

Clasificación de las rocas génesis y criterio ingenieril

Del nombre litológico al comportamiento del macizo rocoso

Dr. Ing. Civil Gustavo Bogado
Mgter. Ing. Reinert Hugo Orlando
Ing Gross Marcelo

Facultad de Ingeniería Oberá

Al finalizar, el estudiante podrá...

- 1 Reconocer rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas por su origen, textura y estructura.
- 2 Describir la roca intacta mediante composición, porosidad, alteración, resistencia y anisotropía.
- 3 Diferenciar roca intacta y macizo rocoso, registrando discontinuidades, bloques y agua.
- 4 Aplicar la clasificación ingenieril de Goodman y los índices RQD y RMR con criterio crítico.

Dos clasificaciones responden preguntas diferentes

POR GÉNESIS

Explica cómo se formó

- Ígneas: cristalización del magma
- Sedimentarias: depósito y diagénesis
- Metamórficas: transformación sin fusión
- Orienta mineralogía, textura y fábrica

INGENIERIL

Predice cómo responderá

- Roca intacta + discontinuidades
- Resistencia, deformación y durabilidad
- Meteorización, anisotropía y agua
- Escala y orientación de la obra

La génesis propone propiedades; la investigación confirma su valor de diseño.

El ciclo geológico explica tres orígenes

ÍGNEAS

Enfriamiento del magma
Textura cristalina o vítrea
Granito · basalto

SEDIMENTARIAS

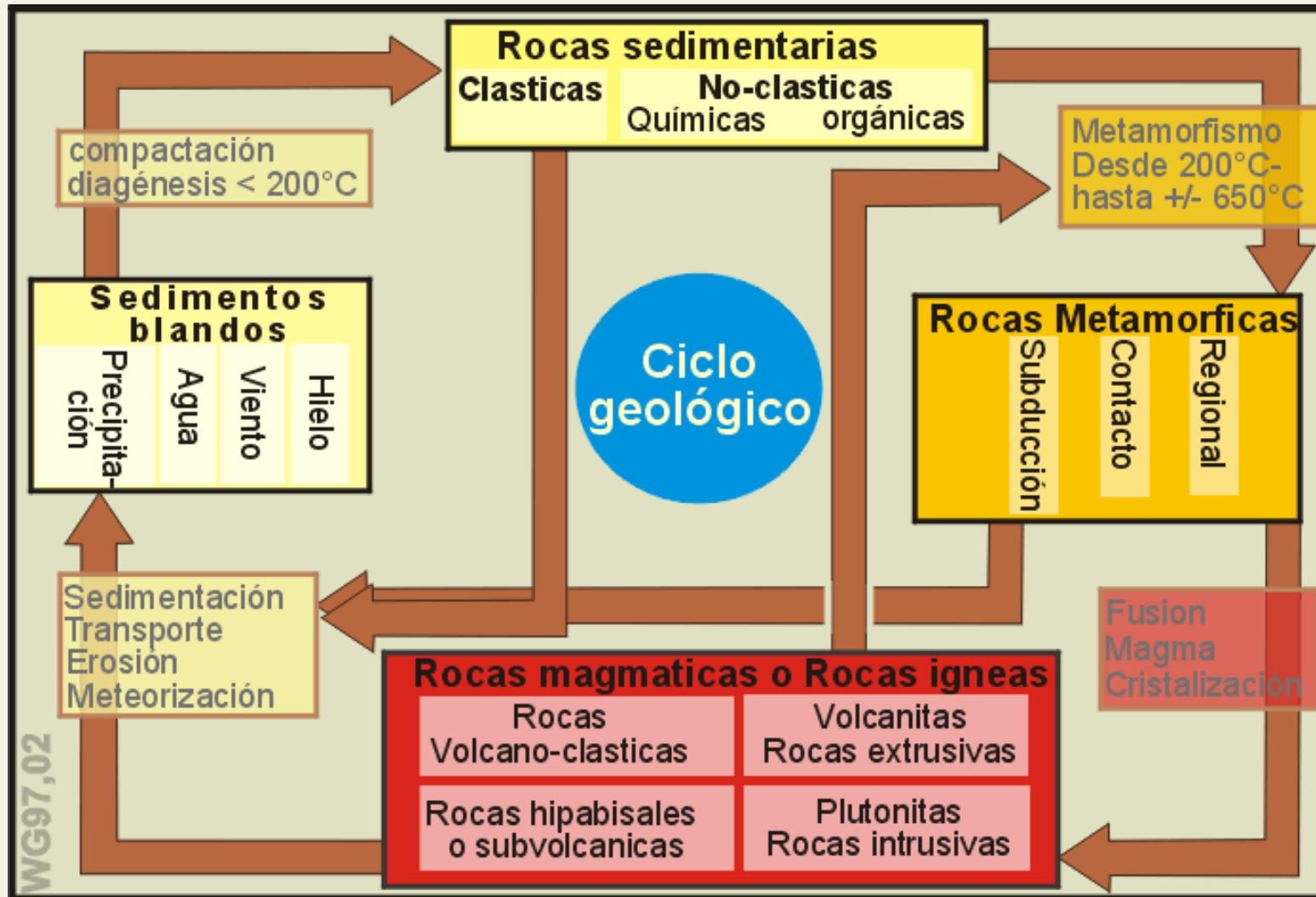
Depósito + diagénesis
Estratos y cementación
Arenisca · caliza · lutita

