles a simple vista. Si el enfriamiento prosigue con lentitud, llega la etapa lábil, durante la cual tienen oportunidad de crecer y desarrollarse bien todos los cristales, adquiriendo entonces las rocas texturas fenocristalinas, consistentes en cristales visibles todos a simple vista y a veces muy gruesos.

Cualquier combinación de estas 2 etapas o condiciones dará por resultado que los cristales crezcan más o menos y que se junten chicos con grandes, según se verifique el enfriamiento. Todo esto es de mucha utilidad para comprender como cristaliza un magma y explicar sus diversas texturas. A la vez, ayuda a entender las condiciones fisicoquímicas de formación y puede

también dar buena idea de las relaciones de las rocas formadas con los yacimientos minerales.

Es también muy útil identificar dentro de esto los procesos de diferenciación, ya que es conocido que ciertos elementos metálicos tienden a asociarse con determinados tipos de rocas y en la exploración sirven como guías, pues de antemano puede hasta cierto punto predecirse que los elementos podrían o no estar relacionados con las rocas ígneas que se observan.

#### **Etapas en la Consolidación Magmática.**

Aproximadamente, la mitad de los minerales formadores de rocas pueden cristalizar a partir de masas fundidas relativamente secas, debido a que se desarrollan a temperatura elevada en ambiente que puede contener sólo pequeña proporción de sustancias volátiles.

A tales minerales se les llama pirogenéticos. Su formación conduce al enriquecimiento relativo del líquido residual en sustancias volátiles y, por lo tanto, a la formación posterior de minerales portadores de oxhidrilos, a los cuales se les llama hidatogenéticos.

Los oxhidrilos son radicales que indican alcalinidad ( $\text{OH}^-$ ). Una sustancia en solución desprende iones de  $\text{OH}^-$  cuando es básica, o sea alcalina.

Por lo que respecta a las etapas en la consolidación magmática, se puede resumir que son cuatro, bien definidas y clasificadas:

#### **Etapa Ortomagmática:**

Es la etapa principal en la cristalización de los silicatos del magma típico. Durante esta se puede cristalizar hasta el 90% del magma. También se le llama etapa ortotéctica.

#### **Etapa Pegmatítica:**

Es la etapa en la secuencia normal de cristalización de un magma que contiene volátiles, en cuyo tiempo el fluido residual está suficientemente enriquecido en materiales volátiles para permitir la formación de rocas de grano muy grueso, es decir, las pegmatitas.

#### **Etapa Pneumatolítica:**

Es la etapa en el enfriamiento del magma durante la cual están en equilibrio las fases sólidas y gaseosas.

#### **Etapa Hidrotermal:**

Es la etapa en el enfriamiento del magma durante la cual el fluido residual está muy enriquecido en agua y otros volátiles. A esta etapa se le considera como la última en la actividad ígnea, ya que viene en tiempo tardío y, por lo tanto, a menor temperatura que la etapa pegmatítica.

### **III. ROCAS VOLCANICAS Y PLUTONICAS.**

Las rocas ígneas se definen como las rocas formadas por la consolidación del magma. Esta definición sólo se puede

considerar satisfactoria si se reconocen criterios claros del origen magmático de la mayoría de las rocas ígneas.

Los magmas que hacen erupción en la superficie de los aparatos volcánicos se denominan lavas. Se solidifican en forma de rocas llamadas volcánicas o extrusivas, cuyo origen estrictamente ígneo está fuera de duda. Los magmas deben también existir localmente en el interior de la corteza terrestre, por debajo de las regiones de actividad volcánica y es muy probable que se solidifiquen antes de emerger a la superficie en forma de lavas, formando así las denominadas rocas plutónicas y, como es de esperarse, son semejantes mineralógicamente, aunque en general no idénticas a las rocas volcánicas. Por lo tanto, partiendo de las rocas volcánicas es posible establecer criterios mineralógicos y estructurales por medio de los cuales muchas rocas ígneas pueden ser reconocidas.

Algunos autores reconocen una clase intermedia (hipoabisal o hipabisal) que incluye a las rocas que han cristalizado a profundidad moderada. La necesidad de esta clase es dudosa.

Muchas de las rocas "hipoabisales" son idénticas o casi, a las lavas de la superficie y parece ser más satisfactorio el ampliar la clase volcánica para incluir las lavas de la superficie y las rocas intrusivas próximas a la superficie, con estructura y mineralogía semejantes. El término "plutónico" se reserva para aquellas rocas ígneas que han cristalizado a profundidad suficiente para imprimir caracteres distintivos propios de ellas.

Este es el criterio adoptado en este trabajo.



## **Características de las Rocas Volcánicas.**

### **Modo de yacimiento:**

Las rocas volcánicas se presentan en forma de corrientes que han hecho extrusión en la superficie terrestre. Las corrientes individuales varían en espesor desde unos cuantos centímetros, hasta varias decenas de metros y rara vez superan en longitud el centenar de kilómetros. Los rasgos característicos presentados en general por los derrames de lava son la superficie externa escoriácea, en bloques o acordonados; una zona recocida roja, oxidada, junto a la superficie inferior; disyunción columnar con dirección regular normal a las superficies de enfriamiento; o bien, disyunción en planos paralelos a las superficies de enfriamiento, especialmente en proximidad de la superficie.

Las rocas intrusivas próximas a la superficie que entran dentro de la clase volcánica pueden presentarse en forma de chimeneas verticales más o menos cilíndricas o como láminas tabulares. Estas últimas se conocen respectivamente como diques (discordantes) y diquestratos (concordantes), según se extiendan a través o paralelas a la estructura dominante (ej. estratificación) de las rocas invadidas.

### **Composición Química:**

El oxígeno es el elemento más abundante en las rocas volcánicas y en otras rocas ígneas. La composición química de una roca ígnea (determinada por análisis) puede expresarse referida a cierto número de óxidos. De éstos, el más importante

es la  $\text{SiO}_2$ , cuyo porcentaje en peso varía de 48 a 75% en las rocas ígneas más comunes.

Esta amplia variación en el contenido de sílice es la base de la ordenación de las rocas ígneas, generalmente en 4 categorías a saber:

Félsicas (con más del 66% de sílice)

Intermedias (entre 66% y 52% de sílice)

Máficas (entre 52% y 45% de sílice)

Ultramáficas (con menos del 45% de sílice)

Aunque estos términos puedan ser convenientes para expresar cualitativamente el carácter químico importante de las rocas ígneas, las divisiones correspondientes, definidas en forma arbitraria, no se pueden considerar como base satisfactoria para la clasificación general.

Otros constituyentes son:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{MnO}$ .

#### Composición Mineralógica:

Los constituyentes principales de las rocas volcánicas son sílice cristalina o un número pequeño de silicatos y aluminosilicatos de Ca, Mg, Fe y K; óxidos de Fe, Ti y vidrio.

En las condiciones volcánicas, por contraste con las plutónicas, el magma se enfría rápidamente y en consecuencia su viscosidad tiende a aumentar. Estas condiciones favorecen en apariencia la formación de vidrio y de ciertos minerales cristalinos característicos o peculiares de las rocas volcánicas.

Los principales minerales constituyentes de las rocas volcánicas son las siguientes:

**Sílice Cristalina ( $\text{SiO}_2$ ):** Cuarzo (común), tridimita y cristobalita (menos comunes).

**Feldespatos:** Sanidino y ortoclasa (serie de los feldespatos alcalinos). Albita y anortita (serie de las plagioclasas, feldespatos calcialcaninos). Como generalidad, pero nunca existe anortita en las rocas volcánicas.

**Piroxenas:** Diópsida, hedenbergita, enstantita y ferrosilita.

**Anfibolas:** Hornblenda y riebeckita.

**Micas:** Moscovita y biotita.

**Olivino:** Fayalita-forsterita.

**Feldespatoides:** Nefelina y leucita.

### **Estructura.**

Bajo el término de estructura se incluyen ciertos aspectos de "gran escala", tales como las superficies en forma de bloques, las estructuras de almohadilla, etc.

La estructura también indica algunos aspectos en "pequeña escala", que son debidos a la yuxtaposición de más de una clase de agregado textural dentro de una roca, tal como las estructuras amigdaloides y las esferulíticas.

A continuación se describen las principales estructuras que se presentan en las rocas ígneas.

### **Vesicular.**

Se origina por el escape o desprendimiento de los gases contenidos en el material fundido (magma), produciendo así cavidades , burbujas o vesículas que pueden ser esféricas, cilíndricas, elípticas o irregulares en su forma.

### **Escoriácea.**

Se aplica a la lava en la cual las cavidades provocadas por el desprendimiento del gas son muy numerosas y tienen forma irregular.

### **Amigdaloides.**

Las amígdalas son los rellenos de las vesículas por minerales secundarios y se denominan así debido a que sus formas a veces sugieren el parecido con las almendras.

Los minerales de relleno pueden ser calcita, sílice o silicatos aluminosos hidratados (zeolitas).

### **Acordonada.**

Se aplica a la lava que presenta aspecto rugoso o con arrugas o bordes que semejan una cuerda.

### **En almohadilla.**

Esta es una estructura peculiar de las lavas máficas, especialmente en tipos basálticos, la cual exhibe la apariencia de una pila de masas pequeñas más o menos redondeadas, que dan semejanza de almohadillas o cojines.

### **Fluidal.**

Se forma por el escurrimiento de la lava, produciendo así lentes, grietas, bandas y líneas paralelas productos de su composición, contenido de gases, viscosidad y grado de cristalización.

Puede presentar esferulitas, vesículas y vidrio. Se encuentra por lo general en riolitas y traquitas.

### **Juntas.**

Son planos divisorios o planos que se encuentran en todos los tipos de rocas ígneas, debido al enfriamiento diferencial.

### **Prismática y columnar.**

Se forman por el enfriamiento y contracción uniformes en una magma homogéneo. Los planos de división tienden a adoptar forma regular columnar o prismática, caracterizada por el desarrollo de prismas de 4, 5, o 6 lados, que pueden estar intersecados por juntas transversales. Las columnas se desarrollan perpendicularmente con respecto a la superficie de enfriamiento. La presentan por lo general los basaltos.

### **Lava Pahoehoe.**

Es una lava con superficie tersa, ondulada, o de aspecto de cordel o acordelada.



### **Lava aa.**

Es una lava que consiste en bloques irregulares y cubiertos comúnmente con pequeñas asperezas.

### **Lava de bloque.**

Es una lava que esta compuesta por bloques irregulares sin apariencia escoriforme.

### **Características de las rocas plutónicas.**

#### **Modo de yacimiento:**

Las rocas plutónicas son rocas ígneas cuya fábrica distintiva (y en algunos casos la composición mineralógica) indica la cristalización realizada en condiciones de enfriamiento lento, comparada con el grado rápido de enfriamiento de las rocas volcánicas en la superficie terrestre.

Probablemente la mayoría de las rocas plutónicas que hoy en día afloran en la superficie terrestre, cristalizaron a profundidades no menores de varios centenares de metros y que irían hasta algunos 20 kilómetros. El enfriamiento lento y continuado que es esencial para el desarrollo de la fábrica plutónica, está controlado en gran parte por la profundidad. De igual o mayor importancia, sobre todo en las masa plutónicas menos profundas, es la forma y tamaño del cuerpo magmático (particularmente la relación del volumen y el área de la superficie que se enfría) y la temperatura de la roca encajonante.

Las masas de rocas plutónicas varían enormemente en su forma y

extensión.

A continuación se describen los cuerpos plutónicos más comunes, clasificados convencionalmente según su forma y las relaciones con las rocas encajonantes.

#### **Cuerpos plutónicos más comunes.**

##### **Diquestratos:**

Son masas tabulares concordantes con la estructura principal, por ejemplo: La estratificación o exfoliación de las rocas encajonantes.

##### **Lacolitos:**

Son masas extendidas con base plana y el techo arqueado, sobre el cual los estratos invadidos se han arqueado concordantemente con el tiempo de la intrusión.

##### **Facolitos:**

Son masas lenticulares curvadas, inyectadas a lo largo y concordantes con los anticlinales y sinclinales de los estratos plegados.

##### **Lopolitos:**

Los lopolitos son cuerpos intrusivos concordantes grandes, de forma planoconvexa o lenticular con hundimiento en el centro. La disposición de la roca suprayacente no es de importancia. Puede tener la forma de domo, ser sinclinal, de plegamiento leve u horizontal.

### **Cuello volcánicos:**

Es un relleno de forma cilíndrica que ocupa el conducto central de un volcán ya extinto.

### **Placolitos (sills):**

Son láminas relativamente delgadas y tabulares de magma que han penetrado aproximadamente a lo largo de planos horizontales en los estratos.

### **Conolitos:**

Es un término transitorio, que se utiliza para designar todos aquellos intrusivos de formas irregulares, aún no clasificados hasta el momento, en que se reconozcan categorías adicionales de formas.

### **Diques:**

Son cuerpos tabulares discordantes, verticales o muy inclinados, que atraviesan la dirección de la estructura (por ejemplo la estratificación) de la roca encajonante.

Los diques tienden a ocurrir en la forma de sistemas o enjambres que son paralelos a una dirección, o que son radiales a un centro. Los diques cónicos o complejo de diques cónicos, son unidades de masas inclinadas en la forma de diques con contornos arqueados, cuyos miembros se sumergen formando ángulos de 30 o 40 grados hacia el centro común. Los diques anulares tienen aspecto arqueado que, si se desarrolla totalmente, da un aspecto cerrado en la forma de anillo. También los diques pueden ser compuestos,

con cambio de roca desde su base hasta la parte superior.

**Batolitos:**

Son grandes masas intrusivas con contactos muy inclinados y sin base visible, cuya superficie expuesta sobrepasa en extensión los 100 kilómetros cuadrados.

**Troncos (stock):**

Son semejantes en forma a los batolitos, pero de menor tamaño.

**Plutones:**

Término que comprende todas las masas intrusivas de rocas ígneas. Resulta conveniente cuando la intrusión no concuerda con ninguna de las definiciones anteriores o cuando no se ha determinado su configuración.

**Composición química y mineralógica.**

La composición química en conjunto es muy parecida en las rocas plutónicas y en las volcánicas. Una pequeña diferencia entre ambas es la tendencia a que la relación de hierro férrico a hierro ferroso sea en conjunto más baja en las rocas plutónicas, carácter que se puede relacionar con las reacciones oxidantes que tienen lugar en las condiciones volcánicas, además en las rocas volcánicas existe menor contenido de gases o volátiles que en las rocas plutónicas.

Mineralógicamente también existe semejanza entre las rocas

plutónicas y las volcánicas correspondientes; pero se pueden fijar varias diferencias entre ellas.

1. Es poco frecuente la presencia de vidrio en las rocas plutónicas.
2. Cierta número de rocas plutónicas, como las peridotitas, no tienen equivalentes entre las rocas volcánicas.
3. Los feldespatos alcalinos en las rocas plutónicas son de las series microclina-albita y ortoclasa-albita.
4. Las hiperstenas son más comunes en las rocas plutónicas.
5. En las rocas plutónicas la leucita es virtualmente desconocida.
6. Las micas son más frecuentes en las rocas plutónicas que en las volcánicas.

Anexo: texturas de las rocas ígneas.

#### TEXTURA.

Se define como las relaciones íntimas y mutuas de los constituyentes minerales y de la materia vítrea en una roca formada de un agregado uniforme.

Para hacer la descripción apropiada de la textura se requiere considerar 4 puntos:

1. Grado de cristalización
2. Tamaño de los granos

### 3. Forma de los cristales

### 4. Relaciones mutuas entre los cristales

#### **Cristalinidad.**

Se mide por la razón subsistente entre la materia cristalizada y la materia no cristalizada. Se le llama "holocristalina" a la roca compuesta completamente de cristales.

Se denomina "hipocristalina" a aquella roca que está compuesta parcialmente de cristales y de vidrio, y por último se le llamará "holohialina" a la roca que se componga en su totalidad de vidrio.

