

EXPLORACIÓN

“En búsqueda del metal rojo”

Como puedes imaginar, el cobre no aparece en forma de barras y como por arte de magia en cualquier lugar (¡ojalá fuera así!). Al contrario, para poder encontrarlo hay que ir en su búsqueda y eso es toda una larga historia.

La primera etapa del proceso de producción del cobre se inicia con la entretenida y emocionante tarea de la Exploración Geológica. En esta fase se pueden verificar los tipos de rocas presentes en el subsuelo y saber a ciencia cierta si existen minerales o no.

El cobre se encuentra diseminado en ciertos sectores de la corteza terrestre y su ubicación está determinada por los distintos procesos geológicos que han ocurrido en la historia del planeta.

El origen de este mineral está ligado a la introducción de magma a gran temperatura y con gran presión en la corteza terrestre.

Índice temático

I. RECONOCIMIENTO DE ROCAS	7
1. Minerología	7
Minerología descriptiva	7
Minerología determinativa	8
Minerología química	8
Propiedades físicas de los minerales	8
Cristalografía	9
2. Los minerales y sus propiedades	9
Propiedades químicas de los minerales	11
Clasificación de los minerales	12
Átomos y estructura atómicas	13
Compuestos químicos	14
Propiedades físicas de los minerales	14
Propiedades ópticas	16
Color	16
Rayas	18
Hábitos	18
Brillo o lustre	19
Propiedades mecánicas	20
Dureza	20
Escala de dureza de Mohs	20
Tenacidad	21
Densidad o peso específico	22
Exfoliación	23
Fractura	24
Propiedades electromagnéticas de los minerales	24
Minerales formadores de roca	24
Clasificación de minerales formadores de roca según composición química	25
Tabla de elementos que por sí solos constituyen	25
Tipos de minerales según elementos presentes	26
Los silicatos	26
Estructura química de los silicatos	27
Reconocimiento de los silicatos	28

3. Las rocas	29
Ciclo geológico y procesos de transformación	29
Tipos de rocas	30
Rocas ígneas	31
Proceso de formación de rocas ígneas	31
Clasificación según textura	32
Tamaño de cristales	32
Velocidad de enfriamiento del magma	32
Cantidad de sílice presente en el magma	33
Cantidad de gases disueltos en el magma	33
Tipo de Textura de las rocas ígneas	34
Según composición mineral	36
Rocas félsicas o granitos	37
Tipos o familias de rocas félsicas o granitos	37
Rocas intermedias o andefísicas	39
Tipo de textura de las rocas ígneas	39
Rocas máficas o basáltica	39
Tipo de textura de las rocas ígneas	40
Rocas sedimentarias	40
Proceso de meteorización	41
Meteorización mecánica	41
Meteorización orgánica biológica	41
Diagénesis	41
Rocas sedimentarias detríticas o clásticas	43
Clasificación de las rocas según sedimentos y tamaño del clasto	44
Rocas sedimentarias químicas originadas por precipitación de soluciones	45
Carbonatos	46
Evaporitas	47
Rocas sedimentarias organógenas	48
Rocas metamórficas	49
Factores que contribuyen al metamorfismo	49
Temperatura	49
Presión	50
Fluidos químicos	50
Límites del metamorfismo	51
Clasificación según principales parámetros metamórficos	52
Clasificación según posición geológica	53
Texturas de rocas metamórficas	54
Foliadas	54
No foliadas	54
Tipos de rocas metamórficas	55

4. Menas	58
Depósitos minerales básicos	59
Clasificación de depósitos	59
Ambiente de formación	60
Forma o simetría del yacimiento	60
Contenido en elementos químicos	61
Clasificación de yacimientos	61
Yacimientos de ambiente magmático y postmagmático	61
Depósitos vetiformes o tabulares	61
Pórfidos cupríferos	62
Características de los pórfidos	62
Estructura de los pórfidos cupríferos	63
Alteraciones asociadas a los pórfidos	63
Perfil de un pórfido	63
Yacimientos en el ambiente metamórfico	65
Meteorización y yacimientos de menas	66
Depósito de bauxita: la principal mena de aluminio	66
Yacimientos en el ambiente sedimentario	67
Lavaderos de minerales	68
Condiciones de acumulación	69
5. Estructuras geológicas	70
Principales estructuras geológicas	70
Planes geológicos y orientación	70
Tipos de Fallas	72
Otras Fallas	75
Reconocimiento de fallas en terreno	76
Desplazamiento	76
Estrías	76
Diaclasas plumosas de cizalle	76
Arrastres	76
Brechas de falla (kataclasita)	76
Milonita	76
Pliegues	77
Tipos de pliegues	78

II. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	80
1. Apoyo al levantamiento topográfico	80
Perforación	80
Tronadura	80
Carguío	80
Transporte	80
2. Áreas de la topografía	81
Geodesia	82
Fotogrametría	82
Levantamiento topográfico plano	84
3. La topografía plana	85
Fundamento de la topografía plana	85
Estudio de la topografía plana	86
Planimetría o control horizontal	86
Altimetría o control vertical	86
Planimetría y altimetría simultáneas	86
Operaciones o actividades del trabajo de topografía plana	87
Trabajo y operaciones de campo	87
Trabajo y operaciones de oficina	88
Hipótesis en que se basa la topografía plana	88
4. Planos	89
Planos topográficos	89
Planos de perforación	89
Confección de planos y croquis	90
Lectura e interpretación de planos	90
Simbología y unidades usadas en topografía	91
Unidades de longitud	91
Unidades de superficie	91
Unidades angulares	91
Graduación sexagesimal	91
Graduación centesimal	91
5. Topografía básica de minas	92
Replanteo y ubicación de puntos topográficos	92
Nivelación	92
Perfiles de transporte	93
Dibujo de una sección	93
Geometría de sección o pilas	94

III. MARCO LEGAL	95
1. Marco legal	95
Ley 16.744 y código del trabajo	95
Reglamento de seguridad minera	96
Identificar y clasificar los riesgos del trabajo	98
Peligro	98
Incidente	98
Accidente del trabajo	98
Riesgo	98
Actividad: traslado hacia y desde el proyecto y dentro del mismo	101
Actividad: desplazamiento peatonal en interior mina	102
Actividad: control técnico de sondaje en interior mina	102
Actividad: manipulación de probetas	102
IV. MAPAS GEOLÓGICOS	103
1. ¿Qué es un mapa geológico?	103
¿Cómo determinar distancias reales a partir de un mapa?	104
¿Cómo se georreferencian los mapas geológicos?	105
¿Cómo ubicar un punto de terreno en el mapa?	105
¿Cómo ubicar un punto en el terreno en el mapa?	105
2. Confección de mapas geológicos	106
El mapa y sus elementos	106
Estructura general de un mapa geológico	106
Elementos para la confección de un mapa geológico	107
Límites litológicos	107
Cronología	107
Generalizaciones	107
Leyenda litológica	108
Título	108

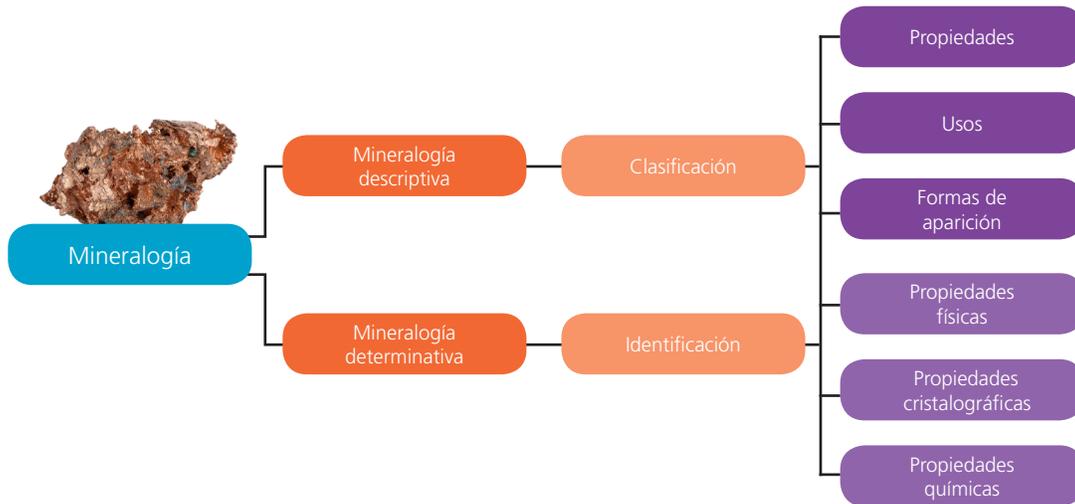
I. RECONOCIMIENTO DE ROCAS

1. Mineralogía

La mineralogía es la ciencia que se ocupa de identificar los minerales y estudiar sus propiedades y origen con el propósito de realizar su clasificación. Su estudio se efectúa a partir de la observación y el análisis de las rocas que constituyen muestras geológicas.