METAMÓRFICAS

Recristalización sin fundir
Foliación o textura masiva
Gneis · mármol · cuarcita

Meteorización, enterramiento, deformación y fusión conectan continuamente las tres familias.

El ciclo geológico explica tres orígenes



Clasificar exige una secuencia de observación



**NOMBRE LITOLÓGICO + CONDICIÓN +
ESTRUCTURA DEL MACIZO**

Las ígneas registran dónde y cuán rápido enfrió el magma



PLUTÓNICAS

Enfriamiento lento en profundidad: grano grueso.

HIPABISALES

Profundidad somera: textura intermedia o porfírica.

VOLCÁNICAS

Enfriamiento rápido en superficie: grano fino o vidrio.

FANERÍTICA

Cristales visibles: granito, diorita y gabro.

PORFÍRICA

Dos tamaños de cristal: enfriamiento en etapas.

AFANÍTICA

Cristales no visibles: riolita, andesita y basalto.

Rocas ígneas: ambientes de formación y texturas

PLUTÓNICAS



Enfriamiento lento en profundidad: grano grueso.

HIPABISALES



Profundidad somera: textura intermedia o porfírica.

VOLCÁNICAS



Enfriamiento rápido en superficie: grano fino o vidrio.

FANERÍTICA



Cristales visibles: granito, diorita y gabro.

PORFÍRICA



Dos tamaños de cristal: enfriamiento en etapas.

AFANÍTICA



Cristales no visibles: riolita, andesita y basalto.

Composición y textura permiten nombrar una roca ígnea

COMPOSICIÓN

Sílice; cuarzo, feldespatos y minerales máficos.