#### **Tamaño de los granos.**

De acuerdo con el tamaño de los granos, la textura se puede clasificar en:

1. Fanerítica
2. Afanítica (o felsítica en las rocas de colores claros)

Si los cristales son visibles a simple vista o con la ayuda de una lente de mano, se dice que la roca es "fanerocristalina o fanerítica". Si, por otra parte, los cristales no pueden distinguirse a simple vista, el término "afanítico" es el que se utiliza. Las rocas afaníticas pueden ser "microcristalinas", es decir, los cristales individuales son distinguibles con la ayuda de microscopio, o "criptocristalinas". Este término se utiliza



cuando los cristales individuales son demasiado pequeños para distinguirse como tales, aun bajo el microscopio y cuando su naturaleza cristalina solamente puede reconocerse por su reacción confusa de agregados a la luz polarizada. Las rocas faneríticas pueden ser distinguidas, además, como de "grano grueso", cuando el diámetro medio de los cristales es de 1 a 3 cm. de "grano medio", cuando el diámetro es entre 1-10 mm. y de "grano fino", cuando su diámetro es menor de 1 mm.

El tamaño de los cristales depende de la rapidez del enfriamiento y de la viscosidad del magma.

#### **Forma de los cristales.**

La fábrica o patrón de una roca depende de las formas, tamaños y disposiciones relativas de los cristales y éstos se clasifican:

**De acuerdo con el desarrollo de sus caras, de la manera siguiente:**

**Euhedrales:** Son aquellos que tienen desarrollo completo de sus caras.

**Subhedrales:** Son aquellos que presentan una etapa intermedia en el desarrollo de sus caras.

**Anhedrales:** Son aquellos en los cuales el desarrollo de sus caras está ausente.

**De acuerdo con el desarrollo relativo en las 3 direcciones.**

**Cristales equidimensionales:** Son aquellos que están más o menos igualmente desarrollados en todas direcciones.

**Cristales tabulares:** Son aquellos que están mejor desarrollados en 2 direcciones espaciales, en comparación con la 3a.

**Cristales prismáticos:** Son los cristales mejor desarrollados en una dirección con respecto a las otras 2.

**Cristales irregulares:** Son aquellos que no tienen forma definida.

**Relaciones mutuas entre los cristales.**

En acuerdo con esta característica, se dividen en:

6.4.1. Texturas equigranulares.

6.4.2. Texturas inequigranulares.

Las texturas equigranulares son aquellas en las cuales los minerales constituyentes tienen (todos ellos) aproximadamente el mismo tamaño, de modo que la roca tiene aspecto uniformemente granulada, tanto en muestras manuales como en sección delgada.

Cuando la mayoría de los cristales son subhedrales, se dice que la textura es hipidiomórfica. Por lo que respecta a los euhedrales, la textura se dice que es panidiomórfica. De la misma

manera, cuando se refiere a los anhedrales, se dice que la textura es alotriomórfica.

Las texturas inequigranulares se presentan cuando las diferencias de tamaño entre los minerales constituyentes de una roca ígnea se hacen tan marcadas que megascópica o microscópicamente definen el aspecto de la roca. De acuerdo con esta característica se puede mencionar la siguiente clasificación:

**Textura porfídica:** Es la textura en la cual existen cristales grandes o fenocristales que están envueltos en matriz microgranular, hipocristalina o vítrea.

**Textura porfídica seriada:** Es similar a la textura porfídica, pero con la diferencia de que existen cristales que varían gradualmente del más pequeño al mayor.

**Textura poiquilitica:** Es lo contrario a la textura porfirítica. Los cristales más pequeños están alojados en los más grandes, sin orientación común. Las inclusiones deben ser numerosas y suficientes para producir un patrón distintivo.

**Textura glomeroporfirítica:** Es una textura porfídica, pero con fenocristales agrupados en agregados más o menos redondos.

#### **CLASIFICACION DE LAS ROCAS IGNEAS.**

Las rocas ígneas se pueden clasificar de las maneras

siguientes:

Presentación (yacimientos).

Índice de coloración.

Composición química.

Saturación de sílice.

Contenido mineralógico.

Por lo que se refiere a la presentación (yacimientos) se divide en:

**Volcánica:**

Rocas que se solidifican sobre la corteza terrestre.

**Plutónica:**

Rocas que se solidifican en el interior de la corteza a profundidades mayores.

De acuerdo con el índice de coloración:

	% de Ferromagnesianos
	-----
Rocas claras	Leucocrática, menos del 30 %
Rocas intermedias	Mesocrática, entre 30-60 %
Rocas oscuras	Melanocrática, más del 60 %

En relación con la composición química (% de sílice):

Propuesta	Antigua^	% de sílice
-----	-----	-----
Félsica	Acida	Más del 66%
Intermedia	Intermedia	Entre 52-66%
Máfica	Básica	Entre 45-52%
Ultramáfica	Ultrabásica	Menos del 45%

^ Esta clasificación no sólo es anticuada, sino incorrecta, por qué en tiempos pasados los petrógrafos tenían la idea de que la sílice reaccionaba con el agua para formar ácido silícico, pero actualmente se sabe que esto no es cierto. Además, las rocas que contienen sílice también contienen potasio y sodio, siendo estas las bases más energéticas, por lo tanto, es una contradicción llamarles ácidas. Entonces se les llamó a las rocas ácidas, félsicas (feldespato-sílice) y a las básicas, máficas (magnesio-fierro).

De acuerdo con la saturación de sílice:

Saturadas: Son aquellas rocas en que pueden cristalizar otros minerales junto con cuarzo.

No saturadas: Son aquellas rocas en que no pueden cristalizar ciertos minerales en equilibrio con el cuarzo.

Sobresaturadas: Son aquellas rocas que tienen cuarzo libre.

Por su contenido mineralógico, los parámetros que se toman en cuenta son:

Cuarzo

Plagioclasas

Feldespatos

Feldespatoides

## **Ferromagnesianos**

**Los parámetros esenciales para la determinación de una roca son:**

- 1. Minerales esenciales:** Aquellos que le dan el nombre específico a la roca.
- 2. Minerales de variedad (minerales varietales):** Son los que ayudan a determinar las variedades de las rocas, encontrándose en ellas en cantidades menores, pero prominentes.
- 3. Minerales accesorios:** Son minerales poco abundantes, formados por cristalización primaria.
- 4. Minerales secundarios (no necesarios en la determinación y clasificación):** Son minerales formados por cualquier tipo de alteración.

### **ROCAS PIROCLASTICAS (TOBAS).**

Las principales rocas de este grupo son parte de los productos de la actividad volcánica y que, junto con los gases y los líquidos (lavas), integran la totalidad de ellos; por lo tanto, representan la parte más sólida de dicha actividad.

Se puede decir entonces que las rocas piroclásticas están formadas por materiales fragmentarios expulsados por las aberturas o fisuras, transportados por el aire y depositados en



la superficie del suelo, en los lagos o en las aguas del mar.

Los materiales así depositados son, por lo general, erosionados, transportados y vueltos a depositar junto con otros materiales sedimentarios clásticos y químicos.

Un término muy afín a las tobas es el de ignimbritas.

#### **Ignimbritas.**

Se designa con el nombre de ignimbritas a todas las brechas pumíticas originadas a partir de nubes ardientes, sino idénticas, al menos parecidas a las de Mont Pelé. Las ignimbritas son mezclas de bombas pumíticas y de lapilli en una matriz tobácea que consiste principalmente de partículas de ceniza fina.

Presentan pseudolaminación listada fina, como el bandeamiento fluidal presentado por muchas lavas. Las características para su reconocimiento es la textura vitroclástica relicta y las transiciones hacia el material soldado de rápido enfriamiento.

Se encuentran en las partes altas, bajas y en los márgenes de los volcanes en forma de masas individuales. La base del depósito puede tener cualquier forma, mientras que su techo es marcadamente plano y regular. Químicamente las ignimbritas son parecidas a las riolitas, por lo tanto; todas las ignimbritas son tobas soldadas, pero no todas las tobas soldadas son ignimbritas.

#### **Nube ardiente.**

Es una nube muy caliente de material magmático expulsado con un pequeño ángulo respecto al horizonte por un conducto

volcánico y que se precipita pendiente abajo con una intensa turbulencia en su parte frontal.

### **Aglomerado.**

Es una roca o depósito piroclástico, con tamaño de los fragmentos mayor de 32 mm, predominando los fragmentos redondeados (bombas).

### **PEGMATITAS.**

La gran diversidad de las pegmatitas hace muy difícil definir las en términos conocidos y adecuados. Son por lo general de grano grueso (algunas veces extremado) y por lo común irregulares en el tamaño de grano, en comparación con las rocas plutónicas de composición similar.

La presencia de intercrecimientos gráficos (por lo general de microclina-cuarzo) y el desarrollo local de cavidades recubiertas de cristales, son rasgos típicos, pero no siempre presentes.

Muchas pegmatitas son mineralógicamente y químicamente similares al granito, pues sus constituyentes principales son el cuarzo, microclina, plagioclasa sódica y micas. También puede haber asociados gran número de minerales raros, que así mismo se encuentran como accesorios en las rocas graníticas (turmalinas, apatita, esfena, monacita, zircón, berilo, etc.).

Las pegmatitas se presentan en general en masas de tamaño pequeño. Las masas individuales son por lo común tabulares o lenticulares planas, variando en tamaño desde unos centímetros

hasta decenas de metros. También son conocidas masas mayores (diques, lentes o cuerpos irregulares), que en algunos casos miden varios kilómetros de longitud y en algunos sitios de 60 a 90 metros de espesor.

#### IV. LAS ROCAS SEDIMENTARIAS

##### PROCESOS SEDIMENTARIOS.

Los elementos de la sedimentación son el intemperismo, transporte, depósito, litificación y diagénesis.

##### Intemperismo.

Es el conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que alteran las rocas de la corteza terrestre. El intemperismo puede ser de tipo físico (dilatación térmica), químico (disolución) y biológico (ácidos de las plantas y acción de las bacterias).

##### Transporte.

Los fragmentos no consolidados que forma el intemperismo quedan disponibles para ser movidos por flúidos y constituyen la fuente principal de componentes detríticos sedimentarios. El transporte puede efectuarse por medio del viento, por el agua o por el hielo, las mareas y las corrientes marinas.

### **Depósito.**

El depósito de los sedimentos puede ser llevado a cabo por el agua, viento o aire. Los sedimentos se pueden depositar en cuencas o irregularidades de la corteza terrestre.

### **Litificación.**

Es el complejo de procesos que convierten un sedimento recientemente depositado en roca endurecida o consolidada.

### **Diagénesis.**

La diagénesis se refiere a las reacciones que tienen lugar dentro del sedimento entre un mineral y otro, o entre unos o varios minerales y los flúidos intersticiales o flotantes.

Los principales procesos diagenéticos son: Autigénesis, cementación, compactación, diferenciación diagenética, disolución diferencial, recristalización y reemplazamiento.

## **PROPIEDADES DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS.**

Las propiedades fundamentales de las rocas sedimentarias son:

1. Textura
2. Propiedades de masa
3. Color
4. Estructuras
5. Composición

La textura comprende las características de las partículas

sedimentarias y las relaciones que guardan los granos entre sí.

Al asociarse las partículas en agregados, obtienen ciertas propiedades de masa como la porosidad, permeabilidad y el empaque.

El color es la característica más evidente y fácil de observar en las rocas sedimentarias.

Las estructuras son los rasgos más grandes de un depósito, tales como la estratificación, marcas de oleaje, etc.

La composición es el término que se emplea para referirse a la composición mineralógica o química de un sedimento.

Llámanse sedimento a un depósito de materia sólida pero sin litificar, en la superficie terrestre, acarreado por cualquier medio (agua, aire, hielo).

La mayoría de los sedimentos son mezclas de dos componentes principales. Una parte detrítica (guijarros, arenas), llevada al lugar de depósito desde algún área de origen y una parte química (calcita, yeso), formada en el sitio de acumulación. Ambos componentes pueden mezclarse en cualquier proporción.

Una roca clástica (arenisca) se compone de material detrítico y una roca no clástica (caliza) se compone de material formado mediante agentes químicos o biológicos. Algunas rocas clásticas están formadas por materiales no detríticos, transportados o rehechos como fragmentos de fósiles.

#### **Textura de las rocas sedimentarias.**

La textura consiste en el tamaño, forma y disposición (empaque y fábrica) de los elementos componentes de las rocas sedimentarias, las cuales son propiedades geométricas y los

términos tales como el grano grueso o la angulosidad, son descriptivos de la textura de una roca.

Las rocas detríticas tienen textura fragmentaria, la cual se caracteriza por la existencia de partículas rotas, desgastadas por abrasión o irregulares en la superficie de contacto; mientras que las rocas químicas tienen textura cristalina, caracterizándose por la presencia de partículas entrelazadas, muchas de las cuales presentan caras o superficies cristalinas.

#### Características de la textura de la masa.

Los componentes que dan a una roca sus características de textura de la masa, dentro de las categorías generales de agregados fragmentarios y cristalinos, son tres: Las partículas mismas, la matriz de material más fino (que llena los intersticios entre las partículas) y el cemento o cementante que junta a las partículas con la matriz.

Las partículas y la matriz forman asociación relativa, por ejemplo: Granos de arena en matriz de arcilla, o guijarros en matriz de arena.

Si todas las partículas son de tamaño similar, como en la arena de dunas, no puede hacerse distinción alguna entre las partículas, y la matriz se reserva para el material más fino asociado con la distribución de partículas mayores.

El cemento es un precipitado químico posterior al depósito, que llena los intersticios entre granos y matriz.

Los cementos más comunes en las rocas sedimentarias son la sílice ( $\text{SiO}_2$ ), la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), la dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) y la

siderita ( $\text{FeCO}_3$ ).

### Color de los sedimentos.

El color es la característica más evidente y fácil de observar en las rocas sedimentarias. Sin embargo, la descripción exacta del color -sobre base objetiva- sólo se puede efectuar por medio de gráficas comparativas de color; o de las tablas de colores.

Según Krynine (1948), existen 4 factores que regulan el color en una roca sedimentaria y éstos son:

1. El efecto conjunto total de los colores de los granos del mineral.
2. El color de la matriz de grano más fino o el del cemento.
3. El color de cualquier recubrimiento de los granos.
4. El grado de finura de los granos sedimentarios.

Los sedimentos de grano muy fino son, por lo común, más oscuros que los de grano más grueso de composición similar, porque la materia colorante está distribuida más uniformemente.

Puede haber materiales-pigmentos como los óxidos de fierro, glauconita, material orgánico (como el betún), sulfuro y óxidos de hierro, etc., casi siempre en la matriz, pero en ocasiones asociados con la superficie de los granos.



### **Estructuras sedimentarias.**

Se entiende por estructura de los sedimentos los rasgos de mayor magnitud que se observan o estudian en afloramientos, mejor que en muestras o en cortes delgados. Son los rasgos mayores de las rocas.

Las estructuras pueden clasificarse de acuerdo con su origen como singenéticas o primarias y como epigenéticas o secundarias.

Las singenéticas se forman al mismo tiempo que los sedimentos se depositan y las epigenéticas se forman después de que se han convertido en roca dichos sedimentos.

Las primeras incluyen la estratificación, marcas ondulatorias, características orgánicas, etc., en tanto que las secundarias incluyen pliegues, fallas, etc.

Las estructuras sedimentarias, sean singenéticas o epigenéticas, se clasifican también en internas y externas.

### **Estructuras externas.**

Los cuerpos sedimentarios de la columna geológica son sólidos, tridimensionales de tamaño finito con cierta forma geométrica y que presentan relaciones de contacto, marcadas o graduadas, con sus formaciones vecinas.

### **Tamaño y forma del cuerpo sedimentario.**

Las palabras lámina, lente, cuña, abanico y delta, describen la configuración externa o forma de un cuerpo sedimentario.

### **Estructuras internas.**

Son las estructuras que se encuentran dentro del cuerpo de las rocas sedimentarias. Existen 2 tipos de estructura interna, los cuales son:

1. La estratificación entrecruzada
2. La estratificación graduada

Estas estructuras son las características de los bancos de areniscas, pero se pueden producir también en otros sedimentos clásticos, tanto gruesos como finos y en algunas calizas.