El estudio de las rocas y sus minerales nos permite conocer más sobre los procesos geológicos que han tenido lugar en una determinada zona. De esta manera es posible comprender sus características actuales y definir sus posibles usos.

Dentro de la mineralogía existen dos líneas de trabajo, como se observa en el siguiente cuadro:



MINERALOGÍA DESCRIPTIVA

Se ocupa de estudiar las propiedades y clasificación de los minerales de manera individual, según localización, formas de aparición y usos. Este enfoque de la disciplina tiene una aplicación económica directa, ya que la mayoría de los materiales inorgánicos usados con fines productivos son minerales o sus derivados.

Por ejemplo:

- **Piedras preciosas y semipreciosas**, como diamante, granate, ópalo, circonio.
- **Objetos ornamentales y materiales estructurales**, como ágatas, calcita, yeso entre otros.

- **Materiales refractarios**, entre los que se destacan asbestos o amianto, grafito, magnesita, mica.
- **Materiales cerámicos**, como el feldespato y el cuarzo, entre otros.
- **Minerales químicos**, como halita, azufre y bórax.
- **Fertilizantes**, como los fosfatos y los nitratos.
- **Pigmentos naturales**, como hematites y limonita.
- **Minerales de uso en aparatos científicos y ópticos**, como cuarzo, mica y turmalina.
- **Menas de metales**, como es el caso de casiterita, calcopirita, cromita, cinabrio, ilmenita, molibdenita, galena y esfalerita.

MINERALOGÍA DETERMINATIVA

Esta área de la disciplina se ocupa de identificar los minerales presentes en una muestra en función de sus propiedades químicas, físicas y cristalográficas. Propiedades que constituyen subespecialidades de la mineralogía.

MINERALOGÍA QUÍMICA

Se ocupa de estudiar e identificar la composición química de los minerales. Esta subdisciplina se realiza con métodos normalizados, cuantitativos y cualitativos, incluyendo análisis con haces de electrones.

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MINERALES

Estudia las propiedades físicas de los minerales, tales como las ópticas, mecánicas y electromagnéticas.

Dichas propiedades constituyen una importante ayuda para identificar los minerales. Muchos de ellos se pueden reconocer a simple vista (utilizando elementos como la lupa, el martillo o una punta para rayar) o mediante sencillas pruebas.

CRISTALOGRAFÍA

Es la disciplina que estudia la forma que adoptan la mayoría de los minerales cuando las condiciones de formación son favorables. Los cristales son un ordenamiento de los átomos de un mineral de manera tal que forma superficies planas. En estos, los átomos e iones se encuentran organizados de forma simétrica en redes, los cuales se repiten indefinidamente formando una estructura cristalina.

La cristalografía estudia el crecimiento, forma y carácter geométrico de los cristales. De acuerdo con las características los cristales, estos se agrupan en seis sistemas de simetría, a saber:

- **Cúbico o isométrico**
- **Hexagonal**
- **Tetragonal**
- **Ortorrómbica**
- **Monoclínico**
- **Triclínico**

La mineralogía estudia las rocas para identificar los minerales presentes en ellas y reconocer sus propiedades. Además, permite conocer más sobre los procesos geológicos ocurridos y los usos que se le pueden dar a los productos derivados de ellos.

2. Los minerales y sus propiedades

Un mineral es una sustancia sólida inorgánica, formada por uno o más elementos químicos definidos, que se organizan ordenadamente en una estructura interna. Estos se encuentran en la superficie o en las diversas capas de la corteza de la tierra formando rocas, las que son un conjunto de minerales.

Para que un material terrestre se defina como tal, debe presentar las siguientes características:

Poseer una estructura interna ordenada, es decir, sus átomos deben estar dispuestos según un modelo definido.

Tener una composición química definida, esto es, que puede variar solo dentro de ciertos límites.

Aparecer en forma natural.

Ser inorgánico.

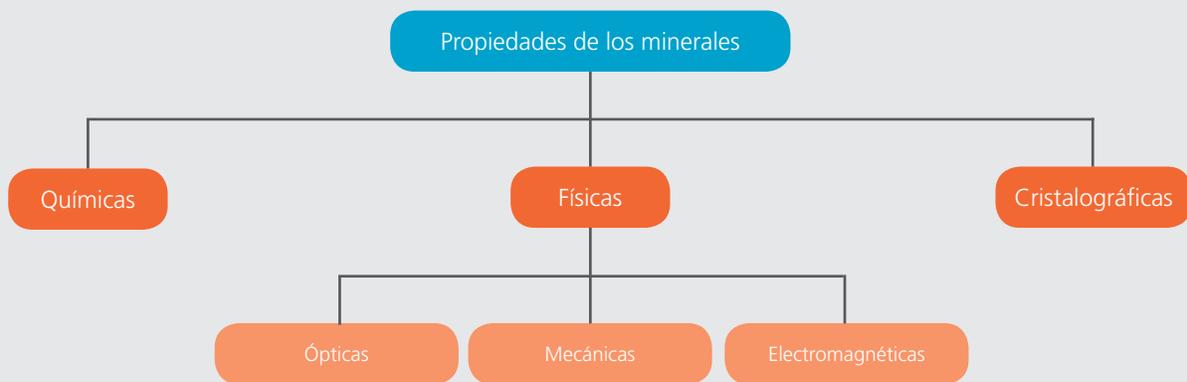
Ser sólido.

Cuando se habla de minerales, solo se consideran las sustancias que satisfacen estos criterios. Por esta razón los diamantes sintéticos y una gran variedad de otros materiales producidos por los químicos no se consideran minerales. De esta forma, el ópalo, piedra preciosa, se clasifica como mineraloide, ya que, si bien no tiene estructura interna ordenada, cumple los demás requisitos.

Las propiedades físicas y químicas que se pueden observar en las rocas dependen, en gran medida, de las propiedades físicas y químicas de los minerales que las conforman. Por esta razón, si queremos conocer las características de los minerales de un

sector, es fundamental tomar las muestras de rocas que sean representativas. La observación y medición de las características de los minerales nos permiten identificarlos y luego decidir acerca de las medidas que serán necesarias tomar y /o de los usos que se les puede dar, de acuerdo con los objetivos de la exploración.

El reconocimiento de los minerales es el conjunto de técnicas que podemos utilizar para inferir la especie en función de sus propiedades observables o medibles.



Cada mineral está compuesto por elementos químicos que se organizan conforme a una estructura regular que se repite en cada muestra.



* División El Teniente, 2018.

PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS MINERALES

Para conocer las propiedades químicas de un mineral es necesario saber que un mineral es, esencialmente, una disposición ordenada de átomos químicamente unidos que forman una estructura. Este empaquetamiento ordenado de los átomos se refleja en objetos de formas regulares denominados cristales. Es por esto que los minerales tienen una estructura cristalina concreta.

La estructura cristalina particular de un mineral está determinada por la disposición atómica interna de sus compuestos, los que están formados por iones (átomos con carga eléctrica). Tanto la carga como el tamaño de los iones que intervienen en la formación del compuesto, determinan su tipo de estructura cristalina. En la búsqueda de formar compuestos iónicos estables, cada ión de carga positiva se rodea por el mayor número de iones negativos que puedan acomodarse para mantener la neutralidad eléctrica general. Lo mismo ocurre a la inversa, en donde cada ión de carga negativa se circunscribe por el mayor número de iones positivos.

Cada una de las muestras de un mineral tiene la misma estructura interna, pero como los mismos elementos son capaces de reunirse en más de una forma, puede haber dos minerales con propiedades totalmente diferentes y con exactamente la misma composición química.

Los minerales de este tipo se denominan polimorfos. Por causas naturales o inducidas, un polimorfo se puede transformar en otro. A este fenómeno se le denomina cambio de fase.

En la naturaleza, ciertos minerales atraviesan cambios de fase conforme pasan de un ambiente a otro. Por ejemplo, si se calienta el grafito a presiones elevadas, se pueden producir diamantes de menor calidad que el original, que, dada su dureza, debe ser de uso industrial. También, cuando en la naturaleza las rocas son transportadas a mayores profundidades por una placa en subducción, el mineral olivino cambia a una forma más compleja denominada espinela.



