

Stephan Kröner
Xavier Mas i Barberà
Laura Osete Cortina
Núria Guasch Ferré

**IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE
MATERIALES PÉTREOS EN PATRIMONIO
HISTÓRICO-ARTÍSTICO**

**EDITORIAL
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

Primera edición, 2010 • Reimpresión, 2015

© Stephan Kröner
Xavier Mas i Barberà
Laura Osete Cortina
Núria Guasch Ferré

© 2010 de la presente edición: Editorial Universitat Politècnica de València
Distribución: Telf. 963 877 012 / www.lalibreria.upv.es / Ref. 635_06_01_02

Imprime: Byprint Percom, sl.

ISBN: 978-84-8363-582-7
Depósito Legal: V-3442-2010

Queda prohibida la reproducción, distribución, comercialización, transformación, y en general, cualquier otra forma de explotación, por cualquier procedimiento, de todo o parte de los contenidos de esta obra sin autorización expresa y por escrito de sus autores.

Impreso en España

ÍNDICE

Preámbulo	5
1. Objetivos y Metodología	7
2. Introducción	9
3. Conceptos básicos en Geología	11
3.1. Génesis de las rocas: Definición y origen	11
3.2. Clasificación de las rocas ígneas	14
3.3. Clasificación de las rocas metamórficas.....	17
3.4. Clasificación de las rocas sedimentarias	20
3.5. Clasificación e identificación de minerales	34
4. Agentes y mecanismos de alteración	39
4.1. Alteración física	39
4.2. Alteración química	45
4.3. Alteración biológica	54
5. Identificación de litotipos y de patologías en monumentos	63
5.1. Las formas de alteración.....	63
5.2. Clasificación de los indicadores visuales de alteración	72
5.3. Cartografía de los litotipos y de las alteraciones	74
6. Técnicas analíticas	79
6.1. Microscopía electrónica de barrido	79
6.2. Difracción por rayos X.....	98
6.3. Microscopio petrográfico (óptico con luz polarizado)	108
6.4. Espectroscopia de absorción en el infrarrojo.....	117
7. Bibliografía	135

Preámbulo

Los contenidos que todo seguido se exponen van dirigidos al colectivo de estudiantes y profesionales interesados en la Conservación y Restauración del Patrimonio construido en piedra.

La conservación de monumentos y esculturas labradas en piedra ha sido un tema de especial interés en las últimas décadas para la comunidad científica. La acción de los agentes degradantes medioambientales se ha visto incrementada por el efecto especialmente nocivo de los altos niveles de contaminantes atmosféricos que se han registrado en los últimos años. Para entender la degradación de los materiales pétreos es importante considerar varios aspectos fundamentales (tipo de piedra, localización de la obra, período de exposición y tipo de contaminantes, etc.) que ayudarán a diagnosticar y valorar el alcance de los tratamientos.

No obstante, hay que señalar que el primer paso será la correcta identificación y caracterización del material, imprescindible y clave para un trabajo eficaz. El ámbito de la ciencia relacionado con la Conservación de Bienes Culturales es muy amplio, incluyendo casi todas disciplinas de las ciencias naturales (química, física, biología y geología). Asimismo, existen muchas técnicas de intervención, pero la selección de la metodología más adecuada dependerá principalmente de esta primera fase basada en el conocimiento del material.

En este sentido, los interesados en el Patrimonio Artístico y Monumental construido deben tener conocimientos básicos relacionados con la petrología (geología) y todas aquellas técnicas analíticas esenciales para una descripción útil y sostenible durante el proceso de restauración, hechos manifiestos en este libro.

1. Objetivos y Metodología

Los contenidos recogen los procedimientos petrológicos necesarios para que el alumno e interesados por la materia aprendan a identificar y caracterizar los materiales pétreos utilizados en monumentos, esculturas y ornamentos, a conocer las técnicas analíticas empleadas en los estudios petrológicos y petrofísicos, así como a distinguir tipos de alteraciones más frecuentes de los soportes pétreos.

El tema tratado titulado “Identificación y caracterización de materiales pétreos en Patrimonio Histórico-Artístico” se ha distribuido en tres partes fundamentales: un primer apartado de contenidos teóricos de geología dedicados al conocimiento de los materiales pétreos, identificación y caracterización; un segundo bloque de diagnóstico donde se tratan los factores, causas y mecanismos de alteración de los materiales pétreos y un tercer apartado de instrumentación correspondiente al conocimiento de las diferentes técnicas empleadas en el análisis de los materiales pétreos, como son la Espectroscopia Infrarrojo por Transformada de Fourier (FT-IR), la Microscopia Electrónica de Barrido (SEM/EDX) y el Microscopia petrográfica, así como ejemplos prácticos desarrollados.