### **Estratificación y laminación.**

La mayoría de las rocas sedimentarias se acomodan en capas o estratos. El término estrato se emplea para designar a una capa de más de 1 cm de espesor, fácilmente reconocible entre otras capas superiores e inferiores, cuya separación se determina por el cambio en la litología.

Una lámina es semejante a un estrato, pero su espesor es menor de 1 cm. Por lo tanto, la diferencia entre estrato y lámina es específicamente de grado o espesor.

Una capa es una unidad rocosa compuesta por uno o varios estratos o láminas.

### **Estratificación transversal o cruzada.**

Es una disposición de las láminas en sentido transversal u oblicuo a los planos de estratificación, en líneas rectas inclinadas o formas cóncavas. Los ángulos de inclinación son de 30 grados o menores.

### **Estratificación gradual.**

Parece ser el resultado de la sedimentación pulsante relativamente rápida en condiciones tectónicas inestables o por variaciones estacionales del flujo. Las partículas cambian de gruesas a finas, desde la parte inferior hasta la parte superior de la capa.

### **Características de los planos de estratificación.**

Se caracteriza por tener marcas ondulatorias, estriaciones y surcos, marcas ondulatorias de corriente, agrietamientos del barro, etc.

### **Estructuras orgánicas.**

Las estructuras orgánicas halladas en las rocas, son los fósiles que forman parte integrante de la roca y es uno de los medios más importantes para la interpretación de la edad de la formación y sus condiciones de depósito.

### **Marcas ondulatorias.**

Las crestas y valles subparalelos formados por la acción de las olas o corrientes.

### **Estriaciones y surcos.**

Se observan principalmente en lutitas, justamente debajo de los bancos de limolitas o areniscas.

### **Biohermas.**

Son las estructuras orgánicas de mayor tamaño y espesor, como los arrecifes de coral. Representan acumulaciones de restos y despojos orgánicos que se formaron en condiciones de vida prolífica.

### **Biostromas.**

Son zonas de estructuras orgánicas o residuos esparcidos como un manto, o en láminas o lentes localizados a través de una formación.

### **Fósiles.**

Los fósiles constituyen demostraciones de vida pasada. Pueden estar sepultados y conservarse relativamente inalterados, tales como los materiales orgánicos más resistentes, huesos, dientes y conchas.

### **Naturaleza de los linderos.**

Algunos cuerpos sedimentarios colindan con sus vecinos de manera abrupta, ya sea en sentido vertical o lateralmente, mientras que otros pueden mostrar cambio gradual continuo de un tipo de depósito a otro.

Las relaciones en sentido vertical dan lugar a contactos concordantes o discordantes, lo mismo que a contactos de carácter gradual.

### **Pliegues.**

Son deformaciones secundarias existentes en la corteza terrestre en forma de ondulaciones.

### **Fallas.**

Son fracturas a lo largo de las cuales ha habido movimiento.

### **Fisuras.**

La superficie de ruptura o fractura en las rocas, a lo largo de la cual hay separación visible, pero no otro movimiento.

### **Estilolitas.**

Las estilolitas (estructuras químicas), son como suturas sísmográficas y excesivamente irregulares que se observan mejor en la sección transversal de una roca. Las estilolitas abundan en las rocas carbonatadas (caliza y dolomita).

### **Composición de las rocas sedimentarias.**

La composición de las rocas sedimentarias está expresada en términos mineralógicos y/o químicos. Esta es una propiedad de los sedimentos y conjuntamente con la textura y la estructura, forman las características de las rocas.

Las clasificaciones sedimentarias consideran comúnmente en primer término la composición, al dar nombre a las rocas y en segundo término a la estructura.

### **Composición mineralógica.**

La composición mineralógica es característica importante.

Algunas rocas sedimentarias presentan gran uniformidad en su composición mineralógica, se han identificado en ellas más de 150 especies minerales, las cuales pertenecen a 2 grupos principales: Detríticos y químicos.

Los minerales detríticos se desprenden o forman por meteorización de las rocas generadoras y son mecánicamente transportados y depositados.

Los minerales químicos son formados por precipitados de soluciones.

### **Minerales detríticos.**

Estos minerales forman la mayor parte de los sedimentos clásticos. El cuarzo, los minerales arcillosos y las micas de grano fino, son los minerales más abundantes en las rocas sedimentarias clásticas.

Menos frecuentes son el pedernal detrítico, el feldespato y las micas de grano grueso.

Los menos abundantes son los minerales pesados accesorios.

La composición de los minerales detríticos depende de la clase de roca que les dio origen, del grado de intemperismo que obró sobre ella y de la distancia y procesos de transporte.

A pesar de que es larga la lista de los minerales detríticos posibles, en la práctica se encuentran pocas especies y en las láminas delgadas, el número de minerales es aún más restringido.

Los principales minerales detríticos son:

**1. Cuarzo**

**2. Feldespatos alcalinos:**

- 2.1. Ortoclasa
- 2.2. Sanidina
- 2.3. Microclina
- 2.4. Anortoclasa

**3. Plagioclasas**

- 3.1. Serie de la albita-anortita

**4. Micas**

- 4.1. Moscovita
- 4.2. Biotita
- 4.3. Clorita

**Minerales no detríticos.**

Los minerales no detríticos se precipitan de una solución mediante agentes químicos o biológicos. Su acumulación tiene lugar en el sitio mismo de la precipitación o muy cerca de él.

Los minerales más comunes en las rocas no clásticas son:

- 1. Calcita
- 2. Dolomita
- 3. Pedernal
- 4. Cuarzo secundario
- 5. Yeso (o anhidrita)



### **Composición química.**

La composición química de los sedimentos clásticos varía ampliamente. La composición de los sedimentos clásticos está estrechamente relacionada con el tamaño de su grano y su madurez.

En los sedimentos de grano grueso es suficiente la identificación de los minerales para determinar la composición química del conjunto.

Para los sedimentos de grano fino, como la lutita, el análisis químico puede ser el único método exacto para clasificar la roca de acuerdo con su composición química.

Las rocas sedimentarias medias contienen alrededor de:

- a). 58% de óxido de silicio
- b). 13% de óxido de aluminio
- c). 6% de óxido de calcio férrico
- d). 5% de óxidos de fierro férrico y ferroso
- e). 5% de óxido de carbono
- f). <5% de óxidos de magnesio, potasio y sodio

### **TEXTURA DE LAS ROCAS CLASTICAS.**

Para poder definir la textura de las rocas clásticas, se debe antes comprender las propiedades de las partículas que las componen, las cuales son:

1. Tamaño
2. Forma (esfericidad)
3. Redondez

4. Textura superficial
5. Orientación
6. Composición mineralógica

#### **Tamaño.**

Es elemento importante de la textura en las rocas clásticas, debido a su relación con las condiciones dinámicas del transporte y depósito.

Si las partículas que integran un sedimento clástico fueran todas esferas, no habría dificultad especial en definir o determinar sus tamaños. La especificación de sus diámetros sería clasificación suficiente, pero los guijarros de un conglomerado, por ejemplo, no son esféricos, sino generalmente muy irregulares y desafían la clasificación común. Por lo tanto, la medida del diámetro de una partícula se toma directamente, aunque la forma irregular del fragmento crea dificultades.

Para medir el tamaño de una partícula pequeña existen varios métodos, como el de cribado, velocidad de asentamiento (conforme a la ley de Stokes) y el microscópico.

#### **Forma (esfericidad).**

La forma de las partículas de una roca clástica depende de las formas originales del material suministrado por el intemperismo y de la cantidad y clase de transporte que ha sufrido. También depende de los caracteres físicos de los diferentes materiales involucrados.

La medición de la esfericidad verdadera de una partícula irregular no es posible de realizar en la práctica.

### **Redondez.**

La redondez se relaciona con la agudeza de las aristas y de los vértices de un fragmento clástico, independientemente de la forma.

Existen varios grados de redondez y se clasifican en:

**Angulosos:** Muestran muy poca o ninguna prueba de desgaste, las aristas y los vértices son agudos.

**Subangulosos:** Muestran el efecto típico del desgaste, las aristas y los vértices han sido redondeados en cierto grado.

**Subredondeado:** Muestran considerable desgaste, las aristas y los vértices están redondeados en curvas suaves.

**Redondeado:** Caras originales completamente destruidas, las aristas y los vértices originales han sido pulidos hasta curvas suaves y amplias.

**Bién redondeado:** Sin caras originales, sin aristas, ni vértices.

### **Relación entre la forma, la redondez y el tamaño.**

En los sedimentos naturales no sólo la esfericidad y la redondez están correlacionadas estrechamente entre sí, sino que cada una de ellas a su vez está en función del tamaño.

### **Textura superficial.**

Rugosidad de la superficie. El conjunto de los pequeños rasgos de la superficie de un grano da la textura superficial, independientemente de su tamaño, forma o redondez. Pertenecen a dicha textura el lustre, estrias, etc.

Potter, reconoció 5 (cinco) tipos de textura superficial:

1. Desgaste por abrasión (desmenuzada o fragmentada).
2. Lobulada (de apariencia de canto rodado como lóbulos).
3. Corroída (con desprendimiento de material por disolución).
4. Lisa (sin marcas prominentes).
5. Faceteada (con planos como cristal).

### **TEXTURA DE LAS ROCAS NO CLÁSTICAS.**

Las texturas de los sedimentos no clásticos (químicos, no detríticos) son distintivas y notablemente diferentes de los pertenecientes a los sedimentos clásticos. Dichas texturas observadas son principalmente el resultado de la recristalización de materiales microcristalinos o casi amorfos, o de la recristalización de soluciones o del estado de gel.

En sentido estricto, todas las rocas son cristalinas, aun las arcillas, pero para aquellas que muestran un agregado entrelazado de cristales, como el presente en la sal roca, se reserva el término de "cristalino".

Las rocas cristalinas también se denominan granulares o sacaroides y pueden ser de grano grueso (macrocristalinas), de

grano medio (mesocristalinas) o de grano fino (microcristalinas), pero las sacaroideas son siempre finas.

Los cristales individuales pueden ser euhedrales, subhedrales o anhedrales, según que tengan caras de cristales bien desarrollados, pocas caras o estén desprovistos de contornos cristalinos.

Algunos sedimentos cristalinos son equigranulares o de tamaño más o menos uniforme. Otros son de grano desigual y en ellos se encuentran cristales grandes diseminados en la matriz de grano fino.

Los sedimentos no clásticos más importantes son la caliza y la dolomita; otros menos comunes son las evaporitas (yeso, sal, anhidrita, etc.) y los ferruginosos, fosfáticos, silíceos y orgánicos.

El siguiente cuadro muestra las texturas cristalinas según Hirschwald (1912) y Howell (1922).

**Macrocrystalina (granos gruesos: > 0.75 mm)**

a). granos subiguales.

b). granos desiguales.

**Mesocrystalina (granos desiguales: 0.20 a 0.75 mm)**

**Microcrystalina, naturaleza cristalina sólo reconocible al microscopio: 0.01 a 0.20 mm).**

**Criptocrystalino: (menor de 0.01 mm).**

## CLASIFICACION Y DESCRIPCION DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS.

Las propiedades de las rocas sedimentarias dan la base para su clasificación, de acuerdo con sus semejanzas y texturas, composición u otras características. Las propiedades observables pueden ser usadas directamente en clasificaciones descriptivas.

Varias clasificaciones sedimentarias han sido propuestas. Los grupos descriptivos han estado basados en las propiedades de textura de los sedimentos o en su composición química o mineralógica.

### Factores por considerar en la clasificación.

Los factores por considerar para la clasificación de las rocas clásticas son: Composición mineralógica, madurez, textura y estructura.

Por otra parte, los factores por considerar en los sedimentos no clásticos son muy importantes para la clasificación y son las condiciones químicas o biológicas en las que se formaron dichos sedimentos.

En las clasificaciones modernas, se concede el primer lugar de importancia a la composición y después a la textura que conduce a categorías tales como los sedimentos de grano grueso, mediano o fino.

La mayoría de las rocas sedimentarias son mezclas de componentes detríticos y químicos. La siguiente clasificación está basada en los tamaños y formas de los clastos.

## **Descripción de las principales rocas.**

### **Rocas clásticas.**

#### **Conglomerado.**

Roca sedimentaria de grano grueso, compuesta de fragmentos redondeados a subangulosos mayores de 4 mm de diámetro, matatenas, guijarros y cantos. Todo esto embebido en matriz de grano fino (arena o limo) y cementado comúnmente por carbonato de calcio, óxido de fierro, sílice o arcilla endurecida.

Es el equivalente consolidado de la grava, tanto en el rango de tamaño como en la redondez y clasificación esenciales de las partículas constituyentes, los fragmentos de roca o mineral pueden ser de cualquier composición y variar muy ampliamente en tamaño, estando casi siempre redondeados y lisos por el transporte en agua o por la acción de las olas.

#### **Brecha.**

Roca clástica de grano grueso, de fragmentos angulosos unidos entre sí por algún cementante mineral o en matriz de grano fino. Difiere del conglomerado en que los fragmentos tienen aristas angulosas y esquinas sin desgastar.

#### **Arenisca.**

Roca clástica de grano mediano, compuesta por fragmentos abundantes, redondeados y angulosos del tamaño de la arena, en matriz de grano fino, bien sea de limo o de arcilla unidos más o

menos firmemente por material cementante, que es comúnmente sílice, óxido ferroso o carbonato de calcio.

En textura es el equivalente de la arena intermedia entre el conglomerado y la limolita.

Las partículas de arena consisten usualmente de cuarzo y se usa el término de arenisca cuando no se le agrega calificativo, indicando la roca que contiene de 85 a 90 % de cuarzo.

### **Lutita.**

Roca sedimentaria detrítica formada por la consolidación (sobre todo con presión) de arcilla o lodo, se caracteriza por la estructura finamente laminada, que le imparte fisibilidad a lo largo de la cual la roca se separa con facilidad en capas delgadas, siendo más notable en las superficies intemperizadas. También es característico el contenido apreciable de minerales arcillosos y cuarzo detrítico, así como argilita, limolita o pelita finamente laminadas y fisibles.

Contiene normalmente el 50% de limo, con el 35% de arcilla o mica fina y el 15% de materiales químicos o autígenos. La lutita es en general blanda, pero suficientemente endurecida para no desintegrarse con la humedad; aunque es menos firme que la argilita y la pizarra. Con frecuencia tiene fractura astillada, tacto liso y se raya con facilidad. Su color puede ser rojo, pardo, negro o gris.

### **Limolita.**

Es roca sedimentaria de grano fino, con tamaño medio de



grano comprendido entre 1/16 a 1/256 mm. Se le ha considerado como roca cuya textura es intermedia entre las areniscas y las lutitas.

Las limolitas tienden a presentarse en hojuelas delgadas, las cuales se intemperizan fácilmente en los afloramientos. La mayoría de la limolitas contienen mica, clorita y minerales arcillosos en abundancia.

#### **Argilita.**

Es una roca compacta derivada de la pelita, limolita o de la lutita, compuesta por arcilla que ha sufrido un grado de endurecimiento mayor que ellas, pero tiene laminación menos clara que la lutita o carece de ella. No tiene fisibilidad, además de que carece del crucero distintivo de la pizarra.

El término se ha aplicado a una roca arcillosa clástica, de grano muy fino, cementada con sílice.

#### **Rocas no clásticas.**

##### **Caliza.**

Es roca sedimentaria que consiste principalmente del 50% por peso o porcentaje superficial (en el microscopio) de carbonato de calcio y principalmente como el mineral calcita, con o sin carbonato de magnesio.

En lo específico, roca sedimentaria carbonatada que contiene más del 95% de calcita y menos del 5% del mineral dolomita.

Los componentes menos comunes incluyen sílice (calcedonia), feldespatos, arcillas, pirita y siderita. Las calizas se forman

por procesos orgánicos o inorgánicos y pueden ser detriticas, químicas,oolíticas, terrosas, cristalinas o recristalizadas; cuando son en extremo fosilíferas representan bancos de conchas antiguas o arrecifes coralíferos.

Las calizas incluyen: Creta, calcarenita, coquina y travertino y efervescen rápidamente con ácido clorhídrico.