COLOR

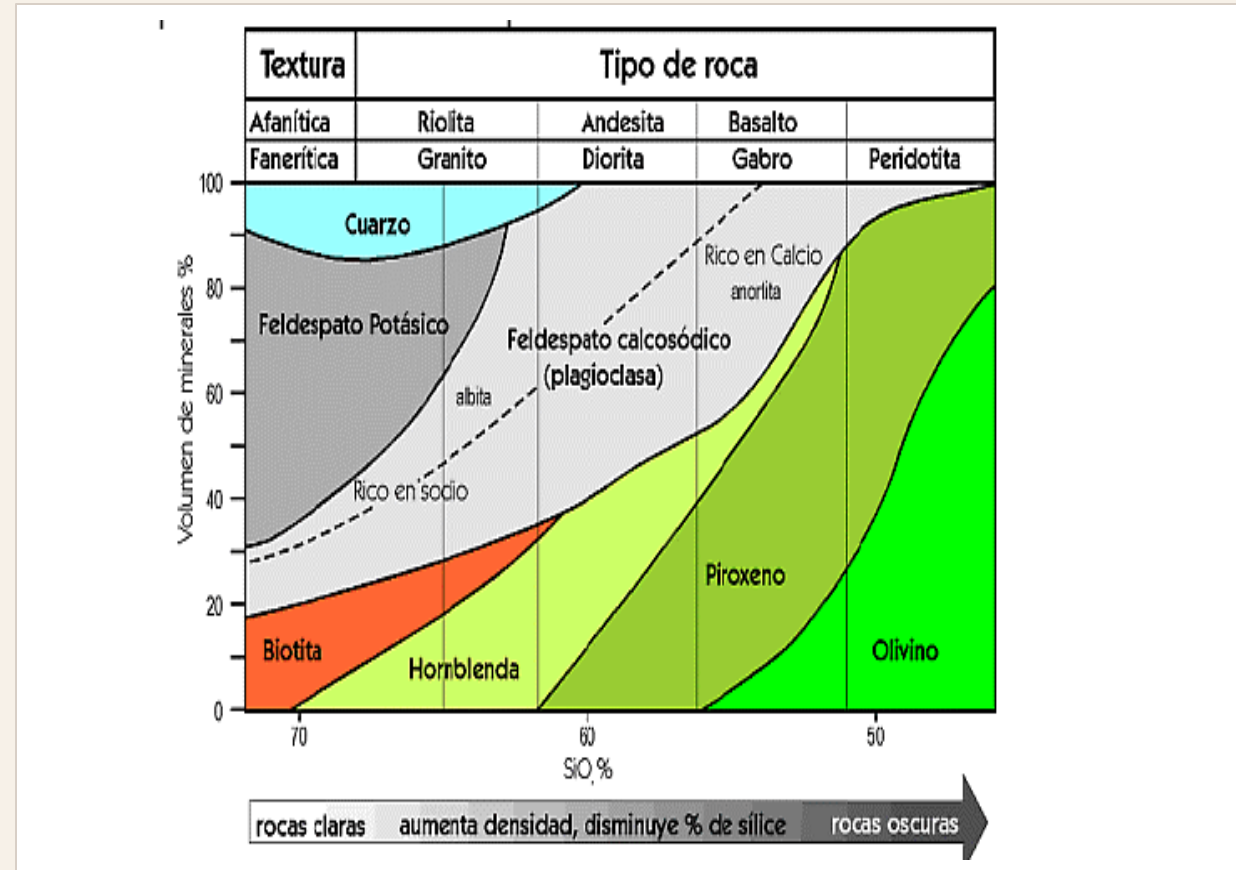
Félsica clara · intermedia · máfica oscura · ultramáfica.

TEXTURA

Fanerítica · afanítica · porfírica · vítrea · vesicular.

NOMBRE

Combina composición + textura, no solamente el color.



El diagrama orienta el nombre; la condición del macizo define su valor ingenieril.

En ígneas importa tanto la matriz como la fracturación

FRESCA Y MASIVA

- Cristales intertrabados
- Resistencia y rigidez altas
- Baja porosidad de matriz
- La falla suele seguir juntas
- Buen agregado si es durable

ALTERADA O VESICULAR

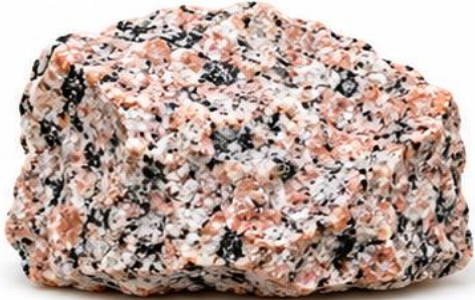
- Meteorización abre la fábrica
- Tufos y brechas son variables
- Juntas de enfriamiento forman bloques
- Vesículas elevan la heterogeneidad
- El agua acelera degradación

Dos basaltos pueden exigir parámetros distintos por alteración, vesicularidad y espaciamiento de juntas.

Fuente: Brady y Brown (2005); Jaeger, Cook y Zimmerman (2007)

Rocas ígneas

Se originan por el enfriamiento y solidificación del magma o la lava.



Granito



Basalto



Obsidiana



Piedra pómez



Diorita



Gabro



Riolita



Escoria

Las sedimentarias se construyen por etapas



- Tamaño de grano = energía y distancia de transporte.
- Cementación = resistencia y durabilidad de la roca.
- Estratificación = anisotropía y vías preferenciales de agua.

El tamaño de grano organiza las rocas clásticas

- GRAVA (> 2 mm)
Conglomerado si es redondeada; brecha si es angular.
- ARENA (0,063-2 mm)
Arenisca: describir selección, forma y cemento.
- LIMO (0,002-0,063 mm)
Limolita: grano apenas perceptible.
- ARCILLA (< 0,002 mm)
Arcilita o lutita; puede presentar fisilidad.

Definición de partículas clásticas y sus rocas sedimentarias.