CLASIFICACIÓN DE LOS MINERALES

Algunos minerales están compuestos exclusivamente de un elemento, como el oro (Au) o el azufre (S), pero la mayoría es una combinación de dos o más elementos químicos, que forman un compuesto químicamente estable.

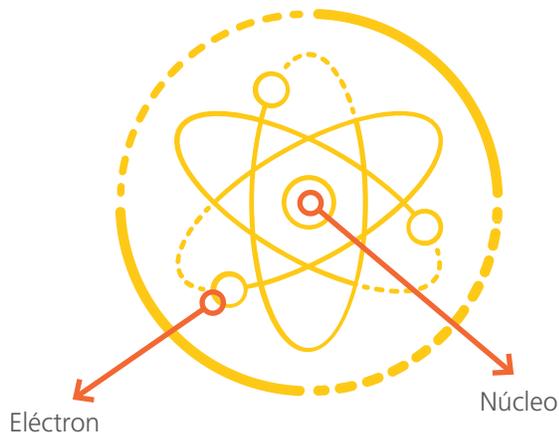
Si bien la clasificación química no es rígida, se pueden distinguir clases de compuestos químicos que incluyen a la mayoría de los minerales.

CLASES	CARACTERÍSTICAS
Elementos	Los elementos se encuentran en la naturaleza en estado puro o nativo, es decir, sin formar compuestos químicos. Por ejemplo: oro, grafito, diamante y azufre.
Sulfuros	Son compuestos formados por diversos metales y el azufre. Por ejemplo: galena o esfalerita, calcopirita.
Sulfosales	Compuestos formados por plomo, cobre o plata combinados con azufre y uno o más elementos, tales como antimonio, arsénico y bismuto. Por ejemplo: pirargirita (Ag ₃ SbS ₃).
Óxidos	Compuestos formados por un metal combinado con oxígeno, u óxidos minerales que también contienen agua. Ejemplo: hematites u oligisto (Fe ₂ O ₃), diásporo (Al ₂ O ₃ •H ₂ O) y grupo hidroxilo (OH).
Haluros	Compuestos formados por metales combinados con cloro, flúor, bromo o yodo. Ejemplo: halita o sal gema (NaCl).
Carbonatos	Compuestos que contienen un grupo carbonato CO ₃ ⁻² . Ejemplo: calcita (CaCO ₃).
Fosfatos	Compuestos que contienen un grupo fosfato en su estructura. Ejemplo: apatita (Ca ₅ (F,Cl)(PO ₄) ₃).
Sulfatos	Compuestos que contienen un grupo sulfato (SO ₄) en su estructura. Ejemplo: barita (BaSO ₄).
Silicatos	Compuestos formados por varios elementos combinados con silicio oxígeno, que a menudo tienen una estructura química compleja, y minerales compuestos exclusivamente de silicio y oxígeno (por ejemplo, la sílice). Es la clase más abundante de minerales e incluyen las familias del feldespato, la mica, el piroxeno, el cuarzo, la zeolita y el anfíbol.

ÁTOMOS Y ESTRUCTURAS ATÓMICAS

La partícula básica que se combina para formar moléculas y compuestos se llama átomo, esta es la parte más pequeña de la materia que conserva las características de los elementos.

Los átomos tienen una región central, denominada núcleo. Rodeando al núcleo se encuentran partículas muy livianas llamadas electrones, de carga negativa, que viajan a grandes velocidades. Los átomos se representan en diagramas que muestran los electrones en órbitas alrededor del núcleo, como las órbitas de los planetas alrededor del sol.



Sin embargo, este es solo un esquema, ya que los electrones viajan en distintos planos a diferencia de los planetas que se movilizan en un mismo plano. Como se mueven muy rápido en torno al núcleo, crean zonas esféricas de carga negativa. Estas se llaman niveles de energía o capas, en las que se puede acomodar un número específico de electrones.

Por consiguiente, una representación más real del átomo considera capas a modo de nubes de electrones en movimiento rápido alrededor del núcleo central.

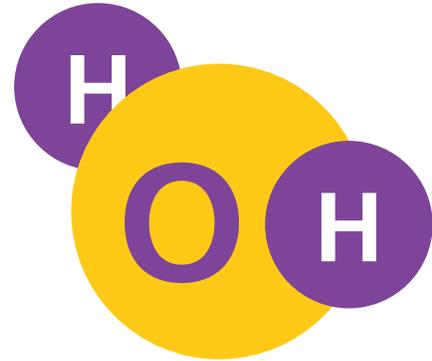
Dentro del núcleo se encuentran los protones y los neutrones. Los neutrones son partículas muy densas con carga eléctrica neutra. Los protones son partículas de carga positiva, tan densos como los neutrones. El número de protones del núcleo determina el número atómico del elemento y su nombre.

Por ejemplo: los elementos con 6 protones en el núcleo son átomos de carbono y tienen el número atómico 6; los elementos con 8 protones en el núcleo son átomos de oxígeno y tienen el número atómico 8.

Todos los átomos tienen el mismo número de electrones que de protones, de manera que el número atómico también equivale a la cantidad de electrones. Como los neutrones no tienen carga, la carga positiva de los protones se equilibra de manera exacta por la carga negativa de los electrones.

Es así como, un elemento es un cúmulo de átomos eléctricamente neutros, con los mismos números atómicos.

El hidrógeno es el elemento más sencillo, ya que está compuesto por átomos que tienen un protón en el núcleo y un electrón a su alrededor. Cada electrón se añade de una manera sistemática a una capa o nivel de energía particular. En general, los electrones van entrando a niveles de energía superiores en la medida en que se ha completado la capacidad de los niveles inferiores.



La primera capa principal tiene un máximo de dos electrones, mientras que cada una de las capas superiores, esto es, las que se van alejando del núcleo, contienen ocho o más electrones.

NIVELES ENERGÉTICOS DEL ÁTOMO Y NÚMEROS CORRESPONDIENTES DE ELECTRONES

Máximo N° de electrones						8	Niveles de energía
					18		
				32	P		
			32	O			
	2	8	18				
K	L	M	N				

Para que los átomos tengan una configuración estable deben tener 8 electrones en su última capa. Esta capa externa completa, solo se encuentra en el caso de los gases nobles, esto es, el neón y el argón. Es por ello que no necesitan combinarse con otros átomos, es decir, no son reactivos desde el punto de vista químico. De ahí que se les conozca como gases inertes.

Todos los demás átomos buscan ser estables, es decir, contar con ocho electrones en su capa externa, al igual que los gases nobles.

En busca de la estabilidad, los elementos se combinan entre sí para formar una amplia variedad de sustancias más complejas. A la fuerza de atracción existente entre los átomos se le denomina enlace químico.

A los electrones que están en las franjas externas de los átomos y que intervienen en el enlace químico se les llama electrones de valencia.

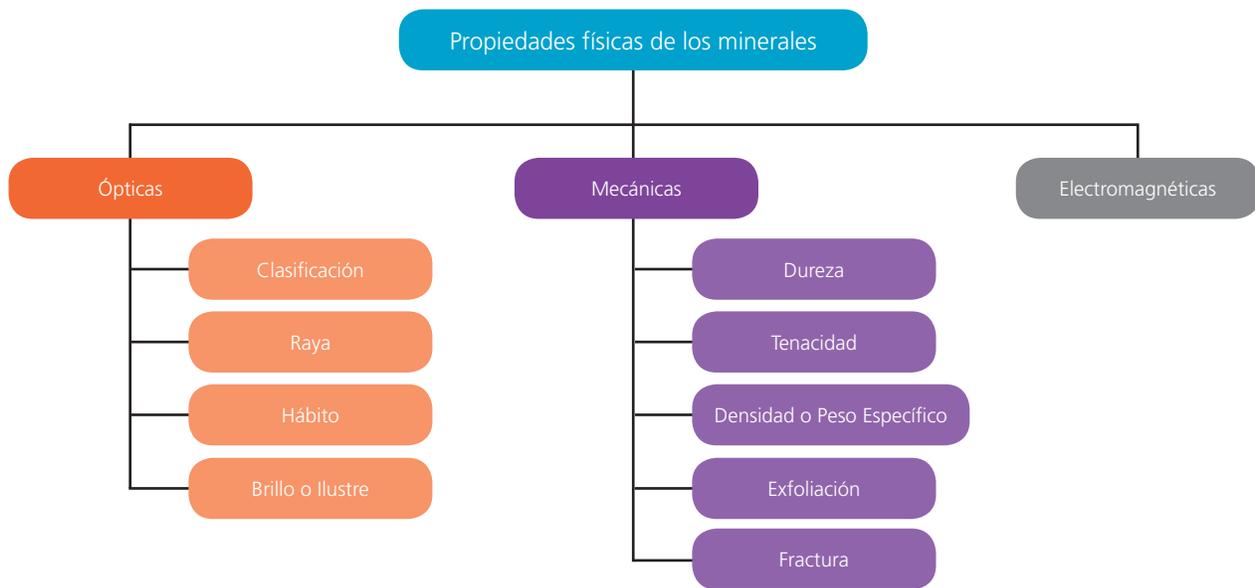
COMPUESTOS QUÍMICOS

Cuando un enlace químico reúne dos o más elementos en proporciones definidas, a la sustancia obtenida se le denomina compuesto. La mayoría de los minerales son compuestos químicos.