### **Dolomita.**

Es roca sedimentaria en la cual más del 50% por peso o porcentaje superficial bajo el microscopio consiste en el mineral domolita o una variedad de caliza o mármol, ricos en carbonatos de magnesio.

Específicamente, es una roca sedimentaria carbonatada que contiene más del 90% de dolomita y menos del 10% de carbonato de calcio o con proporción de calcio a magnesio en el rango de 1.5 : 1.7.

La dolomita se presenta en las formas cristalinas y no cristalinas y se encuentra claramente con frecuencia interestratificada con caliza, representando en la mayoría de los casos el reemplazamiento del calcio por magnesio posterior al depósito.

Se estima que las únicas dolomitas primarias son las que se asocian íntimamente con evaporitas, que es el ambiente en que dispondrían del magnesio necesario para su formación original. La dolomita pura puede efervescer muy lentamente con ácido clorhídrico, a menos que se pulverice finamente.

## **MEDIOS SEDIMENTARIOS.**

El medio sedimentario es el complejo de las condiciones físicas, químicas y biológicas, bajo las cuales se acumula un sedimento. Este complejo determina una gran parte de las propiedades de los sedimentos depositados dentro del medio.

Los medios sedimentarios pueden clasificarse según varias bases; la naturaleza del medio de depósito, como el aire, el agua, el hielo, puede usarse como base. Una clasificación puede depender del agente geológico principal que dio origen al depósito, como los ríos, olas o corrientes. Una base común para clasificar los medios marinos es la profundidad del agua. Los modelos ambientales pueden utilizarse también como base.

Twenhofel clasifica los medios en:

### **I.- Medios continentales:**

- a). Terrestres: Desértico, glacial.
- b). Acuáticos: Fluvial, lacustre, pantanoso, cavernoso.

### **II.- Medios de transición: Deltaico, lagunal, de litoral.**

### **III.- Medios marinos: Nerítico, batial, abisal.**

#### **Medios continentales.**

Los medios continentales son aquellos en la que la superficie de depósito yace normalmente arriba del nivel del mar, aunque en algunas cuencas cerradas pueden encontrarse depósitos continentales abajo del nivel del mar.

La distinción entre los medios terrestres y acuáticos depende del hecho de que el depósito se forma en agua (ríos, lagos,

pantanos) o de que sea formado por el viento o hielo glacial.

### **El medio desértico.**

Geográficamente un desierto significa un área que es árida porque es seca. Los sedimentos desérticos exhiben una amplia variabilidad. Los depósitos son comúnmente lenticulares y pueden mostrar alternancias rápidas de material fino o grueso. La estratificación cruzada eólica es común en las arenas depositadas por el viento. Se forman evaporitas cuando se evapora el lago, y es bastante común encontrar cloruro de sodio o sulfato de sodio en algunos sedimentos desérticos.

Los factores de energía principales son la energía cinética del viento y de las corrientes temporales, y la energía térmica involucrada en la evaporación de los lagos. Los materiales del medio desértico son guijas y guijarros, la arena llevada por el viento que forma dunas, y los depósitos de grano fino, algunas veces con evaporitas, que se forman en el centro de las cuencas.

El color de los sedimentos de los desiertos muestran una gran variedad de tonos, desde el blanco y el gris, pasando por varios tonos de amarillo, café y rojo hasta el negro.

### **El medio glacial.**

Se considera generalmente que el medio glacial comprende el medio del glaciar mismo y el medio bordeante asociado del agua fundida. Los depósitos de agua fundida, formados en el agua que escapa del hielo, pueden considerarse como continentales acuosos, pero su asociación íntima con los depósitos de hielo da origen a

un solo agrupamiento más conveniente.

El medio glacial se caracteriza por sus bajas temperaturas, las cuales limitan el crecimiento de las plantas y restringen la fauna de las especies más resistentes. En términos de los elementos y factores, la energía es casi totalmente la del hielo en movimiento y la de la corriente de agua fundida. Las condiciones limitantes incluyen el tamaño y el espesor del glaciar y la configuración de la superficie del terreno glaciado. Los materiales del medio son totalmente clásticos, y varían desde bloques gigantescos hasta arcilla más fina. Los factores biológicos son despreciables en lo que respecta a su contribución a los sedimentos. Los depósitos formados por el hielo se les llama morrenas o tierras de acarreo.

#### El medio fluvial.

Los depósitos fluviales se forman en los canales de los ríos y llanuras de inundación asociadas de corrientes individuales, o como abanicos o llanuras aluviales amplias en donde la combinación de varias corrientes domina un área apreciable. La energía de los medios fluviales radica principalmente en la energía cinética de la corriente. Las condiciones limitantes comprenden el gradiente de la corriente, la forma lineal del canal y las paredes limitantes del valle. Los materiales varían desde cantos rodados hasta arcilla. Los factores biológicos juegan una parte importante en el depósito de corriente, proviniendo las contribuciones principales de material húmico de los sedimentos más finos formados en las llanuras de inundación.

### **El medio pantanoso o paludial.**

Los pantanos son cuerpos de agua estancada poco profunda o baja, que se encuentran en terrenos ocupados por vida vegetal relativamente abundante. El agua de los pantanos puede ser marina, salobre o dulce.

Las condiciones limitantes de los pantanos comprenden su forma ovalada y las profundidades reducidas. La energía es química o térmica más que mecánica. Los materiales del medio incluyen limo y lodo que pueden ser deslavados hacia el pantano, y sales disueltas.

El complejo biológico es un elemento dominante en la sedimentación ya que los depósitos pueden ser total o principalmente restos de plantas acumuladas.

Los depósitos de pantano pueden ser de origen orgánico o material detrítico.

### **El medio lacustre.**

El ambiente lacustre exhibe un amplio intervalo de condiciones, caracterizadas por profundidades más pequeñas, olas más pequeñas y corrientes más débiles, así como también por historias de vida más cortas en comparación con los océanos. Las condiciones limitantes de los lagos comprenden su tamaño, su forma y profundidad del agua. Los lagos grandes tienen suficiente energía de oleaje para desarrollar características de playa bien marcadas.

Los materiales detríticos del medio lacustre pueden variar desde gruesos a finos, y en algunos lagos el contenido de sales

disueltas tiene fuerte influencia de sedimentación.

En la mayoría de los lagos pequeños, los depósitos son de grano fino principalmente, con excepción de una zona angosta de playa formada por partículas de arena de carácter más grueso. Los depósitos de playa son arenas y tienen forma lenticulares. En los lagos relativamente grandes con sedimentos detríticos, los limos y arcillas lacustres parecen principalmente ser lentes delgadas o depósitos laminares delgados de materiales bien clasificados.

#### **Medios de transición.**

Tres condiciones ambientales, la deltaica, la lagunal y la litoral, se clasifican comúnmente como de transición, aunque es posible establecer muchas subdivisiones. Los estuarios pueden variar desde el agua dulce hasta la de mar. Los pantanos costeros pueden ser verdaderos medios de transición en el aspecto de que pueden alternar entre agua dulce y salada.

#### **El medio deltaico.**

Una delta es un depósito sedimentario de transición alimentado por una corriente y distribuido por olas y corrientes de lago o de mar. Las condiciones limitantes del medio deltaico incluyen el tamaño y la forma del depósito, la distribución de los canales de la corriente, la expresión topográfica general y las barreras y otras características bordeantes del lado del mar.

La energía es principalmente mecánica e incluye la energía cinética de las corrientes, las olas y los ríos. Los materiales del medio comprenden detritos gruesos y finos, materia orgánica y

sales disueltas. Los factores biológicos pueden ser importantes localmente, como en la formación de arrecifes de ostras.

### **El medio lagunal.**

Una laguna es un cuerpo de agua poco profunda relativamente tranquila, separado del mar por una playa de barrera o una barra, que impide a la energía de las olas entrar a la laguna. La laguna recibe agua dulce y sedimentos procedentes de ríos, y agua salada procedente del mar, por las entradas de las mareas.

Las condiciones limitantes comprenden la forma, la profundidad del agua y las barreras limitantes de la laguna. Los materiales del medio incluyen detritos acarreados por las corrientes y las sales disueltas en el agua.

La energía es principalmente térmica, excepto cerca de las bocas de las corrientes y a lo largo de los canales de las mareas.

El complejo biológico incluye plantas acuáticas, organismos de habitación en el fondo y formas flotantes, los cuales aportan cantidades significativas de materia orgánica y carbonatos a los sedimentos en acumulación, especialmente en el agua tranquila alejada de los canales de mareas.

Los sedimentos del fondo exhiben normalmente una graduación de textura que varía desde arena y limos finos en los canales, hasta limo y arcilla ricos en materia orgánica en las áreas tranquilas. La arena fina, el limo y la arcilla acarreados por las corrientes, suplementados por la arena arrastrada por el viento desde la barrera y por el material orgánico y los carbonatos de



los organismos, dan origen a una gran variedad de tipos sedimentarios en la laguna.

### **El medio litoral.**

El ambiente de litoral es el medio de playa, que se extiende desde la región de alta marea hasta la de baja marea. Una característica importante del medio litoral es su sumersión alternada y su exposición subaérea durante el ciclo de las mareas.

La expresión típica del medio de litoral es la playa, formada por el rompimiento de las olas a lo largo de la costa. La mayoría de las playas están formadas de arena, acarreada por corrientes o procedente de acantilados de la costa sujetos a la acción de las olas. Las condiciones limitantes del medio de litoral comprenden la configuración de la costa, la pendiente de la playa y el ancho de la llanura de mareas. El material del medio incluye principalmente partículas clásticas, que varían desde guijas o guijarros hasta lodo. La energía es mecánica y está representada por el rompimiento de las olas y por las corrientes que corren a lo largo de la playa. Los factores biológicos son relativamente secundarios en la regulación de la sedimentación en la playa.

### **Medios marinos.**

Las aguas del mar cubren ahora como el 70% de la superficie de la tierra. Las condiciones marinas de depósito varían mucho, pero son menos conocidas que las terrestres, debido a la dificultad de efectuar observaciones directas.

Para el análisis y descripción de los depósitos marinos se emplea el criterio de la profundidad, y se reconocen cuatro zonas principales; nerítica, batial, abisal y hadal.

#### **Zona nerítica.**

Esta zona se extiende desde el nivel de la marea baja hasta la profundidad de 180 m, y se divide en dos subzonas. La subzona que se extiende desde el nivel de la marea baja hasta la profundidad de 45 m, y la subzona circalitoral que va desde los 45 m hasta los 180 m. La zona nerítica puede concebirse como una amplia faja paralela a la costa. El material clástico proveniente del continente puede diseminarse sobre el fondo. Las corrientes y acción de las olas durante las tormentas pueden ser prominentes cerca de la costa, mientras que a otra profundidad, puede ser insignificante.

Las condiciones limitantes de la zona infralitoral comprenden el agua poco profunda y la cercanía a la playa. El material es predominantemente clástico y la energía mecánica. El factor biológico es de importancia secundaria en las zonas poco profundas.

Las condiciones limitantes en la zona circalitoral incluyen profundidades de agua incrementadas, siendo la energía principalmente térmica. Los materiales del medio son finos, el factor biológico puede volverse crecientemente importante en la sedimentación. Las sales y los gases disueltos en el agua del mar y el grado de penetración de la luz solar son factores reguladores de la naturaleza y distribución de los organismos.

### **Medio batial.**

El ambiente batial comprende profundidades del agua comprendidas entre los 180 m a los 4050 m. Este medio se divide en dos zonas: La epibatial, que se extiende desde los 180 m hasta los 1080 m, y la mesobatial, que va desde los 1080 m hasta los 4050 m.

Los sedimentos batiales son; arena muy fina, lodo y sedimentos calcáreos, glauconíticos y silíceos. La energía mecánica es esencialmente despreciable. Las condiciones limitantes incluyen las profundidades limitantes del agua y las pendientes fuertes locales que ocurren en partes del medio.

Los materiales del medio incluyen las sales disueltas en el agua del mar; el material detrítico fino que se asienta en la suspensión y, más raras veces, los fragmentos más gruesos que pueden provenir del derrumbamiento de las áreas de menor profundidad. El complejo biológico es importante en las contribuciones a la sedimentación hechas por los restos de los organismos flotantes.

### **Medio abisal y hadal.**

Estos medios abarcan todas las profundidades oceánicas mayores de 4050 m y el medio hadal, en particular, abarca las trincheras oceánicas a profundidades mayores de 6200 m. La luz no penetra a las profundidades abisales, la presión hidrostática sobrepasa a los 140 kgs por centímetro cuadrado y la temperatura es generalmente inferior en 5 grados centígrados. Estas condiciones impiden seriamente el desarrollo de la vida.

Las condiciones limitantes del medio comprenden principalmente el factor de la profundidad. La energía mecánica representada por la acción de las corrientes, está presente en un nivel mínimo. Los materiales del medio comprenden sales disueltas y material detrítico fino, además de los restos silíceos y calcáreos de las especies flotantes.

## V. LAS ROCAS METAMORFICAS

### AGENTES O FACTORES DEL METAMORFISMO.

Las 3 fuerzas activadoras del metamorfismo son el calor (temperatura), presión y flúidos químicamente activos. La temperatura aumenta al aumentar la profundidad (gradiente geotérmico).

Evidentemente, a la profundidad de unos cuantos kilómetros, en regiones de actividad ígnea, la temperatura es tan elevada que las rocas estables en la superficie pueden ser transformadas considerablemente por el calor.

El calor también puede ser producido por fricción, cuando 2 masas de roca son empujadas una sobre la otra, aunque el metamorfismo producido sea en algunos casos de grado bajo.

Los cambios de temperatura son generalmente más eficaces que los cambios de presión, en el favorecimiento del metamorfismo.

Por medio de la perforación petrolera y con base en las muestras recuperadas que corresponden a grandes profundidades, se ha podido observar que no muestran efectos apreciables de metamorfismo; no obstante, la mejor causa de presión es la carga

litostática sobre rocas que están profundamente situadas dentro de la corteza, o los empujes que se han verificado en la parte superior de la corteza.

La primera representa la presión litostática y la segunda representa (indica) la presión dirigida o esfuerzo cortante.

#### **Esfuerzo cortante.**

Obra en una dirección particular. Es uno de los factores más determinantes que influyen en la trama de las rocas metamórficas; sus efectos varían desde el cambio de forma y orientación de los minerales y fracturas mecánicas, hasta los plegamientos secundarios complejos.

El esfuerzo hace descender los puntos de fusión de los minerales y aumentar su solubilidad, por lo tanto, es factor importante para promover la recristalización.

La disolución tiene lugar en los puntos de presión máxima dentro de un cristal, con la precipitación concurrente en el área de presión máxima (principio de Riecke). Lo anterior tiene importante relación con el origen de las fábricas de las rocas metamórficas.

#### **Presión litostática.**

Obra igual en todas direcciones. Este tipo de presión es determinado principalmente por la profundidad. Conduce a cambios de volumen y da por resultado la formación de fábricas granulares.

La presión tiende a favorecer el desarrollo de minerales y más

anhidros en las rocas metamórficas. En general las rocas metamórficas procedentes de las zonas más profundas de metamorfismo son más densas que las que se desarrollan a niveles elevados en la corteza.

Así, por ejemplo, el silicato de aluminio producido por metamorfismo a gran profundidad es cianita; la misma substancia, desarrollada por metamorfismo en contacto ígneo a profundidades moderadas, es la andalucita, que es menos densa.

### **Flúidos y gases.**

Los flúidos químicamente activos que se percolan a través de la red intergranular de una roca, desempeñan papel importante en el metamorfismo. El agua es el flúido activo principal, además del bióxido de carbono, ácido bórico, ácidos clorhídrico y fluorhídrico, los cuales actúan como catalizadores o disolventes y facilitan la reacción química y el ajuste mecánico.

Las fuentes principales de agua que contribuyen a los procesos metamórficos son:

1. Agua meteórica o connata que se encuentra en los poros de los sedimentos.
2. Agua combinada con los minerales hidratados.
3. Agua juvenil.