2. Introducción

En la Conservación de los Bienes Culturales construidos a partir de materiales pétreos es fundamental el conocimiento de sus propiedades petrológicas y petrofísicas considerándose indispensable cuando de diagnóstico e intervención se trata.

En la actualidad hay interés creciente en todos los países por la conservación y restauración de su patrimonio cultural y es objeto de especial atención por los organismos internacionales la creación de grupos multidisciplinarios de especialistas y la formación de personas cualificadas en favor de su perdurabilidad y transmisión a las generaciones futuras.

En esta línea, se han llevado a cabo numerosos estudios científicos sobre obras de arte y el desarrollo de nuevos materiales y nuevas tecnologías como la microscopía óptica, la microscopía electrónica, la difracción de rayos X, la porosimetría de mercurio etc., que proporcionan una información exacta sobre la morfología de los materiales y de las patologías o alteraciones que puedan sufrir, así como de los posibles tratamientos de limpieza, consolidación y protección a desarrollar.

Por tanto los aspectos generales que debe contemplar toda intervención serían:

- Eliminar los elementos que pueden producir alteraciones, previo estudio preliminar del objeto, sobre el cual incidirá de una manera importante el que esté situado en un ambiente urbano o rústico o bien en un espacio cerrado o a la intemperie.
- Valoración histórico-artística-constructiva.
- Sobre edificios y monumentos, el estudio de sus variaciones y el aprovechamiento de los elementos constructivos que se conserven.
- Definición de la modalidad operativa teniendo en cuenta sus referencias históricas y culturales.
- Eliminar o bloquear urgentemente la causa de la alteración, mientras esté pendiente del estudio analítico.
- Preferencia de la valoración constructiva a la artística.
- Estudio analítico (físico-químico-biológico y petrológico) del objeto.
- Diálogo entre los profesionales restauradores y analistas.
- Elección de los productos idóneos así como de los elementos mecánicos si fuesen precisos.
- Tratamiento del objeto en base a las consideraciones extraídas de los apartados anteriores

3. Conceptos básicos en Geología

3.1. Génesis de las rocas: Definición y origen

Agregado sólido de **minerales** o **mineraloides** de varios granos formado de manera natural. Bajo el término mineral se entiende un cuerpo sólido con una composición química característica y una estructura atómica altamente ordenada con propiedades físicas específicas (color, densidad, dureza, exfoliación, etc.), como p.ej. cuarzo (SiO_2) o feldespatos (KAlSi_3O_8 - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). En cambio mineraloides son sustancias amorfas o líquidas que no tienen cristalinidad. Los ejemplos más destacados de mineraloides son: ámbar (amorfo, resina vegetal fosilizada), limonita (hidrato de hierro), obsidiana (vidrio volcánico), ópalo ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, amorfo), antracita (orgánico), carbón (orgánico) y petróleo (orgánico y líquido). Una roca puede ser constituida monominerálica como p.ej. una caliza pura (calcita CaCO_3) y cuarcita (cuarzo SiO_2) o poliminerálica, como p.ej. un granito (cuarzo, feldespatos, mica y otros minerales accesorios).

El estudio científico de las rocas se llama petrología, que es una rama de la geología. Las rocas se forman en el manto y la corteza terrestre y en general según su génesis se pueden subdividir en tres tipos: rocas **ígneas**, **metamórficas** y **sedimentarias**, las cuales están sometidas a continuos cambios por las acciones de los agentes geológicos, que se pueden resumir en el ciclo de las rocas (figura 1).