Los átomos de un compuesto se mantienen unidos gracias a las fuerzas eléctricas.

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MINERALES

La estructura cristalina interna de cada mineral suele no expresarse externamente. En general, donde se pueda formar un mineral, sin restricciones de espacio, se desarrollan cristales individuales con caras cristalinas bien formadas. Pero casi siempre el crecimiento cristalino se interrumpe dada la competencia por el espacio, lo que se traduce en una masa de intercrecimiento de cristales, donde ninguno de ellos exhibe su forma cristalina. Por esta razón, para reconocer minerales se recurre a sus propiedades físicas más fácilmente reconocibles, que son las ópticas, mecánicas y electromagnéticas.



PROPIEDADES ÓPTICAS

COLOR

En general, el color es un medio poco eficiente para identificar minerales debido a que éstos no se presentan siempre con el mismo pigmento, lo que hace que no sea un indicador unívoco. En relación con el color se distinguen dos grupos de minerales.

IDIOCROMÁTICOS:

Son aquellos que tienen colores característicos según su composición. Sólo para este grupo de minerales el color es un antecedente útil como medio de identificación.

ALOCROMÁTICOS:

Son aquellos minerales que presentan un rango de colores debido a la presencia de impurezas o de inclusiones en su estructura.



Cobre



Lapizlazuli



Magnetita

MINERAL	COLOR
Magnetita	Negro
Hematita	Rojo
Epidota	Verde
Clorita	Verde
Lapizlazuli	Azul oscuro
Turquesa	Azul característico
Malaquita	Verde brillante
Cobre nativo	Rojo cobrizo

Para reconocer coloración alocromáticos:

- **Minerales isométricos o cúbicos:** en los que el desarrollo es por igual en todos los sentidos (galena, granate).
- **Alargados en una dirección:** puede ser dirección columnar (anfíbola), acicular o en agujas (atacamita) o fibrosa (asbesto).
- **Alargados en dos direcciones:** puede ser tabular (baritina) u hojosa (micas).

- **Formas intermedias:** es el caso del tonel, una forma de transición entre isométrica y alargada (zafiro).
- **Granulares:** tiene forma de grano.
- **Lamelares o laminares:** se observan cristales formados por placas u hojas algo separables (por ejemplo, el yeso).
- **Oolíticos:** se observan agregados, formados por pequeñas esferas semejantes a huevos de pescado.
- **Concreciones:** se trata de masas formadas por depósitos de mineral sobre un núcleo.
- **Dendrítico o arborescente:** grupos de cristales en forma arborescente, semejante a la de las plantas.
- **Estalactitas:** cristales con forma de conos o cilindros colgantes.

Según los límites de las formas cristalinas, se pueden distinguir cristales:

- **Idiomorfos:** poseen caras bien desarrolladas.
- **Hipidiomorfos:** poseen caras desarrolladas imperfectamente.
- **Alotriomorfos:** poseen caras deformadas por falta de espacio durante su crecimiento.

Además, dentro de los caracteres morfológicos de los cristales se incluyen también las formas dobles o múltiples (maclas de yeso, fluorita, rutilo, ortoclasa).

Los minerales, sustancias sólidas inorgánicas formadas por uno o más elementos químicos definidos organizados en una estructura interna, tienen diferentes clasificaciones según su composición química y propiedades físicas.

Existen diferentes métodos para reconocer elementos fundamentales como el color, el hábito, el brillo, dureza, tenacidad, densidad, exfoliación, fractura y silicatos de los minerales.

RAYAS

Para determinar este parámetro, se raya el mineral utilizando otro de mayor dureza y se determina el color del polvo fino obtenido. Este parámetro es útil para identificar minerales y menas, ya que suele ser constante, incluso si varía el color del trozo.

Para reconocer las rayas:

- **La raya** del feldespato potásico siempre es blanca, sin importar si el trozo es incoloro, color carne o verde.
- **La raya** de la magnetita es negra.
- **La raya** de la hematita es rojo cereza.

HÁBITO

El hábito se refiere a la forma más común en que se presenta un mineral. Puede corresponder a cristales bien formados o a formas aparentemente no cristalinas. Según las formas básicas de los minerales, se pueden distinguir diferentes hábitos.

El cobre puede presentarse como óxido de cobre, sulfuro de cobre o en estado nativo, por lo que puede tener diferentes hábitos dependiendo del tipo, estado y condiciones de entorno (alteraciones).



Cobre Nativo



Bornita: Sulfuro de cobre



Malaquita: Carbonato de cobre

Para reconocer hábitos:

- **Minerales isométricos o cúbicos:** en los que el desarrollo es por igual en todos los sentidos (galena, granate).
- **Alargados en una dirección:** puede ser dirección columnar (anfíbola), acicular o en agujas (atacamita) o fibrosa (asbesto).
- **Alargados en dos direcciones:** puede ser tabular (baritina) u hojosa (micas).
- **Formas intermedias:** es el caso del tonel, una forma de transición entre isométrica y alargada (zafiro).
- **Granulares, con forma de grano.**

- **Lamelares o laminares:** se observan cristales formados por placas u hojas algo separables (por ejemplo, el yeso).
- **Oolíticos:** se observan agregados, formados por pequeñas esferas semejantes a huevos de pescado.
- **Concreciones:** se trata de masas formadas por depósitos de mineral sobre un núcleo.
- **Dendrítico o arborescente:** grupos de cristales en forma arborescente, semejante a la de las plantas.
- **Estalactitas:** cristales con forma de conos o cilindros colgantes.

Según los límites de las formas cristalinas, se pueden distinguir cristales:

- **Idiomorfos:** poseen caras bien desarrolladas.
- **Hipidiomorfos:** poseen caras desarrolladas imperfectamente.
- **Alotriomorfos:** poseen caras deformadas por falta de espacio durante su crecimiento.

Además, dentro de los caracteres morfológicos de los cristales se incluyen también las formas dobles o múltiples (maclas de yeso, fluorita, rutilo, ortoclasa).

BRILLO O LUSTRE

Se refiere al aspecto general que se observa en la superficie de un mineral cuando este refleja la luz. En general, es una distinción difícil de establecer, ya que es muy subjetiva.

Existen tres grandes tipos de brillo o lustre:

METÁLICO:

Mineral opaco a la luz, que tiene el aspecto brillante de un metal, y una raya negra o muy asca. Por ejemplo, galena, pirita y calcopirita.

SEMIMETÁLICO:

Brillo propio de minerales transparentes o semitransparentes. Por ejemplo, argentita.

NO METÁLICO:

Brillo que no tiene aspecto metálico. En general, son de colores claros y transmiten la luz a través de láminas delgadas. Su raya es incolora o de color muy débil.

PROPIEDADES MECÁNICAS

Son aquellas que para identificarlas requieren de alguna acción que permita distinguir de qué mineral se trata.

DUREZA

Es la resistencia que ofrece la superficie lisa de un mineral al ser rayada, ya sea por otro mineral o por una punta de acero. La dureza es una propiedad vectorial, por lo que un mismo cristal puede presentar distintos grados de dureza, dependiendo de la dirección de la raya. Esta diferencia es tan ligera en la mayor parte de los minerales comunes, que solo se distingue usando instrumentos delicados.

ESCALA DE DUREZA DE MOHS

Esta escala ordena las durezas de diez minerales, de menor a mayor según su capacidad de rayar al precedente y ser rayado por el siguiente.