### **TIPOS DE METAMORFISMO.**

Los intentos clásicos de subdividir el campo del metamorfismo han dado lugar a una terminología con influencias genéticas, que

supone el conocimiento de las causas y de las condiciones físicas de cada de metamorfismo y así aparecen el metamorfismo de inyección, térmico, geotérmico, pneumatolítico, hidrotermal, de presión, estático o de carga, dinámico y de dislocación.

Gran parte de la terminología es ambigua, bien por falta de criterios petrogenéticos decisivos o debido a la dudosa validez de las suposiciones que sirven de base. Por ejemplo, los que se refieren a los efectos de la presión.

Las rocas metamórficas comunes se presentan en pocos ambientes geológicos. Los tipos correspondientes de metamorfismo pueden ser definidos en términos de criterios de campo y de asociaciones, sin tener en cuenta las causas y las condiciones de los fenómenos que todavía son imperfectamente conocidos.

Sobre esta base se admiten 3 tipos principales de metamorfismo:

#### **Metamorfismo ígneo.**

Se presenta en zonas limitadas (aureolas), adyacentes a masas de rocas plutónicas.

#### **Metamorfismo regional.**

Se desarrolla en grandes áreas de cientos de miles de kilómetros cuadrados, sin estar relacionado consecuente o evidentemente con intrusiones ígneas. Se encuentran buenos ejemplos en las raíces de las cadenas montañosas y en escudos continentales precámbricos.

### **Metamorfismo de dislocación.**

Está limitado a zonas de intensa deformación, tales como las grandes fallas.

Otros tipos de metamorfismo, por lo general, pueden ser definidos satisfactoriamente en términos petrogenéticos.

### **Piro metamorfismo.**

Está representado por los xenolitos de los derrames y diques de las rocas volcánicas, de los basaltos especialmente. Sus caracteres de presentación, así como el estado parcialmente fundido de muchas de éstas rocas, atestiguan la elevada temperatura del metamorfismo significado por su nombre.

### **Metamorfismo cataclástico.**

El metamorfismo cataclástico se origina de la trituración y granulación de los minerales y las rocas (cataclasis), a través de aplicación de esfuerzo, bajo pequeña carga y a bajas temperaturas, pero con poca formación de mineral, excepto a lo largo de los planos de movimiento considerable.

La cataclasis puede actuar sobre los cuerpos de roca de grano fino, produciendo brecha triturada; o sobre los minerales individuales (en rocas de grano grueso), formando milonitas.

### **Metamorfismo metasomático.**

Supone el cambio substancial en la composición química, tal como se deduce de los criterios químicos mineralógicos o de



fábrica. Son ejemplos comunes la conversión de las peridotitas en esquistos talcosos y la sustitución de la caliza por las rocas con silicatos cálcicos.

#### **Metamorfismo retrógrado (diaftoresis).**

La asociación mineralógica metamórfica de temperaturas altas es convertida en la asociación más hidratada, generalmente estable a temperatura más baja. Los criterios para reconocerle son mineralógicos y son interpretados a la luz de datos experimentales.

No todos los casos de metamorfismo pueden ser clasificados inequívocamente en uno o en otro de los tipos mencionados anteriormente, porque un mismo rasgo puede tener interpretaciones diferentes.

#### **ZONAS DE METAMORFISMO.**

Como las condiciones de temperatura y presión que rigen al metamorfismo están sujetas a variación al aumentar la profundidad abajo de la superficie de la tierra, es de esperar la influencia de la profundidad en las condiciones del metamorfismo.

La clasificación de Grubenmann (1904) de las rocas metamórficas, adoptada en sus puntos esenciales por Niggli (1924), descansa en la composición química y en la profundidad del metamorfismo. Las tres zonas que se describen son; la zona superior o epizona que se caracteriza por sus condiciones de esfuerzo cortante intenso y baja temperatura en general. La zona

intermedia o mesozona se define como un ambiente en el que prevalecen una temperatura considerable y una presión dirigida pronunciada. La zona inferior o catazona se caracteriza por sus elevadas temperaturas y presiones, pero con frecuencia carece de deformación.

Debe hacerse notar que en el esquema original de Grubenmann no existe lugar para los productos de metamorfismo de contacto. Con el fin de remediar esto, Niggli extiende la catazona hasta abarcar la zona mas interna de las aureolas de contacto, del metasomatismo pneumatolítico y del metamorfismo de inyección, sin tomar en cuenta la profundidad real. Del mismo modo, los productos del metamorfismo de contacto de baja temperatura cercanos al limite exterior de una aureola, y las rocas que han sido afectadas por metasomatismo de baja temperatura, estan comprendidas entre las rocas de la epizona. Así enmendada la clasificación, las tres zonas ya no se definen tanto por la profundidad como por las condiciones prevalecientes de temperatura y presión.

#### **CONCEPTO DE LAS FACIES METAMORFICAS.**

El concepto de las facies metamórficas es importante en la petrología metamórfica moderna, y es de empleo universal.

Una facies metamórfica incluye rocas de cualquier composición química, y por lo tanto de composición mineralógica ampliamente variable, que han alcanzado su equilibrio durante el metamorfismo en un conjunto particular de condiciones físicas.

Las rocas formadas o recristalizadas dentro de un criterio de campo de presión y temperatura, limitado por la estabilidad de ciertos minerales críticos de composición definida, pertenecen a la misma facies mineral.

Es claro que el concepto de las facies se refiere a una colección de rocas metamórficas, de cualquier composición, que han sido metamorfoseadas dentro de ciertos límites amplios de temperatura y presión.

#### **Principales facies metamórficas.**

**Facies de sanidinita:** Temperatura muy alta, presión baja; su ocurrencia como xenolitos en las rocas volcánicas indica condiciones pirometamórficas, o con hornfels en contacto con cuellos volcánicos. Los minerales críticos para la facies son la sanidina, tridimita, pigeonita y algunos silicatos de calcio poco comunes, como la larnita y rankinita.

**Facies de piroxeno-hornfels:** Alta temperatura, presión moderada; los hornfels de piroxeno se forman a bajas profundidades por metamorfismo de contacto con piroxenas tales como la hiperstena y la diópsida como minerales críticos.

**Facies de anfibolita:** Esta es una facies muy amplia, y sus agrupamientos son las rocas regionalmente metamorfoseadas más abundantes. La combinación hornblenda-plagioclasa es crítica. Su límite de alta temperatura es marcado por la presencia de diópsida e hiperstena, en lugar de hornblenda, mientras que su

limite de baja temperatura es indicado por la composición de la plagioclasa.

**Facies de albíta-epidota-anfibolita:** Presión y temperatura moderadas; las rocas se forman por metamorfismo regional. El mineral crítico para esta facies es el agrupamiento cuarzo-albíta-epidota-hornblenda.

**Facies de esquisto verde:** Temperatura y carga de presión relativamente bajas; las rocas de ésta facies se forman por metamorfismo regional en los niveles superiores de la corteza terrestre. Son muy características las agrupaciones de muscovita-clorita-cuarzo y de albíta-epidota-cuarzo.

**Facies de granulita:** Presión y temperatura extremadamente elevadas; las rocas se forman por metamorfismo regional de alto grado; la ausencia de minerales hidratados indica un ambiente seco. Un agrupamiento de hiperstena, almandina, cuarzo, ortoclasa, plagioclasa, sillimanita y cianita es crítico. Los minerales hidratados, como por ejemplo la biotita, la hornblenda, la wollastonita y la grosularita están ausentes.

**Facies de eclogita:** Presión extremadamente alta y temperatura elevada. La facies de eclogita se caracteriza por la omfacita, un piroxeno intermedio entre diópsida y la jadeíta, los granates como el pirope y la almandina, y el rutilo. Entre otros minerales se cuentan la cianita y la hiperstena.

**Facies de esquistos de glaucófana:** Esquistos caracterizados por la glaucófana, la crossita y la lawsonita, granate, piroxenos y el rutilo.

A la idea de facies, que se refiere a una unidad de tipos de roca, Tilley ha unido la de grado, que se refiere a la etapa o grado del metamorfismo que las rocas han sufrido.

G. Barrow delimitó zonas de grado creciente sobre los esquistos Dalriadan de Escocia. Basó las zonas en las transformaciones mineralógicas ocurridas a los derivados de los sedimentos pelíticos o arcillosos y las relacionó de una manera general con el aumento de la temperatura y de la presión. Las rocas de la Dalriada de Escocia son sedimentos geosinclinales regionalmente metamorfoseados y rocas piroclásticas. La variación de temperatura en el tiempo del metamorfismo. Sobre esta base, un cambio gradual en el grado de metamorfismo corresponde a un cambio de la temperatura, de modo que las líneas de igual grado (isogradas) trazadas sobre un mapa se interpretan también como isotermas. Cada zona de metamorfismo progresivo es definida por un mineral indicador, cuya primera aparición marca el límite de la zona. La secuencia de los minerales indicadores, en el orden de su grado metamórfico creciente, es clorita, biotita, almandina, estauroлита, cianita y sillimanita. La serie de las zonas metamórficas mapeadas por Barrow, Tilley y otros, se ha desarrollado bajo la influencia de la temperatura determinada en gran parte en una zona cualquiera por la profundidad de enterramiento y modificada en los niveles profundos por la proximidad a masas de magma granítico inyectado.

## **MINERALES METAMORFICOS.**

### **Nesosilicatos.**

Cianita, silimanita, andalucita. Son silicatos polimórficos de aluminio, productos típicos de rocas arcillosas. La cianita es la más densa y puede indicar condiciones de presión intensa. La silimanita es el mineral más común de los tres.

Grosularita y andradita (granates), característicos de sedimentos calcáreos que han sido térmicamente metamorfoseados. La espesartita (granate) indica metamorfismo regional de grado bajo. La almandita (granate), indica metamorfismo más elevado, el piropero (granate) indica metamorfismo alto.

La lawsonita es mineral metamórfico típico de los esquistos de glaucófano. La epidota es mineral común del metamorfismo regional de grado bajo y del metamorfismo ígneo, en contacto de intrusión félsica y roca carbonatada. La estaurolita es mineral de metamorfismo ígneo en lutitas y de metamorfismo regional.

### **Sorosilicatos.**

La melilita se encuentra en las rocas calcáreas térmicamente metamorfoseadas.

### **Ciclosilicatos.**

La cordierita es mineral de contacto en hornfels. La turmalina se forma muy pronto a temperaturas bajas durante el metamorfismo regional. Es mineral pneumatolítico. La wollastonita, mineral de contacto, frecuentemente asociada con

granates.

#### **Inosilicatos.**

Anfibolas (antofilita, tremolita, actinolita y glaucófano) y piroxenas (jadeíta y onfacita), las piroxenas pueden existir en rocas metamórficas de baja y alta temperaturas.

#### **Filosilicatos.**

Moscovita, biotita, clorita, cloritoide, talco. Algunos de estos minerales están limitados a rocas metamórficas.

#### **Tectosilicatos.**

Cuarzo, feldespatos, plagioclasas. La albita es de los minerales más frecuentes.

Otros minerales de las rocas metamórficas, no incluidos entre los silicatos, son el grafito, espinela, corindón, magnetita, hematita, brucita, calcita y dolomita.

### **TEXTURAS Y ESTRUCTURAS DE LAS ROCAS METAMORFICAS.**

La textura se refiere a la forma, tamaño, arreglo y orientación de los granos de los minerales de las rocas. El término estructura es más comúnmente usado para los rasgos mayores.

Tanto la textura como la estructura son importantes en el descifrado del orden de cristalización de los minerales. La orientación y el arreglo de los minerales en las rocas metamórficas varían ampliamente, aunque las rocas de metamorfismo

de contacto o regional y las rocas miloníticas presentan texturas características.

### **Descripción de algunas de las texturas más importantes.**

#### **Texturas que presentan elementos planos lineales.**

##### **Exfoliación.**

Se aplica al arreglo paralelo o distribución de los minerales, incluyendo el bandeamiento por composición y el crucero pizarroso, como en las pizarras y esquistos.

##### **Esquistosidad.**

Se aplica a un crucero o fisibilidad debido al paralelismo de los minerales lamelares o lineales de las rocas metamórficas.

##### **Crucero pizarroso.**

Se aplica al arreglo paralelo de micas de grano fino en las pizarras, las cuales presentan fisibilidad plana.

##### **Bandeamiento gnéissico.**

Es la alternancia de bandas claras y oscuras, tales como las bandas micáceas o de hornblenda con bandas cuarzo-feldespáticas, como en los gneisses. Con frecuencia se usa para designar el bandeamiento metamórfico, sin considerar su origen.



### **Alineamiento.**

Se aplica al paralelismo o alineamiento de los minerales en la roca. Por ejemplo, la alineación de granos prismáticos como los de hornblenda.

### **Orientación preferente.**

Denota paralelismo de granos tabulares o alargados o de cristales con orientación de enrejado.

**Texturas que no tienen orientación preferente o que son de granos equidimensionales.**

### **Hornfésica.**

Esta textura es característica de los hornfelses, con los granos prismáticos sin orientación, en manchas oscuras.

### **Granoblástica.**

Se aplica a rocas metamórficas que se caracterizan por presentar cristales equidimensionales.

### **Poligonal.**

Se aplica a granos equidimensionales entrelazados, por ejemplo de cuarzo o calcita, formando uniones triples con igual ángulo de 120 grados, debido al equilibrio en la recristalización.

**Texturas que presentan cristales grandes dentro de la roca.**

**Porfiroblástica.**

Se aplica a los cristales relativamente grandes de un mineral en las rocas metamórficas, que están rodeados por cristales más pequeños de otros minerales; se puede comparar con los fenocristales en las rocas ígneas, es decir, con la textura porfirítica.

**Idioblástica.**

Se aplica a la roca que tiene cristales grandes, bien formados con caras planas, que son los porfiroblastos. La textura es equivalente de la panidiomórfica.

**Xenoblástica.**

Se aplica a la roca que tiene cristales grandes, irregulares, mal formados, que son los porfiroblastos. La textura es equivalente a la hipidiomórfica de las rocas ígneas.

**Augen.**

Porfiroclastos de feldespato que presentan la forma de ojos o lentes en sección transversal, en matriz gnéssica de grano fino.

**Texturas que presentan inclusiones o bordes dentro de un porfiroblasto.**

**Poikiloblástica.**

Se aplica cuando un porfiroblasto contiene numerosas

inclusiones de uno o más minerales envueltos durante el crecimiento. También se dice que tiene textura de tamiz o de cedazo.

#### **Helicítica.**

Se aplica a las líneas de inclusiones curvas o contorsionadas que se conservan en el interior de cristales de gran tamaño.

#### **Estructuras que presentan características concéntricas.**

##### **Orbicular.**

Se presenta como segregaciones de forma esférica que constan de capas concéntricas, de composición mineral y texturas diferentes.

#### **Texturas que presentan fragmentos de roca intacta.**

##### **Cataclástica.**

Generalmente este término denota fisuramiento y trituración de la roca. No debe usarse en rocas miloníticas.

La naturaleza de la roca original quizá pueda ser reconocida por los fragmentos no destruidos.

##### **Flaser.**

Es textura cataclástica en la cual los lentes u ojos no destruidos de la roca original nadan en listas granulares o laminares.

### **Milonítica.**

Intensamente triturada, listada y con granos recristalizados, típicamente foliada y conteniendo cristales relictos ovalados.

### **Mortero.**

Textura de deformación resultante del cambio de tamaño, en matriz rodeada de cristales originales grandes. Quizá originada por la deformación plástica y recristalización.

## **CLASIFICACION DE LAS ROCAS METAMORFICAS.**

Existen muchas formas de clasificar a las rocas metamórficas.

El método más sencillo consiste en dividir las rocas con exfoliación y sin exfoliación. Otro método consiste en agruparlas en grandes tipos litológicos o texturales, como mármoles, cuarcitas, hornfelses, pizarras, filitas, esquistos y gneisses y sus variedades.

Para fines descriptivos, estos métodos son los más útiles. Otros esquemas de clasificación están basados en criterios de texturas y mineralógicos, clases químicas, grado de metamorfismo y el concepto de facies metamórfica. Sin embargo, la clasificación de las rocas metamórficas debe de estar basada en criterios que proporcionen alguna indicación de la naturaleza de la roca premetamórfica y del tipo de metamorfismo que ha motivado su estado y asociación actuales.