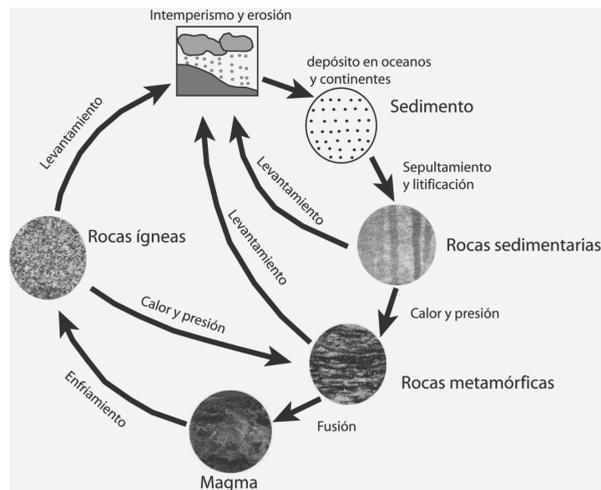


Figura 1. Ciclo de las rocas

Las rocas ígneas se forman a partir de la solidificación de un magma y según el lugar de origen se distinguen dos tipos: **plutónicas** y **volcánicas**. Aunque el 95% de los 16 km superiores de la corteza terrestre están constituidos por rocas ígneas, la gran mayoría de éstas queda oculta a la superficie por las rocas metamórficas y

sedimentarias. Las plutónicas se forman en la corteza terrestre a gran profundidad cuando el magma se enfría y cristaliza lentamente, dando lugar a minerales de mayor tamaño. Los principales elementos químicos de un magma son O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na y K, pero también contiene cantidades importantes de los compuestos H_2O y CO_2 y en menor cantidad H_2S , CH_4 , CO y HCl . Si el magma llega a la superficie (conocido como lava) se enfría y solidifica rápidamente, dando lugar a minerales de pequeño tamaño y por tanto una roca volcánica. Una clasificación simple se puede realizar mediante un diagrama de *Streckeisen* basado en la identificación de cuatro minerales principales: cuarzo, feldespato alcalino, plagioclasas y feldespatoideas (p.ej. sodalita). En este diagrama cada roca plutónica tiene una volcánica equivalente. Las rocas plutónicas (volcánicas) más destacadas son el granito (riolita), diorita (andesita) y gabro (basalto). Como las rocas volcánicas tienen una textura de grano muy fino es muy difícil distinguirlas y se necesita un análisis de los elementos químicos para identificarlas y clasificarlas según el diagrama de *TAS* (Total Alcali vs. Sílice, es decir K_2O+Na_2O versus SiO_2 diagrama). Generalmente, debido a su formación, las rocas ígneas junto con las metamórficas resisten más a agentes medioambientales nocivos y son más compactas, por lo tanto tienen un gran interés para la construcción.

Las rocas **metamórficas** se originan por transformación de otras rocas preexistentes (ígneas, sedimentarias o metamórficas), por la acción de altas temperaturas y presiones. La roca preexistente atraviesa por un proceso de adaptación físico-químico y con las nuevas condiciones de temperatura y presión vuelve a un estado estable. Estas modificaciones pueden ser isoquímicas (sin modificación química, p.ej. el paso de caliza a mármol) o aloquímicas (cambio de tipo químico en los minerales, como p.ej. calizas $CaCO_3$ a dolomitas $CaMg(CO_3)_2$). Existen dos grupos de rocas metamórficas: (a) formadas por metamorfismo de contacto y (b) formadas por metamorfismo regional. Las rocas metamórficas de contacto se generan cuando magma con altas temperaturas asciende, introduciéndose en rocas más superficiales y se enfría. El gradiente de temperaturas que provoca la intrusión crea zonas concéntricas en su entorno de poca amplitud, normalmente unos 100m. La falta de cambio de presión crea una roca con una textura sin orientación de los minerales, llamada *fels*. Las areniscas, p.ej., se convierten en cuarcitas. En cambio, una roca metamórfica de tipo regional resulta de un aumento de temperatura y presión a la vez, debido a la colisión de dos placas tectónicas y subducción de una bajo la otra. Esa presión genera una foliación (latín *folia*, hoja) en la roca, es decir una orientación preferida de los minerales. Con el incremento del metamorfismo se habla de una pizarra (bajo grado), un esquisto (medio grado) o un gneis (alto grado).

Las **rocas sedimentarias** se forman a partir de procesos físicos, químicos y biológicos. Una roca sedimentaria es un producto de alteración de una roca primaria de origen ígneo, metamórfico o sedimentario por agentes atmosféricos. La formación

de las rocas sedimentarias se debe a la meteorización y erosión de un relieve antiguo, el transporte del material y finalmente la sedimentación. La **diagénesis** (griego *dia*, a través; *genesis*, formación) es el proceso de transformación de sedimento en una roca sedimentaria. Ese proceso comienza con compactación por la presión litostática, es decir la carga de los sedimentos suprayacentes, y la expulsión del agua y disminución del espacio entre los granos (porosidad). En las rocas sedimentarias sobre todo dos parámetros determinan la resistencia de la roca: la **porosidad** y el **cemento** (el material ligante). Por ello, una identificación de éstos resulta muy importante en el ámbito de la construcción/ restauración/ conservación, p.ej. sabiendo que una matriz silícea es más resistente que una carbonatada.