DUREZA	MINERAL	COMPARACIÓN
1	Talco	La uña de la mano lo raya con facilidad
2	Yeso	La uña de la mano lo raya
3	Calcita	La punta de un cuchillo lo raya con facilidad
4	Fluorita	La punta de un cuchillo lo raya
5	Apatito	La punta de un cuchillo lo raya con dificultad
6	Feldespato potásico	Un trozo de vidrio lo raya con dificultad
7	Cuarzo	Puede rayar un trozo de vidrio con facilidad
8	Topacio	Puede rayar un trozo de vidrio con facilidad dejando una marca gruesa
9	Corindón	Raya todos los minerales menos el diamante
10	Diamante	Puede rayar todos los minerales existentes

Para reconocer durezas:

Cuando un mineral es más blando que otro, porciones del primero dejan una huella sobre el segundo. Para no confundir esa marca con una raya, hay que tratar de borrarla. Si ésta no desaparece, se trata de una tachadura verdadera. Por ejemplo, si se raya un vidrio (cuarzo) con una tiza, esta deja un trazo en el primero, pero se borra fácilmente.

Muchos minerales se alteran fácilmente en su superficie, mostrándose mucho más blandos que el original. Para evitar este problema, debe emplearse una superficie fresca, es decir, no contaminada, del ejemplar en estudio.

Si un mineral es polvoriento, granular o astilloso, puede romperse y quedar aparentemente rayado por un mineral mucho más blando que él mismo. Por ejemplo, un mineral alterado por efecto del agua tiene algunas propiedades modificadas, como la dureza, y puede ser rayado por un mineral más blando.

Cuando se efectúa la prueba de dureza es conveniente confirmarla, repitiendo la operación alterando el orden de ejecución. Es decir, no solo tratar de rayar el mineral A con el B en ambas oportunidades, sino también tratar de marcar el mineral B con el A.

Un mineral de dureza desconocida puede compararse con minerales u otros objetos de dureza conocida. Por ejemplo, las uñas tienen dureza de 2.5, una moneda de cobre 3, el acero de un cortaplumas 5, un trozo de vidrio 5.5 y el acero de una lima, 6.5.

TENACIDAD

Es la resistencia que un material opone a ser roto, molido, quebrado, doblado o desgarrado. En otras palabras, responde a su cohesión, es decir, a la capacidad de un mineral de resistir la separación de sus componentes sin perder sus propiedades. Por ejemplo, el cobre nativo tiene una tenacidad dúctil, es decir, se pueden formar con él alambres e hilos.

Para reconocer tenacidad:

Los diferentes tipos de tenacidad se pueden describir utilizando los siguientes términos:

- **Frágil:** si el mineral se rompe fácilmente o reduce a polvo (arcilla, talco).
- **Maleable:** si el mineral puede ser transformado en hojas delgadas por percusión (minerales nativos como el cobre).
- **Séctil:** si el mineral se corta con un cuchillo y tiene dureza menor a 3 (yeso).
- **Dúctil:** si se le puede dar la forma de hilo (cobre nativo).

- **Flexible:** si puede ser doblado, pero sin recuperar su forma original una vez que termina la presión que lo deforma.
- **Elástico:** cuando recobra su forma primitiva al cesar la fuerza que lo ha deformado (micas).

DENSIDAD O PESO ESPECÍFICO

La densidad depende de la composición química del mineral y de su estructura cristalina. A una temperatura y presión dadas, los minerales que son poco variables químicamente tienen una densidad constante. En ocasiones, basta con determinarla mediante el uso de instrumentos como balanzas y picnómetros, para identificar el mineral directamente. El peso específico se indica con una G y corresponde al número que expresa la relación entre el peso (del mineral) y el peso del mismo volumen de agua a 4 °C.

Por ejemplo, si un mineral tiene peso específico 2, significa que una muestra pesa dos veces lo que pesaría un volumen igual de agua.

El peso específico de una sustancia cristalina depende de dos factores:

- **La clase de átomos de que está compuesta.**
- **La manera en que están empaquetados los átomos.**

En los compuestos isoestructurales, donde el empaquetamiento es constante, los elementos con peso atómico más elevado tienen, por lo general, mayor peso específico.

Para reconocer el peso específico:

Con un poco de práctica se puede calcular el peso específico de los minerales sosteniéndolos en la mano. Si un mineral parece tan pesado como las rocas comunes que se han manejado, por ejemplo, una roca ígnea (Andesita) con una densidad de 2,7, su peso específico estará probablemente en algún punto entre 2,5 y 3,0. Algunos minerales metálicos tienen el doble o el triple del peso específico de los minerales que constituyen rocas comunes. La galena, mena de plomo, tiene un peso específico de unos 7,5, mientras que el peso específico del oro de 24 quilates es cercano a 20.

DENSIDAD EN G/CM ³	MINERAL
2,65	Cuarzo
2,5	Feldespato
2,6 - 2,8	Plagioclasa
4,47	Aritina
4,9	Magnetita
5,0 - 5,2	Pirita
19,3	Oro

EXFOLIACIÓN

Si al aplicar la fuerza necesaria un mineral se rompe dejando dos superficies planas, se dice que posee exfoliación, es decir, la propiedad de partirse en direcciones preferentes. No todos los minerales la presentan y solo un pequeño porcentaje la muestra en un grado eminente. Los que no la tienen, suelen presentar fractura.

Las superficies de exfoliación son siempre paralelas a caras reales o posibles del cristal. Pueden ser superficies perfectas, como el caso de la mica, o más o menos definidas, como en el caso del berilio y la apatita.

En general, esta es consecuente con la simetría, de manera que, si se trata de un mineral de una estructura octaédrica, deben distinguirse tres direcciones de exfoliación simétricas a la primera. Si es una dodecaédrica, existen cinco direcciones similares a la primera.

La exfoliación se relaciona con la estructura del cristal, ya que este es más débil en ciertas *direcciones* que en otras. Esta es una propiedad direccional que, en el caso de existir, determina que en todo el cristal cualquier plano paralelo a ella es un plano de exfoliación en potencia.

Para reconocer tipos y grados de exfoliación:

Los grados de exfoliación se distinguen de la siguiente forma:

- **Excelente:** se exfolia en láminas en un sentido (grafito, yeso).
- **Perfecta:** el mineral se exfolia en formas regulares delimitadas por los planos de exfoliación como cubos (galena y halita) o romboedros (calcita). En este caso, los planos de exfoliación tienen un brillo nacarado.
- **Buena:** los planos de exfoliación son menos visibles y no siempre son perfectamente rectos (feldespato, anfíbola, piroxeno). Los planos de exfoliación tienen un brillo vítreo.
- **Imperfecta:** la exfoliación no es neta; los planos de separación presentan, en general, una superficie irregular (azufre, apatita).
- **Muy imperfecta:** no hay exfoliación, sino fracturas.

FRACTURA

Cuando los minerales al romperse no exhiben exfoliación, como el cuarzo, se dice que tienen fractura.

Para reconocer tipos de fractura:

Las diferentes clases de fractura son:

- **Concoidal:** en este caso la fractura tiene superficies suaves, lisas, como la cara interior de una concha. Esto se observa en el vidrio y el cuarzo.
- **Fibrosa o astillosa:** las rocas se fracturan en astillas o fibras.
- **Ganchuda:** la roca se rompe en una superficie irregular, dentada, con filos puntiagudos (plata, oro).
- **Desigual o irregular:** la roca se rompe en superficies bastas e irregulares (pirita).
- **Terrosa:** la roca se fractura en forma de terrones (caolinita).

PROPIEDADES ELECTROMAGNÉTICAS DE LOS MINERALES

Todos los minerales están afectados por un campo magnético. Los que son atraídos ligeramente por un imán, se llaman paramagnéticos, mientras que los que son repelidos se llaman diamagnéticos.

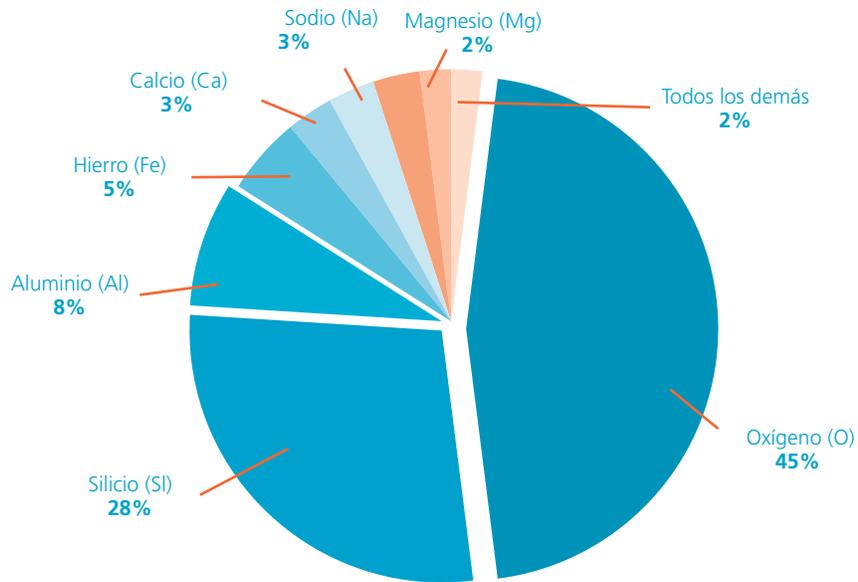
La magnetita y pirotita son los únicos minerales magnéticos comunes.