Turner sugiere 4 criterios:

1. Asociación de campo.
2. Composición mineralógica.
3. Textura y estructura.
4. Composición química.

## DESCRIPCION DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE ROCAS METAMORFICAS.

### Rocas metamórficas no exfoliadas.

#### Skarn.

Término usado por los geólogos escandinavos para referirse a la ganga de silicatos (básicamente anfíbolos), en ciertos depósitos de hierro de Suecia, sobre todo en donde reemplazaron a calizas y dolomitas. En la actualidad el término prácticamente se considera sinónimo de tactita, para abarcar rocas ricas en silicatos de calcio derivadas de calizas puras y dolomitas, a las que se ha introducido gran cantidad de sílice, aluminio, hierro y magnesio.

Se forman por metamorfismo ígneo, es decir, bajo condiciones pirometasomáticas. Sus texturas y estructuras varían considerablemente, desde granoblástica hasta porfiroblástica. Las rocas tienden a ser mineralógicamente simples. Entre los silicatos comunes que forman la masa de algunas tactitas están la forsterita, la tremolita, la andradita, la epidota, la wollastonita, la esfena, etc; muy importantes son grosularita y actinolita.

La calcita y el cuarzo pueden formar gran parte de la roca o

pueden estar ausentes. Por la mineralogía de las tactitas, es evidente que durante el metamorfismo de las rocas calcáreas iniciales han sido introducidas grandes cantidades de fierro, magnesio, aluminio, silicio y en ocasiones cantidades elevadas de sustancias volátiles. A veces el metamorfismo de grado alto es señalado en las rocas calcáreas por la wollastonita, que indica presión y temperatura elevadas.

### **Hornfels.**

Se forman por metamorfismo ígneo de rocas arcillosas. Comúnmente ocurre en las aureolas formadas en rocas arcillosas, que rodean a los cuerpos de rocas plutónicas. La mayoría de los hornfelses consisten en un mosaico de minerales sin orientación y su textura se denomina hornfésica.

Generalmente están compuestos por cuarzo, feldespatos, biotita, moscovita, piroxenas, granates y calcita. Los minerales como la andalucita, cordierita, el granate y la vesubianita, formados por metamorfismo de contacto, ocurren comúnmente como grandes porfiroblastos, con abundancia de inclusiones pequeñas.

Muchos hornfelses presentan texturas porfiroblástica y granoblástica. La matriz está formada de ordinario por feldespatos, cuarzo, micas, magnetita, etc.

### **Mármoles.**

Los mármoles son rocas carbonatadas, visiblemente recrystalizadas. Constan predominantemente de calcita o de calcita y dolomita, aunque pueden haber otros silicatos de

calcio, magnesio o de calcio y magnesio; en cantidades menores.

Se originan por contacto (metamorfismo) o metamorfismo regional de rocas carbonatadas. La presencia de tremolita, forsterita, diópsida y wollastonita indica generalmente temperatura creciente de formación.

La naturaleza de los minerales accesorios depende en gran medida de si la roca original fue caliza o dolomita y de la naturaleza de las impurezas: Silíceas, arcillosas o ambas, y de la presencia o ausencia de las sustancias volátiles. Presentan texturas poikiloblástica, idioblástica y porfidoblástica. Con frecuencia están bandeados con capas alternadas de grano grueso y fino.

#### **Cuarcitas.**

Son rocas metamórficas, principalmente de cuarzo, que ha sufrido recristalización. El término significa roca formada esencialmente de granos de cuarzo, entrelazados, que han perdido casi toda traza de su origen clástico, con la textura típica de mosaico.

La mayoría de las cuarcitas contienen algunos granos de feldespato, magnetita y unas cuantas hojuelas de mica y clorita. La cuarcita puede estar bandeada, en estratos delgados o gruesos, o laminada.

#### **Rocas metamórficas con exfoliación.**

##### **Pizarras.**

Las pizarras son rocas metamórficas de grano fino

(afanítico), con exfoliación muy desarrollada, llamada pizarrosidad o crucero pizarroso, debida a la cual la roca puede ser dividida según superficies relativamente lisas y paralelas muy próximas entre sí.

Los minerales de las pizarras, exceptuando algunos porfiroblastos, no son identificables a simple vista y aun examinados al microscopio (con grandes aumentos) queda la mayor fracción por lo general no identificable.

Las pizarras pueden presentar bandeamiento, el cual es de procedencia sedimentaria. La exfoliación o pizarrosidad es el resultado de la orientación de los minerales. Las pizarras se forman por metamorfismo regional débil de rocas arcillosas, (lutitas) sedimentos laminares y muy rara vez, de rocas tobáceas.

#### **Filitas.**

Son rocas metamórficas micáceas, de grano fino, con exfoliación muy desarrollada, intermedia entre la pizarrosidad y la esquistosidad. Ocasionalmente presentan capas de segregación. Los minerales como las micas y la clorita les imparten brillo satinado. Con frecuencia las filitas tienen superficies de crucero corrugadas.

Presentan textura de grano fino, pero casi todos los constituyentes son identificables al microscopio. Las filitas se forman por metamorfismo regional débil (de grado bajo) de lutitas y pizarras, pero pueden proceder también de tobas o sedimentos tobáceos. Las filitas son de grado de metamorfismo algo más intenso que las pizarras y algo menor que los esquistos.



### **Esquistos.**

Son rocas metamórficas, cristalinas, marcadamente foliáceas, formadas por metamorfismo termodinámico. Pueden separarse con facilidad en hojuelas delgadas o en laminas, debido al paralelismo bien desarrollado de más del 50% de los minerales presentes, en lo particular los de hábito laminar o prismático, por ejemplo la mica y la hornblenda.

### **Gneisses.**

Son rocas metamórficas poco foliáceas, formadas por metamorfismo regional, en el que bandas o lenticillas de minerales granulares se alternan con bandas o lenticillos donde predominan minerales que tienen hábito hojoso o prismático.

Por lo general, menos del 50% de los minerales presentan orientación preferente. Tienen estructura gnéissica y comúnmente son ricas en cuarzo y feldespato.

### **Anfibolitas.**

Son rocas metamórficas, compuestas esencialmente de hornblenda y plagioclasa. Se encuentran entre las rocas más comunes formadas por metamorfismo regional de grado moderado a alto. La textura es granoblástica, exfoliada o alineada. La exfoliación es ocasionada por el alineamiento de la hornblenda y la biotita.

Se pueden formar a partir de rocas de composición diversa, como ígneas máficas a ultramáficas, calizas puras, sedimentos calcáreos impuros, tobas, etc, todas las cuales han

sido afectadas por la introducción metasomática de sílice, magnesio y fierro.

### **Granulitas.**

Con respecto a la composición mineralógica, las granulitas pueden ser cuarzofeldespáticas o portadoras de piroxenas. Las primeras se caracterizan por la exfoliación determinada por la alternancia de lentes de cuarzo grueso, con capas de granate granoblástico fino, cuarzo, plagioclasa y ortoclasa.

Las últimas son rocas granoblásticas o macizas compuestas de plagioclasa, hiperstena o granate y diópsida. La mayoría de las granulitas cuarzofeldespáticas se forman a partir de rocas ígneas silíceas y arcosas.

La mayoría de las granulitas máficas son químicamente semejantes a las rocas ígneas, variando desde basaltos hasta andesitas y dacitas.

Las granulitas ultramáficas son químicamente análogas a las peridotitas y se forman a temperaturas y presiones altas.

### **Eclogitas.**

Son rocas metamórficas de grano medio a grueso, poco foliáceas o sin exfoliación alguna, formadas principalmente de granate y piroxena sódica (onfacita).

El granate y la piroxena constituyen la masa principal de la roca, siendo el granate y la onfacita xenoblásticos. Las variedades pueden ser designadas por los minerales

característicos prominentes, como hornblenda, plagioclasa, etc.

#### **Migmatitas.**

Rocas de origen híbrido o compuestas en parte por restos metamórficos y materiales de composición y texturas ígneas. La fracción ígnea (composición granítica) ha sido inyectada en la mayoría de los casos, pero también puede ser introducida por metamorfismo y hasta desarrollarse "in situ" por diferenciación metamórfica.

#### **Milonitas.**

Rocas metamórficas, que se han formado por molienda y pulverización de rocas a lo largo de zonas de falla. Son de grano fino aunque contienen algunas lentes dispersas de roca matriz no triturada alineadas con la estructura de corriente o laminada en la dirección del movimiento. A pesar de su condición pulverizada, las milonitas son compactas, duras y aún pedernalosas. La mayoría de las milonitas son laminadas y tienen fajas individuales marcadas por diferencias de color, granularidad y composición.

#### **Filonitas.**

Rocas de grano fino, sumamente exfoliadas, cuya fina textura resulta de la brechación de rocas de granos más gruesos. Las filonitas se parecen a las filitas y contienen minerales de bajo grado metamórfico, como clorita, sericita, grafito y cuarzo.

Muchas filonitas son producto de metamorfismo retrogresivo con granos relictos de minerales de grado más alto, incluyendo el

granate, la estaurolita, la cianita, la andalucita y la biotita.

## VI. IDENTIFICACION MEGASCOPICA DE LOS MINERALES DE LAS ROCAS.

### Rocas ígneas.

Los minerales encontrados esencialmente son los feldespatos y el cuarzo. Los feldespatos alcalinos (de potasio) como la ortoclasa, microclina y sanidina, se identifican con la ayuda de la lupa.

En las rocas intrusivas, por lo general se encuentran ortoclasa y microclina. En las rocas volcánicas félsicas, se encuentra sanidina.

La ortoclasa es blanca o de color rosado, en cristales achaparrados, lustre aperlado, fracturamientos irregulares y presenta gemelación de Carlsbad.

La microclina es de tono verdoso, por lo demás análoga a la ortoclasa, pero casi siempre con la gemelación del periclino.

La sanidina tiene lustre adamantino (esplendente), incoloro, de sección cuadrada, puede estar fracturada o en parte reabsorbida.

De las plagioclasas, en rocas graníticas se encuentra por lo general la albita-oligoclasa y en las rocas basálticas se encuentra la labradorita-bitownita.

Las plagioclasas se presentan normalmente como cristales más alargados que los feldespatos potásicos, son incoloras (transparentes), blancas o grises y a veces fracturadas irregularmente, con lustre vítreo. Al microscopio presentan la

gemelación de la albita o polisintética.

El cuarzo se presenta tanto en rocas intrusivas como extrusivas, con forma irregular, transparente, incoloro, grisáceo, lustre resinoso, con fractura irregular. No tiene forma definida y tiene dureza de 7.

El olivino (silicato de fierro y magnesio), se presenta en color verde olivo, con cristales fracturados irregularmente. Cuando está alterado, en las orillas del cristal se ve una franja rojiza (iddingsita). Normalmente está bien cristalizado.

Las piroxenas se presentan tanto en rocas extrusivas como intrusivas; son poco alargadas, con estrías, de color casi negro a rojizo, lustre brillante, esplendente. Tienden a ser más brillantes que las anfíbolas y su sección característica es octagonal.

Las anfíbolas se presentan tanto en rocas extrusivas como intrusivas, en cristales prismáticos, alargados, con tintes negros verdosos y estrías. Su sección característica es hexagonal.

En las micas, la biotita y moscovita se distinguen por sus cristales hexagonales. Cuando están frescas se ven como espejitos, vistas de frente, se ven como hojas (libros de mica).

La biotita es de color pardo-oscuro, negra, a veces verde-oscuro, pero normalmente es de color pardo.

La moscovita es incolora, blanca y a veces de tintes verdosos. Se presenta en mayor grado en las rocas ígneas intrusivas.

Los feldespatoideos (nefelina y leucita), tienen semejanza con el cuarzo y se presentan en cristales irregulares, aunque a veces

en forma de rectángulo. Tienen lustre igual al cuarzo y son de color grisáceo. El cuarzo es más duro que los feldespatoides.

#### **Rocas metamórficas.**

**Plagioclasas:** La albita es la que se presenta más frecuentemente.

**Piroxenas y anfíbolas:** Las anfíbolas son más frecuentes que las piroxenas; a veces se encuentran en agujas radiales, de color verde o blanco.

**Epidota:** Se presenta en rocas metamórficas, encontradas cerca de los intrusivos. Frecuentemente en forma de masas irregulares de color verde o en agrupaciones de prismas estriados muy brillantes. Su color característico es el olivo muy oscuro.

**Branates:** La grosularita se presenta de color verdoso (más claro que el de la epidota). La andradita es de color pardo oscuro y la almandita es de color pardo rojizo.

La grosularita y la andradita se encuentran en cristales como piritohedros y son muy duros, por lo general se presentan en las cercanías de contactos ígneos. En donde ha existido metamorfismo regional, se presentan andradita y almandita.

**Micas:** La sericita es la moscovita hidratada, que puede ser blanca, incolora o verdosa-clara. Al tacto se presenta jabonosa o sedosa. Es muy frecuente en los esquistos con cuarzo. No se distinguen los cristales individuales, aunque puede verse

**escamosa.**

La flogopita es de color cobre rojizo brillante y se presenta frecuentemente en los mármoles.

El olivino se presenta sobre todo como forsterita de color verde olivo, más claro que la fayalita de las rocas ígneas.

**Silicatos:** La cianita tiene parecido a las plagioclasas alargadas, siendo de color azul y mucho más dura que los carbonatos.

La wollastonita es blanca, en cristales prismáticos. Se presenta en mármoles ricos en sílice.

La cordierita es de color azul, gris o amarillo. Se encuentra en filitas frecuentemente.

La andalucita es incolora o blanca, prismática, estriada y se presenta en las filitas.

#### **Rocas sedimentarias.**

**Carbonatos:** La calcita es blanca o de incolora a amarillenta. Presenta cruceros en 3 direcciones.

La aragonita es de color pardo claro. La dolomita es de color crema o gris y a veces en cristales idiomórficos.

La rodocrosita es color de rosa y la siderita es de color gris oscuro a casi negro.

Los carbonatos pueden ser atacados por el ácido clorhídrico, produciendo así efervescencia. La dolomita sólo efervesce pulverizándola o hirviéndola con el ácido.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

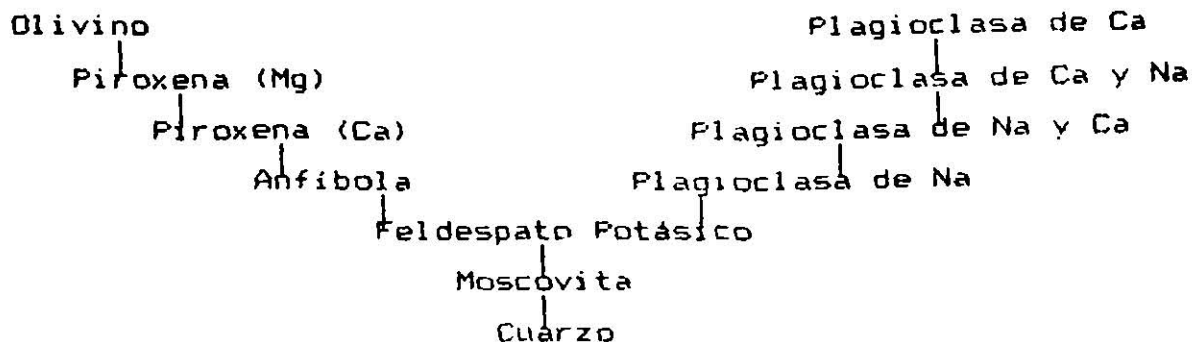
La finalidad propuesta fué la de dar la capacidad de aplicar con fines prácticos los conocimientos adquiridos durante la formación académica de los estudiantes de Ciencias de la Tierra, así como a todas aquellas personas que se relacionen con ésta.

Este trabajo no tiene otro alcance que el de la orientación general; por lo tanto, está sujeto a críticas constructivas y reformas en el sentido de modificar, ampliar o reducir algún tema de los que se han expuesto, en la manera que otras personas pueden tener opiniones diferentes.

Es importante continuar actualizando y corrigiendo los temas tratados en el presente trabajo, que en forma práctica es una exposición elemental de la materia y sólo debe servir como introducción en el amplio y vasto campo que es la petrología.