Evidentemente, por último, no se puede olvidar que la sociedad actual demanda un consumo selectivo de las rocas que nos proporciona la geosfera. Así las rocas orgánicas (petróleo y carbón) son de interés **económico/energético** mientras otras tienen más valor industrial, como p.ej. los conglomerados y areniscas que son usados en **construcción** y las margas que se emplean para la fabricación de cemento. Para **ornamentos** se suele usar además del mármol otras rocas como las calizas, el basalto o rocas metamórficas. Asimismo mucho **Patrimonio Artístico y Monumental** está construido en piedra y sufre un deterioro continuo debido al efecto especialmente nocivo de los altos niveles de contaminantes atmosféricos. Para entender la degradación hay que considerar varios parámetros: tipo de roca, dónde está situada la obra (interior, exterior, urbana, rural, etc.), periodo que la obra está expuesta a la degradación. Debido a su composición y formación el granito (casi no hay porosidad, mucho cuarzo), p.ej., es muy resistente a agentes medioambientales, una arenisca (porosidad variable, mucho cuarzo) se sitúa en un término medio, mientras una caliza (porosidad variable, calcita) reacciona de una forma muy sensible. Las diferencias en el comportamiento se deben a los factores antes citados: porosidad, composición mineralógica y en el caso de los sedimentos el cemento. Mientras el cuarzo resiste al ataque ácido, los carbonatos se disuelven o transforman. Preferentemente, p.ej. en una aglomeración urbana la calcita CaCO_3 se transforma con la lluvia ácida (sobre todo SO_x) en yeso $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, atrapa partículas de la atmósfera y crea la llamada costra negra.

GLOSARIO

Mineralogía

Estudio de los minerales: estructuras internas de los minerales, composición química y su clasificación.

Petrología

Estudio de las rocas, su origen, los procesos de su formación, y su composición.

Petrografía

Es una rama de la petrología que se ocupa de la descripción de las rocas, de su contenido mineral y textura, así como de la clasificación de las mismas.

Anisotropía (opuesta de Isotropía)

Variación de las propiedades físicas (elasticidad, temperatura, conductividad, velocidad de propagación de la luz, etc) según la dirección en que son examinadas.

La forma de la degradación de la roca depende de sus propiedades físico-químicas y, por consiguiente de su formación. Para entender distintas alteraciones en la misma roca, el concepto de Isotropía/ Anisotropía es fundamental en geología y mineralogía.

La escala es importante en geología. Una roca puede ser isótropa a pequeña escala y anisótropa a escala grande, y al revés

Un granito, p. ej. suele ser isótropo a escala de algunos metros, pero anisótropo a escala de unos centímetros. Por lo contrario, una arenisca suele ser anisótropa a gran escala (estratos) e isótropa a pequeña escala (dentro del mismo estrato).

3.2. Clasificación de las rocas ígneas

Una clasificación simple de las rocas ígneas (plutónicas y volcánicas) se puede realizar mediante un diagrama de *Streckeisen* (QAPF) basado en la identificación de cuatro minerales principales: cuarzo (**Q**), feldespato alcalino (**A**), plagioclasas (**P**) y feldespatoideos (**F**, p.ej. sodalita).

3.2.1 Rocas plutónicas

Las rocas plutónicas (figura 2) más destacadas son:

Granito (cuadro azul): Roca ígnea de color claro y grano grueso compuesta de cuarzo, feldespato alcalino y mica (biotita y/o moscovita).

Diorita: Roca ígnea intermedia de grano grueso, compuesta por cuarzo, plagioclasa, piroxeno y hornblenda

Gabro: Roca ígnea básica de grano grueso compuesta por plagioclasa rica en calcio (Ca), ortopiroxeno y clinopiroxeno.