Nombre de la partícula	Tamaño (mm)	Nombre del sedimento	Nombre de la roca
bloque	> a 256	grava	conglomerado
guijón	64 a 256	grava	conglomerado
guijarro	2 a 64	grava	conglomerado
arena	1/16 a 2	arena	arenisca
limo	1/256 a 1/16	limo	limolita
arcilla	< a 1/256	arcilla	lutita



Rocas sedimentarias clásticas según tamaño de grano

GRAVA (> 2 mm)



Conglomerado
(clastos redondeados)

Brecha
(clastos angulares)

Conglomerado si es redondeada; brecha si es angular.

ARENA (0,063–2 mm)



Arenisca: describir selección, forma y cemento.

LIMO (0,002–0,063 mm)



Limolita: grano apenas perceptible.

ARCILLA (< 0,002 mm)



Arcilite o lutite; puede presentar fisilidad.

Las no clásticas registran precipitación o actividad biológica

EVAPORITAS	Precipitación por evaporación	Yeso y halita: solubilidad y creep.
CARBONATADAS	Precipitación o actividad biológica	Caliza y dolomía: cavidades y karst.
SILÍCEAS	Precipitación o reemplazo de sílice	Sílex: duro, abrasivo y frágil.
BIOGÉNICAS	Acumulación de restos orgánicos	Creta y calizas arrecifales: porosidad variable.
ORGÁNICAS	Concentración de materia orgánica	Carbón: baja rigidez y combustibilidad.

Fuente: Price y de Freitas (2008); Bell (1983); 04_IGG

Rocas sedimentarias

Se forman por acumulación, compactación y cementación de sedimentos.



Conglomerado



Brecha



Arenisca



Caliza



Lutita



Dolomía



Yeso



Carbón

Estratos y cementación controlan la respuesta sedimentaria

CONDICIONES FAVORABLES

- Arenisca bien cementada
- Caliza sana y masiva
- Estratos regulares y mapeables
- Buena durabilidad comprobada
- Poca variación lateral

RIESGOS FRECUENTES

- Planos de estratificación débiles
- Cementación variable
- Lutitas que se desintegran o hinchán
- Karst y alta permeabilidad secundaria
- Capas blandas entre estratos rígidos

La dirección de carga y excavación debe compararse con estratos, laminación y contactos.

El metamorfismo transforma la roca sin fundirla



- No implica fusión generalizada: los minerales cambian en estado sólido.
- El grado metamórfico controla tamaño de cristal y minerales nuevos.
- La presión dirigida puede producir foliación y anisotropía intensa.

La foliación separa dos comportamientos metamórficos

FOLIADAS

Pizarra, filita, esquisto y gneis: fábrica planar progresiva.

NO FOLIADAS

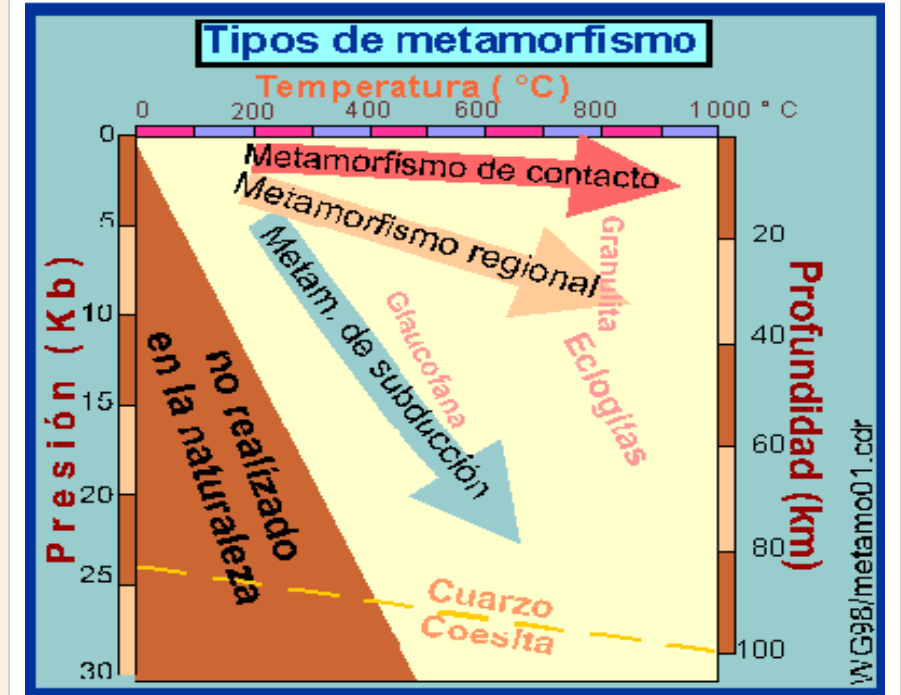
Mármol, cuarcita y hornfels: textura masiva o granoblástica.