## ANEXO 1: SERIES DE REACCION DE BOWEN.



## ANEXO 2: PRINCIPALES MINERALES FORMADORES DE ROCA.

### 1. Silicatos.

- 1.1. Feldespatos alcalinos
  - 1.1.1. Ortoclasa
  - 1.1.2. Microclina
- 1.2. Plagioclasas
- 1.3. Feldespatoides
  - 1.3.1. Nefelina
  - 1.3.2. Leucita
- 1.4. Ferromagnesianos
  - 1.4.1. Piroxenas
    - 1.4.1.1. Enstatita
    - 1.4.1.2. Hiperstena
    - 1.4.1.3. Augita
  - 1.4.2. Anfibolas
    - 1.4.2.1. Hornblenda
  - 1.4.3. Olivinos
- 1.5. Granates

### 2. Oxidos

- 2.1. Cuarzo
- 2.2. Calcedonia
- 2.3. Magnetita
- 2.4. Hematita
- 2.5. Ilmenita
- 2.6. Titanita

### 3. Carbonatos

- 3.1. Calcita
- 3.2. Dolomita

### 4. Fosfatos

- 4.1. Apatita

### 5. Sulfuros

- 5.1. Pirita

### 6. Sulfatos

- 6.1. Yeso
- 6.2. Barita
- 7. Cloruros
  - 7.1. Halita

### ANEXO 3: TEXTURAS DE LAS ROCAS IGNEAS.

#### 1. Cristalinidad

- 1.1. Hipocristalinas
- 1.2. Holocristalinas
- 1.3. Holohialinas

#### 2. Tamaño de los granos

- 2.1. Faneríticas
  - 2.1.1. Grano extragrueso > 3 cm.
  - 2.1.2. Grano grueso de 1 a 3 cm.
  - 2.1.3. Grano medio de 1 mm a 1 cm.
  - 2.1.4. Grano fino < 1 mm.
- 2.2. Afaníticas
  - 2.2.1. Microcristalinas
  - 2.2.2. Criptocristalinas

#### 3. Forma de los cristales

- 3.1. Desarrollo de sus caras
  - 3.1.1. Euhedrales
  - 3.1.2. Subhedrales
  - 3.1.3. Anhedrales
- 3.2. Dimensiones relativas a las 3 direcciones del espacio
  - 3.2.1. Equidimensionales
  - 3.2.2. Prismáticos
  - 3.2.3. Tabulares
  - 3.2.4. Irregulares

#### 4. Relaciones mutuas entre cristales

- 4.1. Equigranulares
  - 4.1.1. Hipidiomórficas
  - 4.1.2. Panidiomórficas
  - 4.1.3. Alotriomórficas
- 4.2. Inequigranulares
  - 4.2.1. Porquilitica
  - 4.2.2. Porfidica
  - 4.2.3. Porfidica seriada
  - 4.2.4. Pilotaxítica o de fieltro
  - 4.2.5. Hialopilitica
  - 4.2.6. Ofítica o diabásica
  - 4.2.7. Vesicular
  - 4.2.8. Amigdaloides
  - 4.2.9. Perfitica
  - 4.2.10. Traquitica
  - 4.2.11. Intergranular

**ANEXO 4: CLASIFICACION DE LAS ROCAS IGNEAS (JOHANNSEN).**

<b>Intrusivas</b>	<b>Extrusivas</b>	
Granito	Riolita	Félsica, cuarzo esencial, el feldespato alcalino (ortoclasa o microclina) en exceso sobre la plagioclasa sódica (albita u oligoclasa).
Granodiorita	Cuarzolatita	Félsica, cuarzo esencial, plagioclasa sódica (albita u oligoclasa) igual o en exceso sobre el feldespato alcalino (ortoclasa o microclina).
Sienita	Traquita	Félsica, ni cuarzo ni feldespatooides (nefelina, leucita, analcima) esenciales; el feldespato alcalino (ortoclasa o microclina) en exceso sobre la plagioclasa sódica (albita u oligoclasa) que puede faltar.
Monzonita	Latita	Félsica a intermedia, ni cuarzo ni feldespatooides como esenciales; la plagioclasa sódica (albita u oligoclasa) igual o en exceso sobre el feldespato alcalino (ortoclasa o microclina).
Sienita (Feldespatoídice)	Fonolita	Félsica, feldespatooides (nefelina, leucita, analcima) esenciales, el feldespato alcalino (ortoclasa o microclina) generalmente en exceso sobre la plagioclasa sódica (albita u oligoclasa).
Tonalita	Dacita	Félsica a intermedia, cuarzo y plagioclasa sódica (albita u oligoclasa) esenciales, el feldespato alcalino (ortoclasa, microclina) no esencial.
Diorita	Andesita	Intermedia, cuarzo o feldespato alcalino (ortoclasa o microclina) no esenciales, plagioclasa sódica (albita u oligoclasa) esencial.
Gabro	Basalto	Intermedia a máfica, plagioclasa cálcica (anortita o bytownita) esencial, cuarzo o feldespato alcalino (ortoclasa o microclina) no esenciales.
Gabro (Feldespatoídicos)	Basalto	Intermedia a máfica, feldespatooides (nefelina, leucita, analcima) como esenciales, plagioclasa cálcica esencial o ausente.
Familia de las peridotitas		Ultramáfica, plagioclasa cálcica no esencial.
Rocas piroclásticas		

**ANEXO 5: MINERALES CARACTERISTICOS DE LAS ROCAS IGNEAS.**

<b>Intrusivas</b>		<b>Extrusivas</b>	
Cuarzo	Biotita	Cuarzo	Hornblenda
Plagioclasa	Moscovita	Sanidina	Olivino
Ortoclasa	Olivino	Microclina	Ortoclasa
Microclina	Hiperstena	Plagioclasa	Nefelina
Hornblenda	Hedenbergita	Augita	Leucita

**Texturas características de las rocas ígneas.**

<b>Intrusivas</b>	<b>Extrusivas</b>
Fanerocristalina	Traquítica
Panidiomórfica	Holohialina
Hipidiomórfica	Pilotaxítica
Alotriomórfica	Seriada
Faneroporfirítica	Intergranular
	Intersertal
	Diabásica
	Hialopilitica
	Afanoporfirítica

**Estructuras características de las rocas ígneas.**

<b>Intrusivas</b>	<b>Extrusivas</b>
Bandeada	Perlitica
Orbicular	Acordonada, en bloques
Miarolítica	Fluidal
Estratificada	Esferulítica
Gnéisica	Vesicular
	Amigdaloides
	Escoriácea
	Variolítica
	Almohadilla

**ANEXO 6: CLASIFICACION DE LAS TOBAS BASADA EN EL TAMAÑO Y FORMA DE SUS CONSTITUYENTES.**

<b>Tamaño del grano</b>	<b>No consolidados</b>	<b>Consolidados</b>
> 32	Bombas Bloques (angulosos) Bloques+arena gruesa y polvo volcánico.	Aglomerados Brechas volcánicas Brechas tobáceas
> 4 < 32	Lapilli Arenas vesiculares	Tobas de lapilli Tobas arenosas de lapilli.
> 1/4 < 4	Arenas de grano medio y polvo volcánico.	Tobas de grano grueso
< 1/4	Arenas finas y polvo volcánico.	Tobas

**Clasificación de las tobas.**

- 1. Vidrio (esquirlas principalmente):**
  - 1.1. Tobas vitreas
- 2. Fragmentos de rocas**
  - 2.1. Tobas líticas

### 3. Cristales y fragmentos de cristales

#### 3.1. Tobas cristalinas

#### ANEXO 7: CLASIFICACION DE LAS TOBAS.

Las tobas pueden clasificarse con base en 4 factores:

1. El origen de los materiales.
2. El estado físico de sus partículas.
3. La composición mineralógica y química de su parte ígnea.
4. La composición mineralógica y química de cualquier fracción sedimentaria que las contamine.

Con base en su origen los materiales de las tobas son:

1. Esenciales, si las partículas son de la misma clase que la lava que las acompaña.
2. Accesorias, si las partículas son piroclásticas más antiguas y lavas del mismo origen.
3. Accidentales, si las partículas son de rocas que no tienen relación con el origen.

Por la naturaleza de las partículas las tobas son clasificadas en:

1. Vitreas, las que contienen predominantemente partículas de vidrio.
2. Líticas, las que contienen predominantemente fragmentos de roca.
3. Cristalinas, las que contienen principalmente cristales pirogénicos y trozos de cristal.
4. Híbridas, son las tobas erosionadas, retransportadas y vueltas a depositar.

Con base en las combinaciones, las tobas pueden ser:

1. Cristalovitreas.
2. Vitreocristalinas, etc.

Con base en el tipo de roca ígnea a la que corresponden pueden ser:

1. Tobas riolíticas.
2. Tobas andesíticas, etc.

Las tobas recompuestas contienen cantidades variables de materiales sedimentarios y la naturaleza del que predomine puede ser empleado como término descriptivo adicional; así las tobas pueden ser:

1. Tobas arenosas.
2. Tobas calcáreas.
3. Tobas arcillosas.

#### ANEXO B: ESCALA DE GRADOS DE WENTWORTH PARA LA CLASIFICACION DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS.

Limites de grado (diam. en mm)	Nombre	Limites de grado (diam. en mm)	Nombre
Más de 256	Canto rodado	1/2 a 1/4	Arena mediana
256 - 128	Guija grande	1/4 a 1/8	Arena fina
128 - 64	Guija pequeña	1/8 a 1/16	Arena muy fina
64 - 32	Guijarro muy	1/16 a 1/32	Limo grueso

		grande		
32 -	16	Guijarro grande	1/32 a 1/64	Limo mediano
16 -	8	Guijarro mediano	1/64 a 1/128	Limo fino
8 -	4	Guijarro pequeño	1/128 a 1/256	Limo muy fino
4 -	2	Gránulo	1/256 a 1/512	Arcilla gruesa
2 -	1	Arena muy gruesa	1/512 a 1/1024	Arcilla mediana
1 -	.5	Arena gruesa	1/1024 a 1/2048	Arcilla fina

## ANEXO 9: ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS.

### 1. Singenéticas (primarias).

#### 1.1. Parámetros físicos.

##### 1.1.1. Estructuras externas

###### 1.1.1.1. Tamaño y forma del cuerpo sedimentario

##### 1.1.2. Estructuras internas

###### 1.1.2.1. Estratificación y laminación

###### 1.1.2.1.2. Estratificación normal

###### 1.1.2.1.3. Estratificación cruzada

###### 1.1.2.1.4. Estratificación graduada

###### 1.1.2.1.5. Estratificación rítmica

###### 1.1.2.2. Carac. de los planos de estratificación.

###### 1.1.2.2.1. Marcas ondulatorias

###### 1.1.2.2.2. Grietas de desecación

###### 1.1.2.2.3. Deformaciones de carga

###### 1.1.2.2.4. Estriaciones y surcos

###### 1.1.2.3. Estructuras de deformación

###### 1.1.2.3.1. Peculiaridades de derrumbes postdeposición

###### 1.1.2.3.2. Conglomerados interiores a la formación

#### 1.2. Parámetros orgánicos.

##### 1.2.1. Estructuras externas.

###### 1.2.1.1. Biostromas

###### 1.2.1.2. Biohermas

##### 1.2.2. Estructuras internas.

###### 1.2.2.1. Fósiles

### 2. Epigenéticas (secundarias).

#### 2.1. Parámetros físicos.

##### 2.1.1. Estructuras externas.

###### 2.1.1.1. Naturaleza de los linderos (concordantes o discordantes), pliegues y fallas

##### 2.1.2. Estructuras internas.

###### 2.1.2.1. Diques clásticos

#### 2.2. Parámetros químicos y orgánicos.

##### 2.2.1. Estructuras internas.

###### 2.2.1.1. Zonas de corrosión

###### 2.2.1.2. Concreciones

###### 2.2.1.3. Estilolitas

2.2.1.4. Moldes y formaciones  
cristalizadas

**ANEXO 10: CLASIFICACION DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS (SEGUN  
PETTIJOHN).**

**1. Conglomerados.**

1.1. Ortoconglomerados

1.1.1. Conglomerados oligomicticos

1.1.2. Conglomerados polimicticos

1.2. Paraconglomerados

**2. Brechas.**

2.1. Intraformacionales

2.2. Piroclásticas

2.3. Cataclásticas (brechas de falla)

**3. Areniscas.**

3.1. Grauvacas (arenisca impura).

3.1.1. Grauvacas feldespáticas

3.1.2. Grauvacas líticas

3.2. Arcosicas

3.2.1. Arcosa

3.2.2. Subarcosa

3.3. Líticas

3.3.1. Subgrauvacas

3.3.2. Protocuarzitas

3.4. Ortocuarzitas

**4. Lutitas.**

4.1. Carbonosas

4.2. Silíceas

4.3. Aluminicas

4.4. Ferruginosas

4.5. Calcáreas

4.6. Potásicas

**5. Limolitas.**

5.1. Arenosas

5.2. Arcillosas

5.3. Loess

**6. Calizas.**

6.1. Autóctonas

6.1.1. Acrecionales

6.1.1.1. Calizas biohermales

6.1.1.2. Calizas biostromales

6.1.2. Calizas bioquímicas

6.1.2.1. Calizas pelágicas

6.2. Aloctonas (detriticas)

- 6.2.1. Calcirruditas
- 6.2.2. Calcarenitas
- 6.2.3. Calcilimolitas
- 6.2.4. Calcilutitas

6.3. Químicas

- 6.3.1. Travertino
- 6.3.2. Caliche
- 6.3.3. Tufa
- 6.3.4. Marga

7. Dolomitas.

- 7.1. Calizas dolomíticas
- 7.2. Dolomitas calcáreas

8. Principales sedimentos no clásticos (calizas excluidas).

- 8.1. Pedernal
- 8.2. Fosforita
- 8.3. Evaporitas
- 8.4. Carbón
  - 8.4.1. Lignito
  - 8.4.2. Sub-bituminoso
  - 8.4.3. Bituminoso



## BIBLIOGRAFIA.

Aubouin J., Brousse R., Lehman J. P., 1981, Petrología, Barcelona, España, Editorial Omega, S.A.

Dumbar, D. Carl and Rodgers John, 1979, Principios de Estratigrafía, México, Editorial C.E.C.S.A.

González Martínez J., 1982, Apuntes de la materia de sedimentología y estratigrafía, U.A.S.L.P., San Luis Potosí, S.L.P.

Huang, Walter T., 1981, Petrología, Primera edición, México, Editorial U.T.E.H.A.

Longwell y Flint, 1983, Geología Física, Primera edición, México, Editorial Limusa.