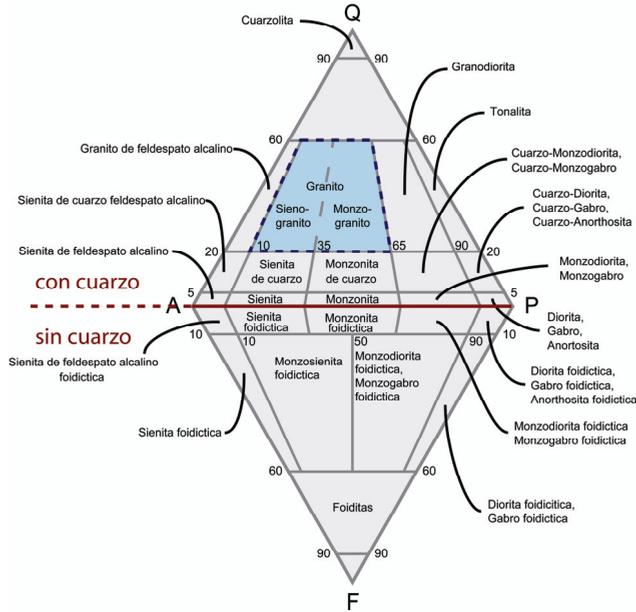


Figura 2. Diagrama de Streckeisen. Rocas plutónicas.

Las rocas que se encuentran encima de la línea roja contienen cuarzo, abajo no. El diagrama hay que leer de la siguiente manera: Una roca con 100 % cuarzo se proyecta en la esquina de Q (Q=100%, A=P=0%). Una roca con 50% cuarzo y 50 % plagioclasas (Q=P=50%, A=0%) en la mitad de la línea entre Q y P etcétera. Observe abajo el ejemplo de un granito con Q=50%, A=40% y P=10% (figura 3).

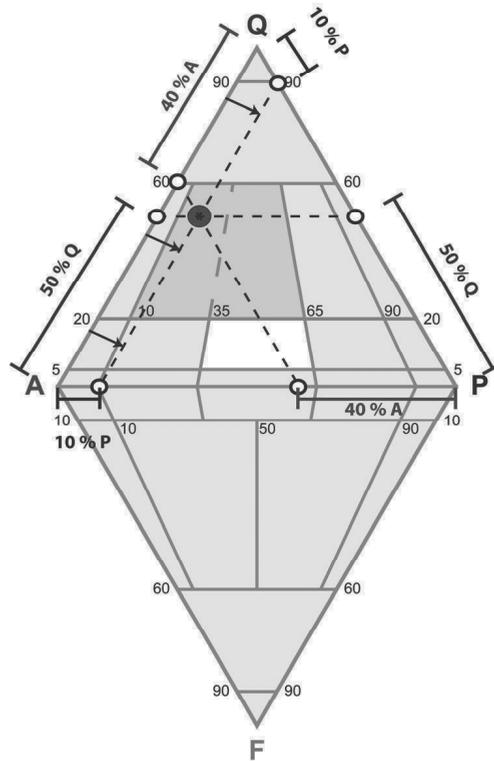


Figura 3. Representación gráfica de una composición mineralógica de un granito en el diagrama QAPF.

3.2.2 Rocas volcánicas

Las rocas volcánicas (figura 4) más destacadas son:

Riolita: Roca ígnea extrusiva, de grano fino y compuesta por cuarzo y feldespato alcalino como minerales principales y uno o más minerales ferromagnesianos.

Andesita: Roca volcánica de grano fino compuesta por plagioclasa, ortopiroxeno y hornblenda. Química y mineralógicamente es similar a la Diorita.

Basalto: Roca ígnea extrusiva de grano fino y color oscuro compuesta por plagioclasa, piroxeno y magnetita, con o sin olivino.