A su vez, los minerales tienen diferentes capacidades para conducir la corriente eléctrica. Los cristales de metales nativos y muchos sulfuros son buenos conductores de la electricidad y, por el contrario, los minerales tales como las micas son buenos aislantes, dado que no conducen la electricidad.

MINERALES FORMADORES DE ROCA

A los cerca de 4.000 minerales conocidos, cada año se agregan unos 40 o 50 nuevos. Sin embargo, solo una decena constituye la mayor parte de la corteza terrestre, por lo que se les clasifica como minerales formadores de rocas. Solamente ocho elementos constituyen la mayor parte de estos minerales y representan más del 98% del peso de la corteza continental.

CLASIFICACIÓN DE MINERALES FORMADORES DE ROCA SEGÚN COMPOSICIÓN QUÍMICA



Con excepción de los gases libres en la atmósfera, cerca de veinte elementos, de forma no combinada, se encuentran como minerales. Generalmente se les conoce como minerales en estado nativo. Entre ellos, hay minerales tan importantes como el cobre, oro y plata.

TABLA DE ELEMENTOS QUE POR SÍ SOLOS CONSTITUYEN

ESTADO	NOMBRE	SÍMBOLO
Nativos	Oro	Au
	Plata	Ag
	Cobre	Cu
	Plomo	Pb
	Platino	Pt
	Iridio	Ir
	Osmio	Os
	Hierro	Fe
Seminativos	Arsénico	As
	Antimonio	Sb
	Bismuto	Bi
	Azufre	S
No Nativo	Carbono en forma de diamante y grafito	C

TIPOS DE MINERALES SEGÚN ELEMENTOS PRESENTES

TIPO DE MINERAL	CARACTERÍSTICAS	EJEMPLO
Sulfuros	Están formados por las combinaciones de los metales con azufre, selenio o telurio. La mayoría de las menas metálicas son sulfuros.	Calcopirita (S_2CuFe)
Sulfosales	Minerales compuestos por plomo, cobre o plata en combinación con azufre y antimonio, arsénico o bismuto.	Proustita
Óxidos	Minerales que contienen un metal combinado con el oxígeno; por ejemplo, hematina (Fe_2O_3).	Cuprita (Cu_2O)
Hidróxidos	Óxidos metálicos que contienen agua o hidroxilo (OH) como radical importante.	Bauxita
Haluros	Comprende los cloruros, fluoruros, bromuros y yoduros naturales.	Atacamita $ClCu(OH)_3$
Carbonatos	Los carbonatos son minerales cuya fórmula incluye el radical carbonato CO_3 .	Calcita ($CaCO_3$)
Nitratos	Pueden ser considerados como sales del ácido nítrico y contienen el radical NO_3^- .	Nitro Salitre KNO_3
Boratos	Contienen el grupo BO_3 .	Bórax ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$)
Sulfatos	Sus fórmulas incluyen el radical sulfato SO_4 .	Yeso
Fosfatos	Sus fórmulas incluyen el radical fosfato PO_4 .	Apatito $(PO_4)_3(Cl,F)Ca_5$
Tungstos	Contienen el radical WO_4 .	Tungstos
Silicatos	Forman el grupo químico más importante entre los minerales. Contienen varios elementos, de los cuales son frecuentes el sodio, potasio, calcio, magnesio, aluminio y hierro, en combinación con el silicio y oxígeno.	Cuarzo

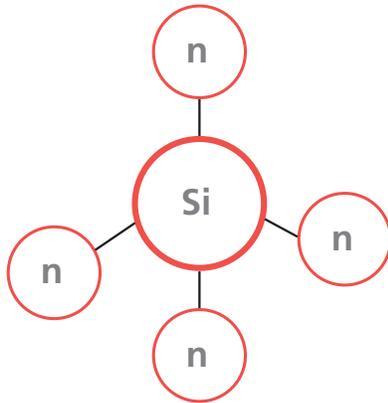
LOS SILICATOS

La mayoría de los silicatos se forman (cristalizan) en la medida en que se enfría la roca fundida. Este proceso puede producirse en la superficie terrestre, cerca de ella (con baja temperatura y presión) o a grandes profundidades con temperatura y presión elevadas.

Durante la cristalización de la roca fundida, tanto en el ambiente como la composición química, determina,

en gran medida, los minerales que se producen. Por ejemplo, el silicato olivino cristaliza a temperaturas mucho más bajas que otros silicatos.

Algunos silicatos se forman en la superficie terrestre a partir de productos meteorizados de silicatos más antiguos. Otros se originan bajo presiones extremas, en procesos asociados con la formación de montañas. Por



lo tanto, cada silicato tiene una estructura y composición química que revela las condiciones en las cuales se desarrolló, de tal manera que los geólogos pueden identificarlas tras un examen cuidadoso.

Esto es importante para comprender el origen de la formación de las rocas, asociada a la presencia de sílice, ya que este determina a qué presión, temperatura y profundidad se formaron.

ESTRUCTURA QUÍMICA DE LOS SILICATOS

Los silicatos frecuentemente forman estructuras químicas muy complejas. Su unidad fundamental es un átomo de silicio (Si) unido a cuatro átomos de oxígeno dispuestos alrededor de él, de la misma manera que con los vértices de un tetraedro. Las diferentes formas de unión de los tetraedros en la estructura del cristal dan origen a los diversos tipos de silicatos.

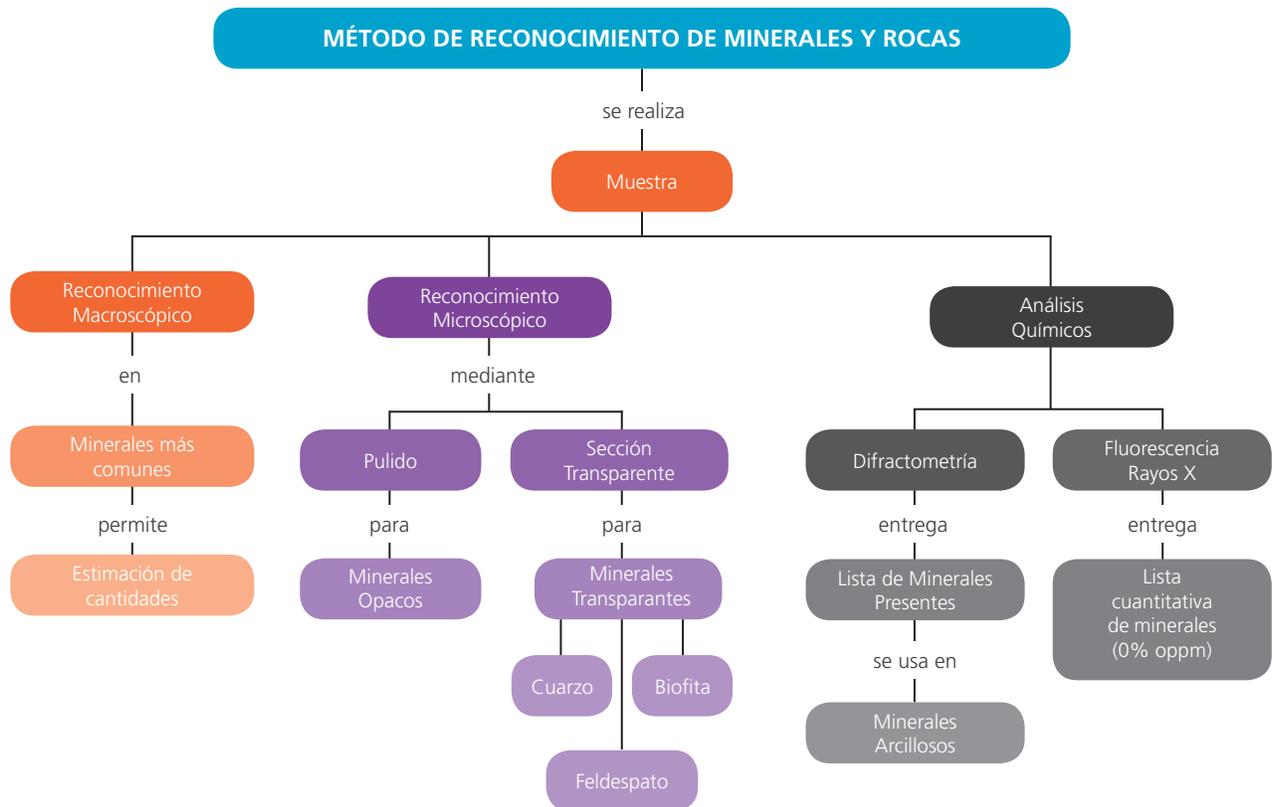
Además del oxígeno y del silicio, la mayor parte de los silicatos, excepto el cuarzo, tiene uno o más elementos necesarios para establecer la neutralidad eléctrica. Esos elementos adicionales dan lugar a la gran variedad de silicatos y a sus propiedades.