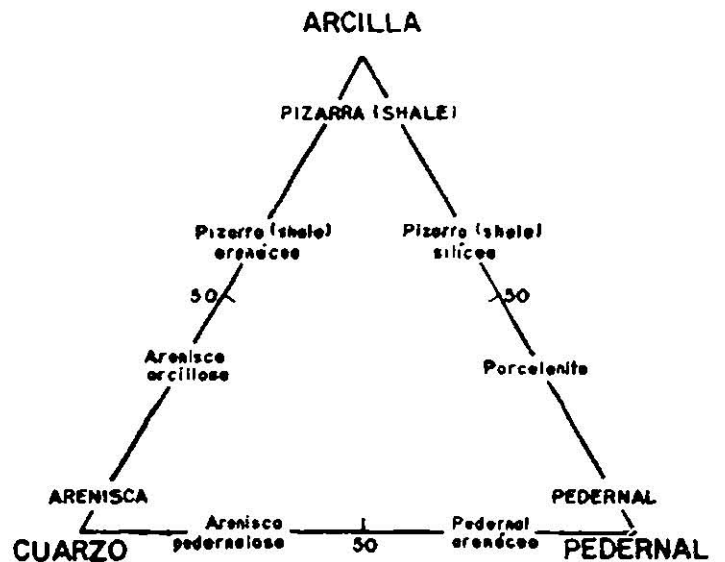
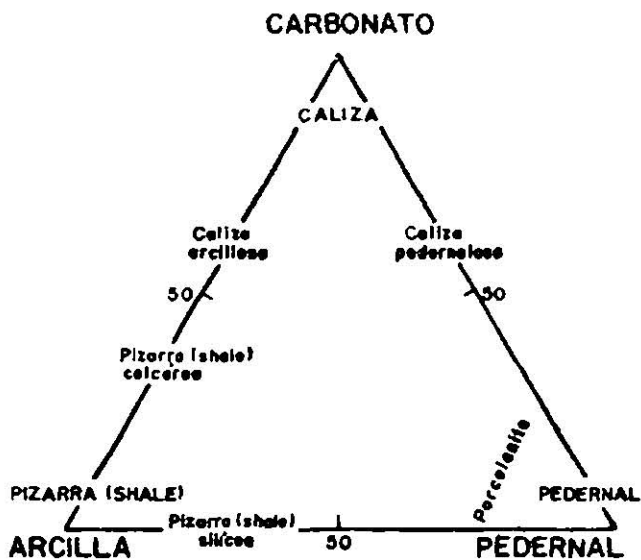
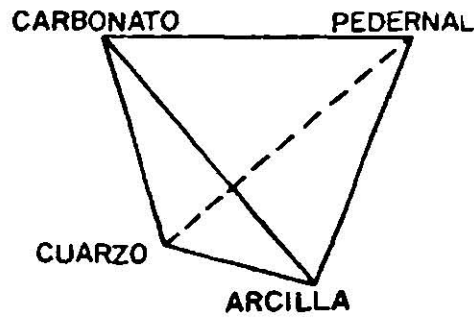
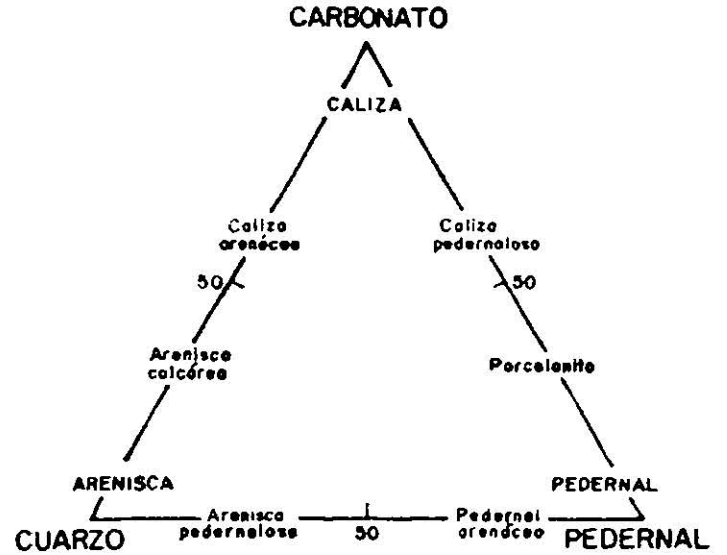
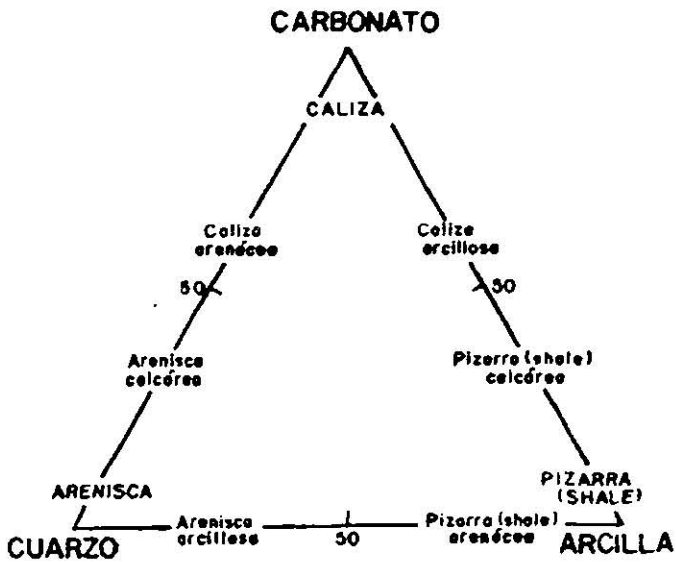
Turner, J. Francis y Verhoogen John, 1978, Petrología Ignea y Metamórfica, Tercera edición, Barcelona, España, Editorial Omega, S.A.

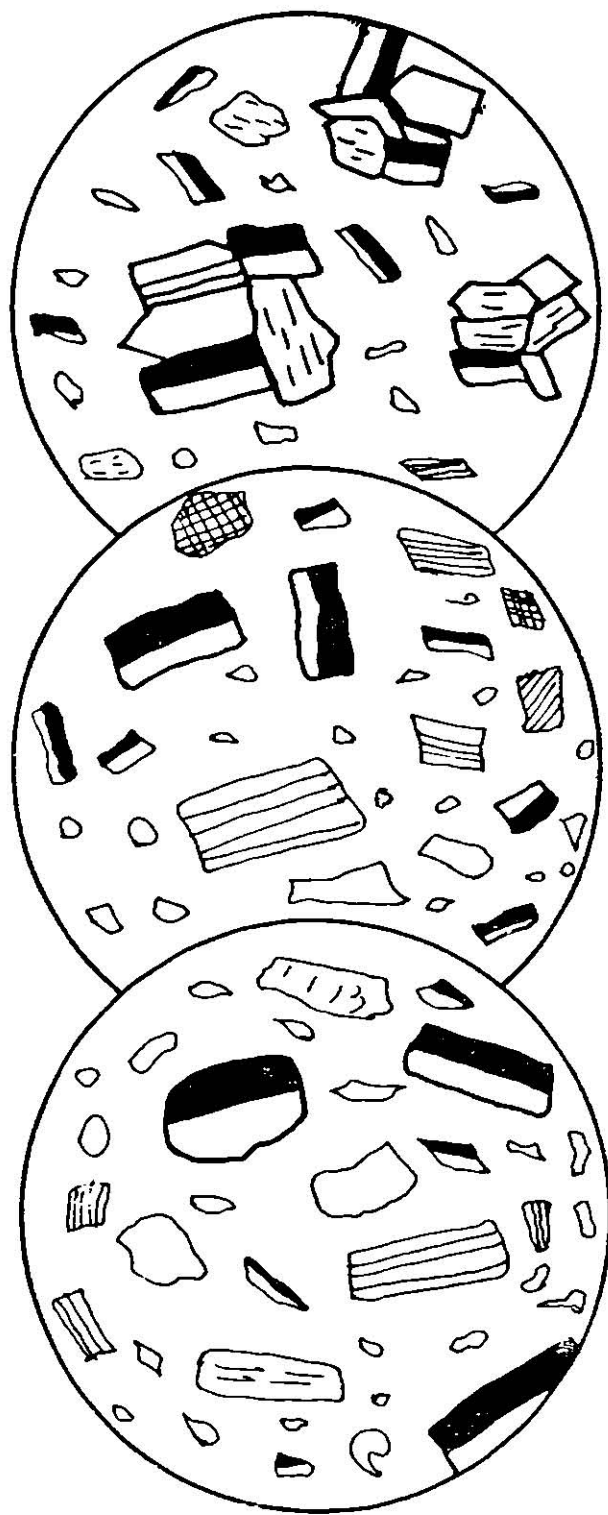
Tyrell, G. W., 1962, Principios de Petrología [Introducción al estudio de la ciencia de las rocas], México, Editorial C.E.C.S.A.

Williams, Turner, Gilbert, 1954, Petrography San Francisco, U.S.A, W.H. Freeman and Company.

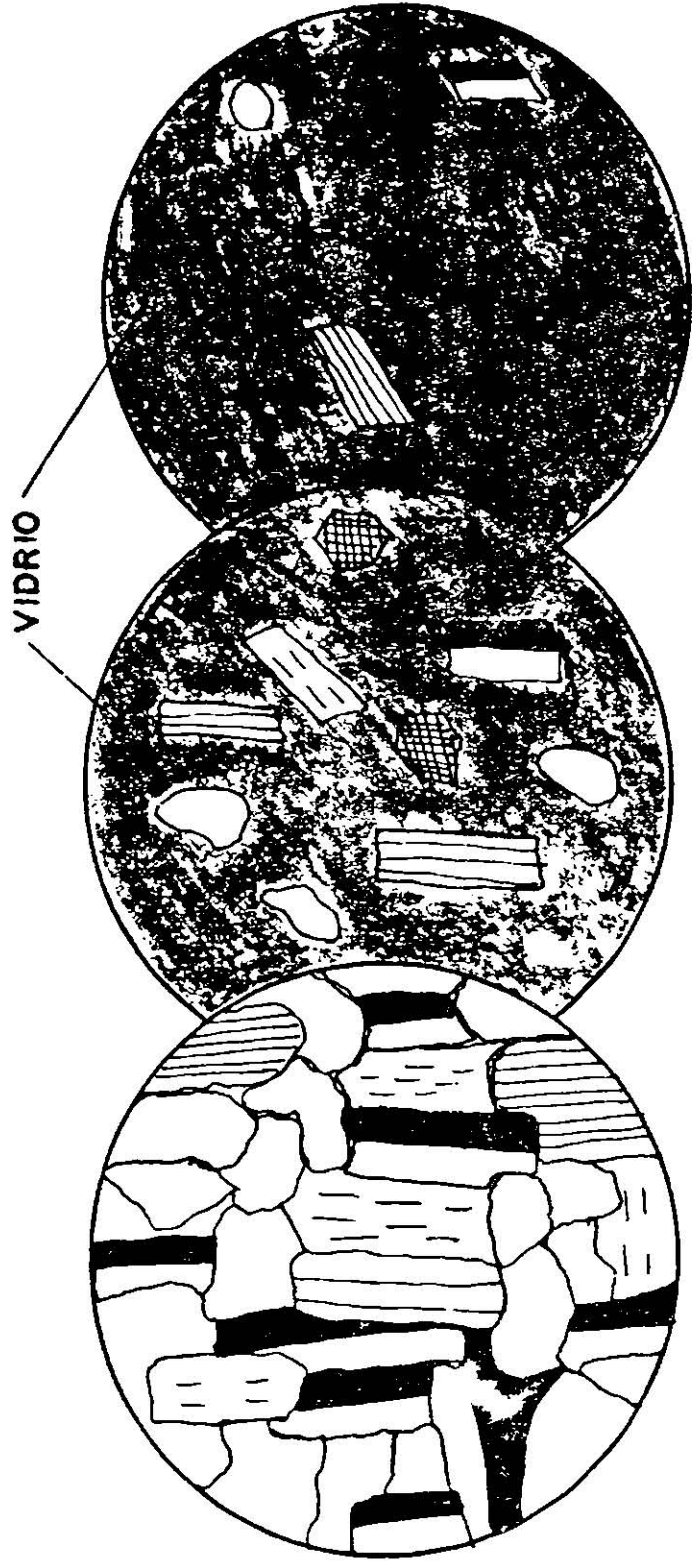
# TETRAEDRO FUNDAMENTAL DE PETTIJOHN

( Clasificación de las rocas sedimentarias )





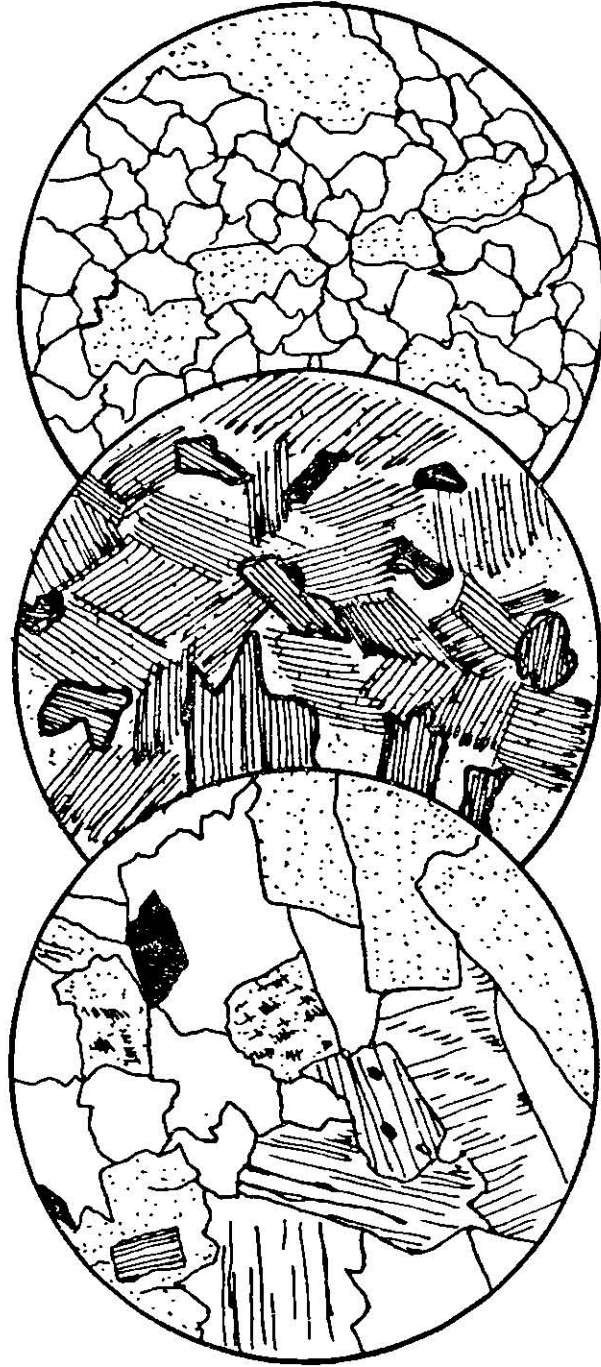
TEXTURA PORFIRITICA      TEXTURA PORFIRITICA      TEXTURA GLOMEROPORFIRITICA  
SERIADA



TEXTURA HOLOCRISTALINA

TEXTURA HIPOCRISTALINA

TEXTURA HOLOHIALINA



A  
TEXTURA HIPIDIOMORFICA  
GRANULAR

B

TEXTURA PANIDIOMOR-  
FICA GRANULAR.

C

TEXTURA ALOTRIOMORFICA  
GRANULAR

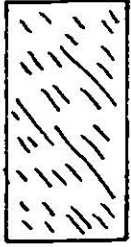
**TEXTURAS DE ROCAS METAMORFICAS**



FOLIACEA



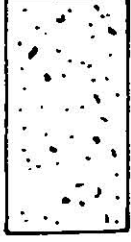
ESQUISTOSA



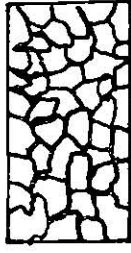
PIZARROSA



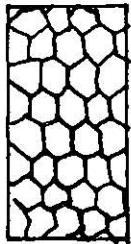
GNEISSICA



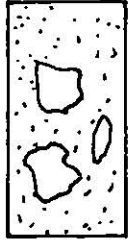
HORNFELSICA



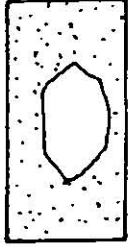
GRANOBLASTICA



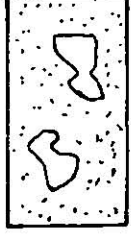
POLIGONAL



PORFIROBLASTICA



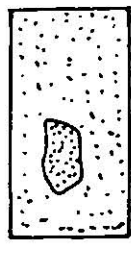
IDIOBLASTICA



XENOBLASTICA



AUGEN



POIKILOBLASTICA



HELICITICA



ORBICULAR



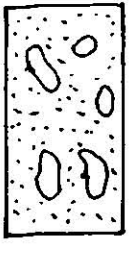
CATACLASTICA



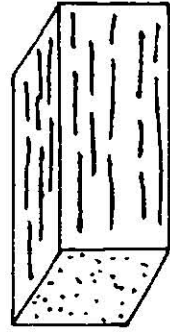
FLASER



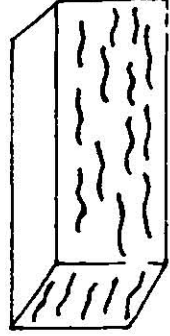
MILONITICA



MORTERO



LINEAMIENTO



ORIENTACION PREFERENTE