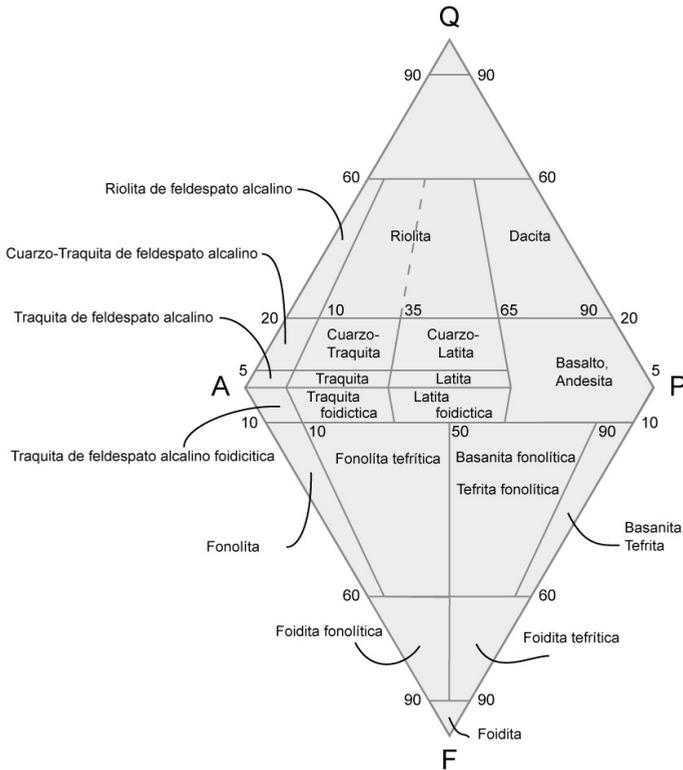


Figura 4. Diagrama de Streckeisen. Rocas volcánicas.

3.3. Clasificación de las rocas metamórficas

La clasificación de las rocas metamórficas es muy compleja, aunque de una manera muy simplificada podemos basarla en la textura (**presencia o ausencia de foliación y tamaño de grano**), en la **composición mineralógica** y en el **tipo de roca original (protolito)**. De esta forma podemos establecer dos grandes grupos: las **rocas foliadas (anisótropa)** y las **no foliadas (isótropa)**. Las rocas foliadas se subdividen según su textura, mientras las no foliadas se subdividen según su composición mineralógica.

3.3.1. Rocas foliadas

Cuando el proceso metamórfico se produce bajo condiciones de presiones dirigidas y existen minerales que puedan desarrollar un hábito planar o prismático, éstos suelen crecer orientados, disponiéndose perpendiculares a la dirección desde la que se ejercen las presiones máximas (tabla 1 y figura 5).

Tabla 1. Clasificación de las rocas metamórficas foliadas

Foliadas			
Textura	Pizarrosidad	Esquistosidad	Bandeada
Roca metamórfica	Pizarra	Esquisto grano grueso y más del 20% micas	Gneis grano grueso, no micáceo

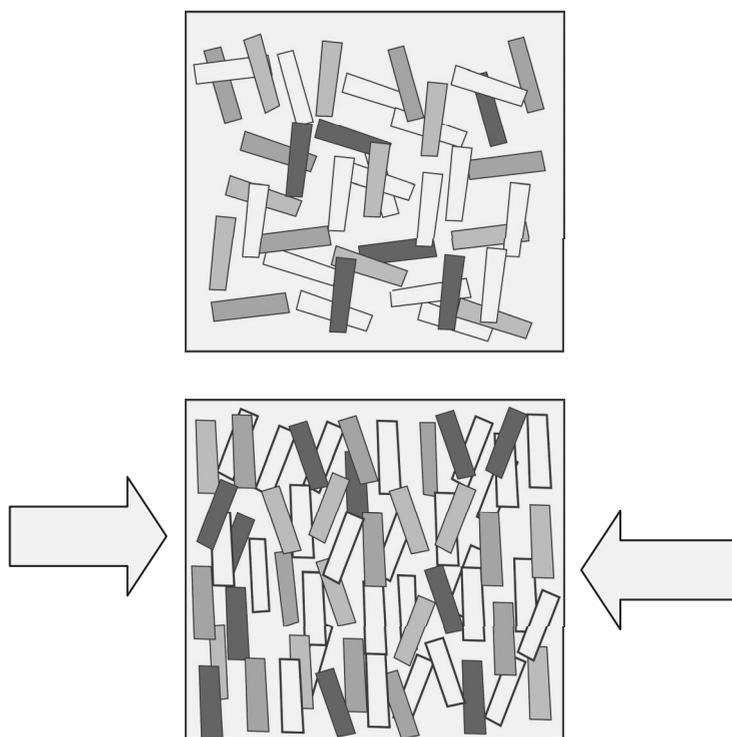


Figura 5. Textura de la roca inicial (arriba) antes de la deformación y abajo después.

Una roca metamórfica de tipo regional resulta de un aumento de temperatura y presión a la vez, debido a la colisión de dos placas tectónicas y subducción de una bajo la otra. Esa presión genera una foliación en la roca, es decir una orientación preferida de los minerales. Con el incremento del metamorfismo se habla de una pizarra (bajo grado), un esquisto (medio grado) o un gneis (alto grado). El aumento del metamorfismo, es decir de la temperatura y la presión, no solamente afecta a la textura si no también a la composición mineralógica (tabla 2).

Para seguir leyendo haga click aquí