GRADO

De bajo a alto grado aumentan recristalización y tamaño mineral.

PROTOLITO

Lutita → pizarra; caliza → mármol; arenisca → cuarcita.



Rocas metamórficas: ejemplos y características

Pizarra

Fábrica planar progresiva



PIZARRA
(bajo grado)

Filita

Fábrica planar progresiva



FILITA
(bajo a medio grado)

Esquisto

Fábrica planar progresiva



ESQUISTO
(grado medio)

Gneis

Fábrica planar progresiva



GNEIS
(alto grado)

Mármol

Textura masiva o granoblástica



MÁRMOL
(de caliza)

Cuarcita

Textura masiva o granoblástica



CUARCITA
(de arenisca)

Hornfels

Textura masiva, grano muy fino



HORNFELS
(de lutita/arcilla)

Tendencia general

De bajo a alto grado aumentan la recristalización y el tamaño mineral.

Ejemplo de protolitos

Lutita → pizarra

Caliza → mármol

Arenisca → cuarcita

La anisotropía domina muchas rocas metamórficas

ROCAS FOLIADAS

- Resistencia depende de la dirección
- Foliación actúa como plano de debilidad
- Esquistos pueden abrirse y degradarse
- Bloques tabulares frecuentes
- Orientación controla la cinemática

ROCAS NO FOLIADAS

- Cuarzita: fuerte, frágil y abrasiva
- Mármol: resistente pero soluble
- Hornfels: duro y compacto
- Juntas pueden gobernar la falla
- Alteración reduce durabilidad

Siempre comparar foliación y juntas con el talud, el túnel, la fundación y la dirección de carga.

Rocas metamórficas

Se generan por transformación de rocas preexistentes debido a presión y temperatura.



Gneis



Mármol



Pizarra



Cuarcita



Esquisto



Filita



Anfibolita



Migmatita

El nombre geológico no define por sí solo el comportamiento

NOMBRE GEOLÓGICO

Responde: ¿qué roca es?

- Origen y ambiente de formación
- Minerales dominantes
- Textura y estructura primaria
- Nombre litológico convencional
- Punto de partida, no parámetro de diseño

DESCRIPCIÓN INGENIERIL

Responde: ¿cómo está y cómo actúa?

- Resistencia y deformabilidad
- Porosidad, absorción y durabilidad
- Anisotropía y meteorización
- Discontinuidades, bloques y agua
- Escala y orientación de la obra

La misma litología puede representar macizos de calidad muy diferente.

Describir roca intacta requiere cinco observaciones

COMPOSICIÓN	¿Qué minerales dominan?	Cuarzo, feldespatos, micas, carbonatos, arcillas.
TEXTURA	¿Cómo se organizan?	Tamaño, forma, selección, cementación y grado de intertraba.
ESTRUCTURA	¿Qué fábrica presenta?	Masiva, vesicular, estratificada, laminada o foliada.
ESTADO	¿Cuánto se alteró?	Fresca, decolorada, meteorizada, descompuesta o saturada.
PROPIEDADES	¿Qué respuesta anticipa?	Densidad, porosidad, dureza, durabilidad y anisotropía.

Fuente: Hudson y Harrison; Introduction to Rock Mechanics, 2nd ed.

Principales minerales formadores de rocas

Cuarzo, feldespatos, micas, carbonatos, arcillas.



Cuarzo



Feldespatos



Micas



Carbonatos



Arcillas

Texturas y estructuras de las rocas

Masiva, vesicular, estratificada, laminada o foliada.



Masiva



Vesicular



Estratificada



Laminada



Foliada

Los índices convierten observaciones en parámetros comparables

RESISTENCIA

UCS
Carga puntual $I_s(50)$
Tracción indirecta
 c y ϕ cuando corresponde

DEFORMACIÓN

Módulo E
Coeficiente de Poisson
Anisotropía
Creep en rocas especiales

DURABILIDAD Y USO

Slake durability
Abrasividad
Porosidad y absorción
Densidad y peso unitario

Cada ensayo responde una pregunta distinta: seleccionar según mecanismo, obra y estado hídrico.