La siguiente tabla muestra la complejidad de la estructura de los diferentes silicatos, en forma progresiva hacia la zona inferior.

SILICATO	FÓRMULA IDEALIZADA	EXFOLIACIÓN	ESTRUCTURA DE SILICATOS
Olivino	$(Mg,Fe)_2SiO_4$	Ninguna	Tetraedro simple
Grupo de los piroxenos (augita)	$(Mg,Fe)SiO_3$	Dos planos en ángulos rectos	Cadenas sencillas
Grupo de las anfíbolos (hornoblenda)	$Ca_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$	Dos planos a 60° y 120°	Cadenas dobles
Micas Biotita Moscovita	$K(Mg,Fe)_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$ $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	Un plano	Láminas
Feldespatos Ortosa Plagioclasa	$KAlSi_3O_8$ $(Ca,Na)AlSi_3O_8$	Dos planos a 90°	Redes tridimensionales
Cuarzo	SiO_2	Ninguna	Redes tridimensionales (vista expandida)

RECONOCIENDO LOS SILICATOS

Dado que los elementos silicio-oxígeno son de enlaces fuertes, los silicatos tienden a exfoliarse entre las uniones (enlace) silicio-oxígeno más que a nivel de elementos. Por ejemplo, las micas tienen una estructura laminar y, por tanto, tienden a exfoliarse en placas planas. El cuarzo, que tiene enlaces silicio-oxígeno de igual fuerza en todas direcciones, no tiene exfoliación, pero se fractura.



3. Las Rocas

Considerando que la Industria Minera está relacionada con la extracción de recursos minerales no renovables, el estudio de las rocas tiene especial importancia, ya que permitirá sacar provecho económico de estas mediante los diferentes procesos de explotación y procesamiento de minerales con valor económico.

Generalmente el estudio de las rocas es realizado por profesionales llamados "geólogos", los que se dedican en especial al estudio de:

- El origen de formación de las rocas y yacimientos.
- Las características macroscópicas y microscópicas de las rocas.
- El estudio químico y físico de las rocas.
- Los minerales presentes en las rocas con interés económico.

El correcto estudio y comprensión de las rocas es fundamental para las etapas posteriores de explotación y beneficio.

Una roca es un compuesto heterogéneo, formado por un agregado de dos o más minerales, y se puede encontrar en estado sólido o en estado líquido. Así, la arena es una roca y también el petróleo, aunque se encuentre en estado líquido.

Una roca puede estar formada por un solo tipo de mineral (roca monomineralica) como es el caso de la piedra caliza (compuesta de calcita), y de la arenisca pura (compuesta de cuarzo).

También una roca puede estar compuesta de varios tipos de minerales (roca polimineralica), como es el caso del granito, compuesto principalmente de cuarzo, feldespato, mica y otros minerales en menor cantidad, tales como, anfíbol, apatita y circón.

En definitiva, las características de las rocas dependen de la composición química de los minerales que la forman y de las condiciones que prevalecieron durante su génesis.

CICLO GEOLÓGICO Y PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN

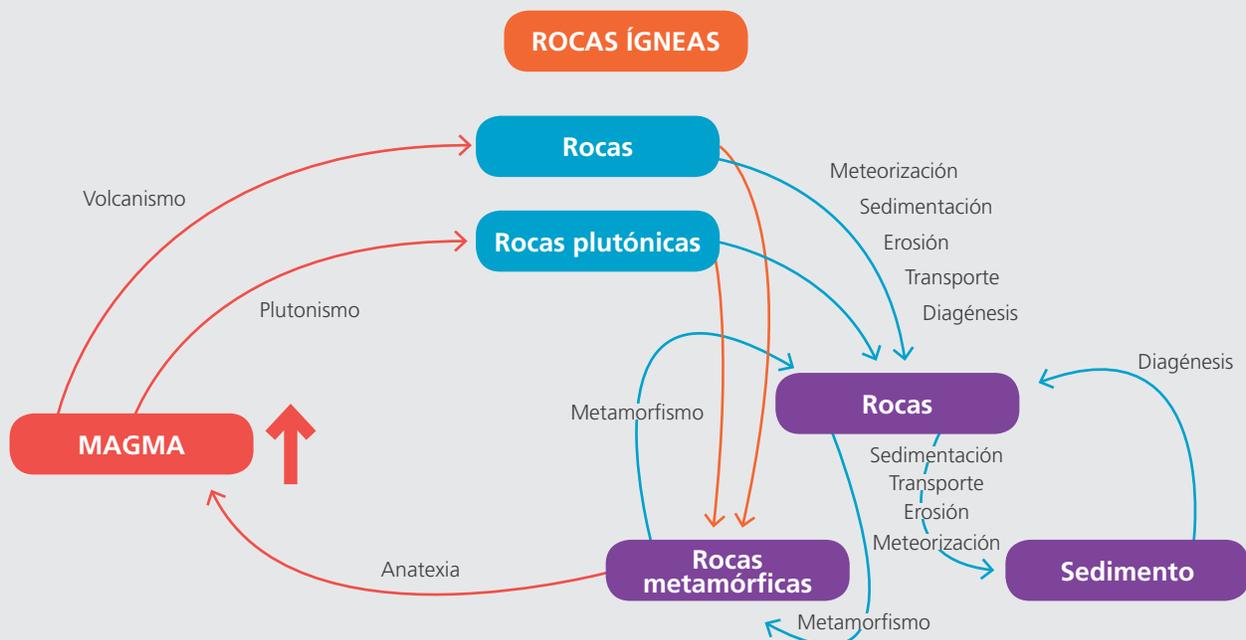
A escala humana las rocas nos parecen indestructibles, sin embargo, desde los tiempos geológicos, las rocas están en una continua y permanente transformación.

Por ejemplo, el granito, considerado por las antiguas civilizaciones como un signo de la eternidad, en el plazo de largos periodos de tiempo se rompe y libera el cuarzo que luego formará la arena, la arcilla y otros tipos de rocas. De esta forma surge el concepto del ciclo geológico, propuesto por primera vez por James Hutton hace unos 200 años, el cual considera las relaciones que se mantienen entre la superficie y el interior de la tierra

como un proceso cíclico, que va dando origen a los diferentes tipos de rocas, esto es, las ígneas, sedimentarias y metamórficas.

Las rocas presentan procesos continuos de transformación dando origen al ciclo geológico, en el que se presentan esquemáticamente las relaciones entre los distintos tipos de ellas y los procesos mediante los cuales se originan.

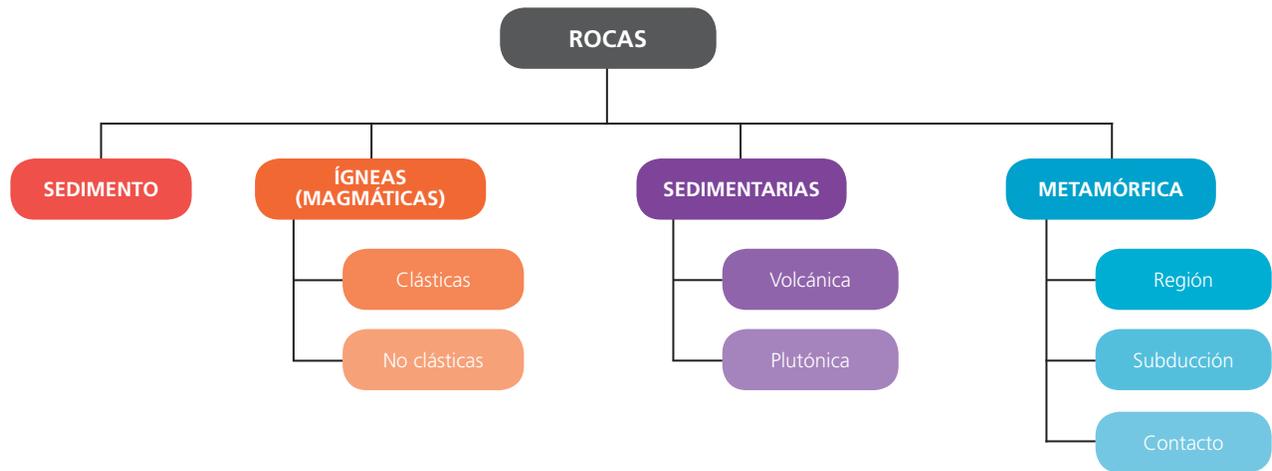
En el siguiente esquema se ilustra la interacción entre los procesos que tienen lugar tanto en la superficie terrestre y que dan origen a los diferentes tipos de rocas. Como se puede observar, cada uno de los tipos de rocas está vinculado con otro grupo, a través de procesos como la meteorización, la sedimentación, el transporte, la erosión, entre otros, los cuales explican las continuas transformaciones.