Las discontinuidades definen bloques y mecanismos de falla

ORIENTACIÓN

Rumbo y buzamiento respecto de excavación, talud o carga.

ESPACIAMIENTO

Controla tamaño de bloque y frecuencia de intersecciones.

PERSISTENCIA

Define continuidad de planos potenciales de deslizamiento.

CONDICIÓN

Rugosidad, apertura, alteración y relleno controlan resistencia.

AGUA

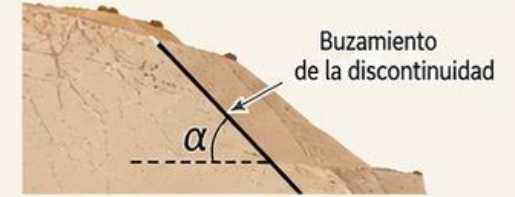
Presión, flujo y lavado de rellenos reducen estabilidad.

Un material resistente puede fallar por una discontinuidad desfavorable y persistente.

Las discontinuidades definen bloques y mecanismos de falla

ORIENTACIÓN

Rumbo y buzamiento respecto de excavación, talud o carga.



ESPACIAMIENTO

Controla tamaño de bloque y frecuencia de intersecciones.



PERSISTENCIA

Define continuidad de planos potenciales de deslizamiento.



CONDICIÓN

Rugosidad, apertura, alteración y relleno controlan resistencia.

Rugosa (alta resistencia)



Abierta (baja resistencia)



Alterada (resistencia reducida)



Con relleno (resistencia reducida)



AGUA

Presión, flujo y lavado de rellenos reducen estabilidad.



Flujo por discontinuidades
Aumento de presión de poros
Lavado de rellenos



Agua en la discontinuidad

Un material resistente puede fallar por una discontinuidad desfavorable y persistente.

La meteorización transforma roca en geomaterial



Sin decoloración; minerales y fábrica esencialmente intactos.

Decoloración en juntas; resistencia de matriz poco afectada.

Alteración parcial; bloques sanos dentro de material debilitado.

Gran pérdida de resistencia; la fábrica aún puede reconocerse.

Material transformado in situ; domina el comportamiento de suelo.

La transición cambia mineralogía, porosidad, resistencia, permeabilidad y durabilidad.

Goodman agrupa las rocas por su respuesta esperable

Los nombres geológicos a veces revelan algo sobre las propiedades de las rocas. El ingeniero debe conocer 16 minerales y unas 40 rocas.”

1

CRISTALINAS

Cristales intertrabados
Granito, basalto, gneis
Matriz fuerte; juntas críticas

2

CLÁSTICAS

Fragmentos + cemento
Arenisca, conglomerado
Respuesta depende del cemento

3

GRANULARES MUY FINAS

Lutita, limolita, filita
Anisotropía y degradación
A veces se comportan como suelo

4

ORGÁNICAS / ESPECIALES

Carbón, bituminosas, sales
Creep, solubilidad o baja rigidez
Ensayos específicos

La agrupación formula hipótesis de comportamiento; los ensayos y el mapeo deben confirmarlas.

Fuente: Goodman (1990); 04_IGG

Goodman agrupa las rocas por su respuesta esperable

1

CRISTALINAS



Granito



Basalto



Gneis

Cristales intertrabados
Granito, basalto, gneis
Matriz fuerte; juntas críticas

2

CLÁSTICAS



Arenisca



Conglomerado

Fragmentos + cemento
Arenisca, conglomerado
Respuesta depende del cemento

3

GRANULARES MUY FINAS



Lutita



Limolita



Filita

Lutita, limolita, filita
Anisotropía y degradación
A veces se comportan como suelo

4

ORGÁNICAS / ESPECIALES



Carbón



Roca bituminosa



Sales

Carbón, bituminosas, sales
Creep, solubilidad o baja rigidez
Ensayos específicos

La agrupación formula hipótesis de comportamiento; los ensayos y el mapeo deben confirmarlas.

Cada grupo concentra comportamientos que conviene investigar

CRISTALINAS	Matriz fuerte; respuesta por bloques.	Mapear juntas, alteración y abrasividad.
CLÁSTICAS	Resistencia gobernada por cemento.	Evaluar selección, porosidad y agua.
MUY FINAS	Anisotropía, slaking e hinchamiento.	Ensayar en dirección y humedad crítica.
ORGÁNICAS	Baja rigidez, creep y combustibilidad.	Caracterizar tiempo, gases y temperatura.
SOLUBLES	Disolución, cavidades y deformación lenta.	Investigar circulación y química del agua.

Fuente: Goodman (1990); Hudson y Harrison

Rocas Cristalinas

Están constituidas por **cristales entrecruzados de silicatos, sulfatos y otras sales**. Cuando **están inalteradas son frágiles y elásticas**. Fisuradas pueden sufrir deformaciones plásticas.

- Carbonatos y rocas salinas son plásticas, cuando existen presiones de confinamiento.
- Los esquistos son anisótropos.
- Los basaltos pueden tener vacíos.



Rocas Cristalinas

A. Carbonatos solubles y sales	Calizas, dolomitas , mármol , rocas salinas, yeso
B. Mica u otros minerales planares en bandas continuas	Esquistos micaceos , esquistos, cloríticos , esquistos grafiticos
C. Minerales silicatados bandeados sin capas micáceas	Gneiss
D. Minerales silicatados de tamaño grano uniforme, orientados aleatoriamente	Granito, diorita, gabro , sienita
E. Minerales silicatados distribuidos y orientados aleatoriamente en un fondo de grano muy fino	Basalto, riolita, otras rocas volcánicas
F. Rocas altamente cizalladas	Serpentinita , milonita

Fuente: Goodman (1990); Hudson y Harrison

Rocas clásticas

- Debe sus propiedades al **cementante que une los fragmentos**. Existe una variada gama de comportamiento.
- El nombre de la roca no dice nada al menos que se califique al cementante.

A. CEMENTADAS FIRMEMENTES	ARENISCAS CON CEMENTO SILICEO Y ARENISCAS LIMONITICAS
B. CON CEMENTO LIGERAMENTE SOLUBLE	ARENISCAS CEMENTADAS CON CARBONATOS, CONGLOMERADOS
C. CON CEMENTO ALTAMENTE SOLUBLE	ARENISCAS CEMENTADAS CON YESO, CONGLOMERADOS
D. CEMENTADAS INCOMPLETAMENTE O DEBILMENTE	ARENISCAS FRIABLES, TUFITAS,
E. SIN CEMENTAR	ARENISCAS ARCILLOSAS



Rocas granulares muy finas

- **Shales* varían ampliamente. Algunas son suelos compactos



*El **shale** (original en inglés, a menudo erróneamente traducido como 'esquisto' o 'pizarra') es una roca detrítica de grano fino, una lutita, con laminación paralela a la estratificación, que no ha sufrido condiciones de metamorfismo.

A. ROCAS DURAS ISOTROPICAS	HORNFELS, ALGUNOS BASALTOS
B. ANISOTROPICAS EN MACROESCALA PERO ISOTROPICA EN MICROESCALA	LUTITAS CEMENTADAS ARENISCAS LAJOSAS
C. ROCAS DURAS MICRO ANISOTROPICAS	PIZARRAS, FILITAS
D. ROCAS BLANDAS TIPO SUELO	LUTITAS COMPACTADAS, TIZA, MARGA



Rocas Orgánicas

A. CARBON SUAVE	LIGNITO Y CARBON BITUMINOSO
B. CARBON DURO	
C. ESQUISTOS PETROLADOS	
D. ESQUISTOS BITUMINOSOS	
E. ARENISCAS ASFALTICAS	



Carbón tipo hulla



Esquisto bituminoso

Síntesis y bibliografía esencial

- Brady, B. H. G. y Brown, E. T. (2005). Rock Mechanics for Underground Mining.
- Bieniawski, Z. T. (1989). Engineering Rock Mass Classifications.
- Goodman, R. E. (1990). Material de clasificación ingenieril aportado.
- Hudson, J. A. y Harrison, J. P. Rock Mechanics: An Introduction to the Principles.
- Jaeger, J. C., Cook, N. G. W. y Zimmerman, R. W. (2007). Fundamentals of Rock Mechanics.
- Hoek, E. (2007). Practical Rock Engineering.
- IDEA FINAL: clasificar es construir un modelo de comportamiento, no solamente asignar un nombre.

Fuente: materiales proporcionados por el usuario

Ígneas: ejemplos de campo y procedencia

Fuentes: Lagorio y Vizán (2011); Caballé (2003); imágenes: La Nación / PorConocer



Basalto con geodas • Wanda, Misiones

Procede de derrames basálticos de la Formación Serra Geral, Mesopotamia argentina.

Lectura ingenieril: matriz generalmente competente, pero el macizo queda gobernado por juntas, alteración y vesículas.
En basaltos de Misiones: controlar meteorización laterítica, discontinuidades de enfriamiento y cavidades mineralizadas.
En granitos de Tandilia: revisar diaclasas, abrasividad, bloques redondeados y estabilidad de apoyos.



Granito • Tandilia, Buenos Aires

Basamento cristalino de Tandilia; granitos usados como rocas de aplicación.

Sedimentarias: estratos, cemento y erosión

Fuentes: SEGEMAR Talampaya; Parque Nacional Talampaya; imágenes: Wikimedia Commons / World-Heritage



Areniscas rojas · Talampaya, La Rioja

Formaciones sedimentarias triásicas con areniscas y limolitas rojizas.

Lectura ingenieril: la resistencia depende de cementación, porosidad y grado de meteorización.
La estratificación introduce anisotropía: comparar rumbo/buzamiento con taludes, túneles y fundaciones.
Areniscas poco cementadas o limolitas pueden degradarse al humedecerse y perder resistencia.



Areniscas y limolitas · Ischigualasto-Talampaya

Depósitos continentales estratificados; erosión eólica e hídrica genera geoformas.

Metamórficas: foliación, bandeo y anisotropía

Fuentes: SEGEMAR Córdoba; Dalla Salda et al.; imagen: criba.edu.ar / Geología Argentina



Gneis migmatítico • Sierras de Córdoba

Basamento metamórfico de alto grado; bandas claras y oscuras, pliegues y foliación.

Lectura ingenieril: en rocas foliadas, la orientación suele ser más crítica que el nombre litológico.

En cuarcitas y mármoles masivos: evaluar abrasividad, solubilidad y sistemas de juntas.

Ejemplos argentinos

MET

Gneises, migmatitas, anfibolitas, mármoles y rocas calcosilicáticas de las Sierras Pampeanas; metamorfitas también en Tandilia y Patagonia.

Clave de campo

CAMPO

Registrar dirección de foliación, esquistosidad, bandeo, pliegues, planos micáceos, juntas y grado de alteración.

Clave de diseño

DISEÑO

La resistencia puede cambiar mucho si la carga o excavación es paralela o perpendicular a la foliación.

Goodman: agrupar por comportamiento esperado

Fuente: Goodman (1990). Introduction to Rock Mechanics, 2nd ed.

1. Cristalinas

JUNTAS

Granito, basalto, gabro, gneis. Cristales intertrabados; matriz fuerte; el macizo suele fallar por juntas.

2. Clásticas cementadas

CEMENTO

Arenisca, conglomerado, brecha. Resistencia y durabilidad dependen del cemento, porosidad y agua.

3. Granulares muy finas

AGUA

Limolita, lutita, filita. Anisotropía, fisilidad, slaking, hinchamiento y transición roca-suelo.

4. Orgánicas / especiales

TIEMPO

Carbón, sales, evaporitas y rocas bituminosas. Pueden dominar creep, disolución, baja rigidez o combustibilidad.

Idea central: Goodman no reemplaza la clasificación geológica; la transforma en hipótesis de comportamiento para decidir qué observar, qué ensayar y qué mecanismo de falla verificar.

Goodman aplicado a ejemplos de Argentina

Fuentes: Goodman (1990); SEGEMAR; Lagorio y Vizán (2011); Caballé (2003)

ROCA / PROCEDENCIA	GRUPO GOODMAN	QUÉ MIRAR EN OBRA
Basalto de Misiones	Cristalina volcánica	juntas, vesículas, alteración laterítica, geodas
Granito de Tandilia	Cristalina plutónica	diaclasas, bloques, abrasividad, meteorización
Areniscas de Talampaya	Clástica cementada	cementación, estratificación, erosión y durabilidad
Lutitas / limolitas	Granular muy fina	fisilidad, slaking, hinchamiento y pérdida al humedecer
Gneis de Córdoba	Cristalina metamórfica	foliación, anisotropía y discontinuidades
Mármol / calizas	Especial soluble / carbonática	disolución, karst, juntas y agua

Secuencia recomendada: nombre litológico → condición de la roca intacta → discontinuidades → agua → grupo ingenieril → mecanismo dominante.