TIPOS DE ROCAS

En general, de acuerdo con su origen se pueden distinguir tres grupos de rocas, los cuales, a su vez, pueden presentar subcategorías.

- **Las rocas ígneas** se forman cuando el magma, o roca fundida al interior de la tierra, se enfría y se solidifica.
- **Las rocas sedimentarias** se forman cuando los sedimentos (materiales depositados) se comprimen y cementan en un proceso llamado litificación.
- **Las rocas metamórficas** se forman cuando los diferentes tipos de roca (sedimentarias, ígneas e incluso las metamórficas) sufren cambios físicos, químicos o mineralógicos debido a la acción de la temperatura y/o presión.



ROCAS ÍGNEAS

En la profundidad de la tierra, la temperatura, la presión y la composición química del magma, hace que la formación de las rocas "intrusitas" sea muy particular y diferente de cómo se forman las rocas en la superficie por efectos de la depositación (rocas sedimentarias) y/o por los efectos de la presión y la temperatura (rocas metamórficas).

PROCESOS DE FORMACIÓN DE LAS ROCAS ÍGNEAS

Cuando el magma se va enfriando paulatinamente en la corteza terrestre se da origen a las rocas plutónicas. Si bien estas rocas se encuentran principalmente en la corteza terrestre, también podemos encontrarlas en la superficie, a causa de un fenómeno llamado levantamiento. Mientras mayor sea la profundidad a la que se encuentre el material magmático, más tiempo demora en producirse el enfriamiento y la formación de las rocas plutónicas.

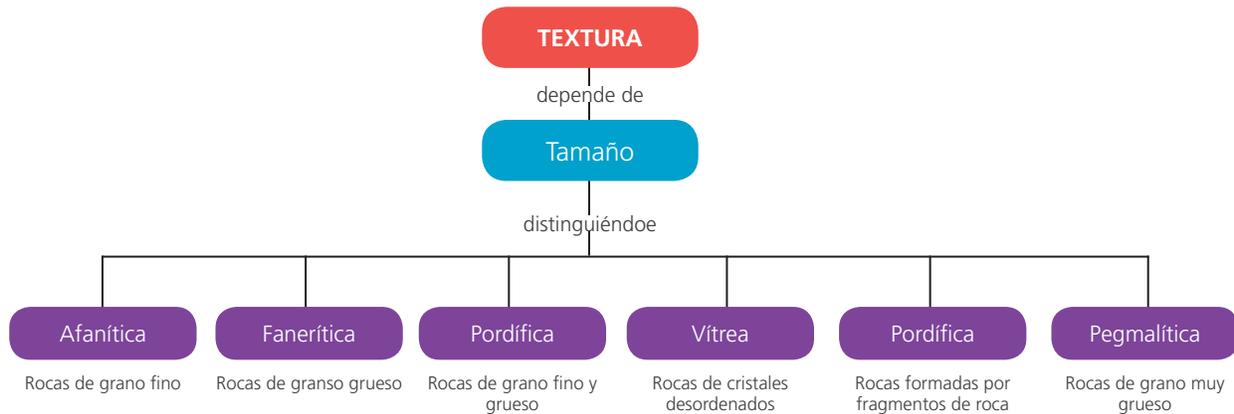
A través de las erupciones volcánicas, el magma sube hacia la superficie de la Tierra donde se enfría rápida y repentinamente originando las rocas volcánicas.

Sin embargo, en una erupción volcánica no todo el magma llega a la superficie, parte de estos materiales magmáticos se enfrían y solidifican en los conductos de salida o chimeneas antes de alcanzar la superficie; es así como se forman las rocas subvolcánicas. En este caso, el enfriamiento de este material es mucho más lento, de manera que la cristalización es de mayor perfección y se caracteriza por presentarse en formas cilíndricas.

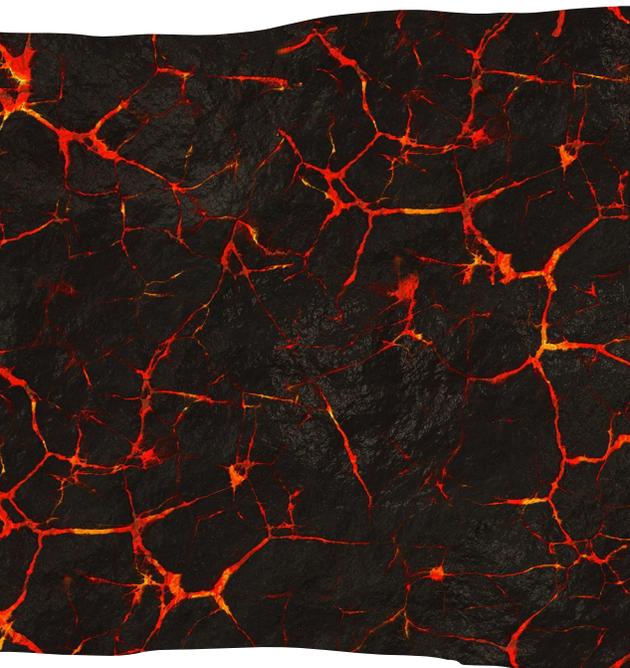
Existen diferentes criterios mediante los cuales se realiza la clasificación de las rocas, según los minerales que las constituyen: la textura y su composición química.

CLASIFICACIÓN SEGÚN LA TEXTURA

La textura está dada por el tamaño de los cristales que componen la roca.



El tamaño de los cristales, a su vez, es dependiente de ciertos factores, principalmente:



VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO DEL MAGMA

Este es el factor más significativo en la determinación de la textura de las rocas ígneas, y se relaciona directamente con la profundidad bajo la corteza terrestre a la cual ocurre el proceso de enfriamiento, distinguiéndose tres velocidades.

El enfriamiento lento (millones de años) permite la migración de los iones de los minerales a grandes distancias, de manera que ellos pueden unirse con alguna de las escasas estructuras cristalinas existentes, y formar cristales de mayor tamaño. Por consiguiente, el enfriamiento lento promueve el crecimiento de menos cristales, pero de mayor tamaño.

Cuando el enfriamiento se produce más rápido (por ejemplo, en una delgada colada de lava), los iones pierden rápidamente su movilidad y se combinan con facilidad. Esto genera numerosos núcleos embrionarios, que compiten por los iones disponibles. Como resultado de esto se forma una masa sólida de pequeños cristales intercrecidos.

Cuando el material fundido se enfría rápidamente, puede no haber suficiente tiempo para que los iones se dispongan en una red cristalina, formándose rocas como la piedra de pómez.

Con un enfriamiento rápido también se forman rocas compuestas por iones desordenados que no están dispuestos en una forma lógica, a éstos se les denomina vidrios.

CANTIDAD DE SÍLICE PRESENTE EN EL MAGMA

De acuerdo con la cantidad de sílice presente en el magma, se distinguen dos tipos de magma, uno rico en sílice o magma granítico y uno pobre en sílice, llamado magma basáltico, que forma lavas muy fluidas.

En general, los magmas graníticos tienden a formar rocas de estructuras largas y en cadena, antes de que la cristalización sea completa. Por su parte, el magma basáltico suele generar rocas cristalinas de grano fino. Sin embargo, en la superficie de la lava basáltica a veces el enfriamiento es lo suficientemente rápido como para dar lugar a una fina capa vítrea.

CANTIDAD DE GASES DISUELTOS EN EL MAGMA

Cuando existe material expulsado en forma violenta desde los volcanes, las lavas junto a los gases se transforman en piroclastos. Este tipo de rocas posee un importante porcentaje de sílice cristalizada por el violento cambio de temperatura y presión, solidificándose y formando este tipo de rocas ígneas o de origen magmático.



TIPO DE TEXTURA DE LAS ROCAS ÍGNEAS

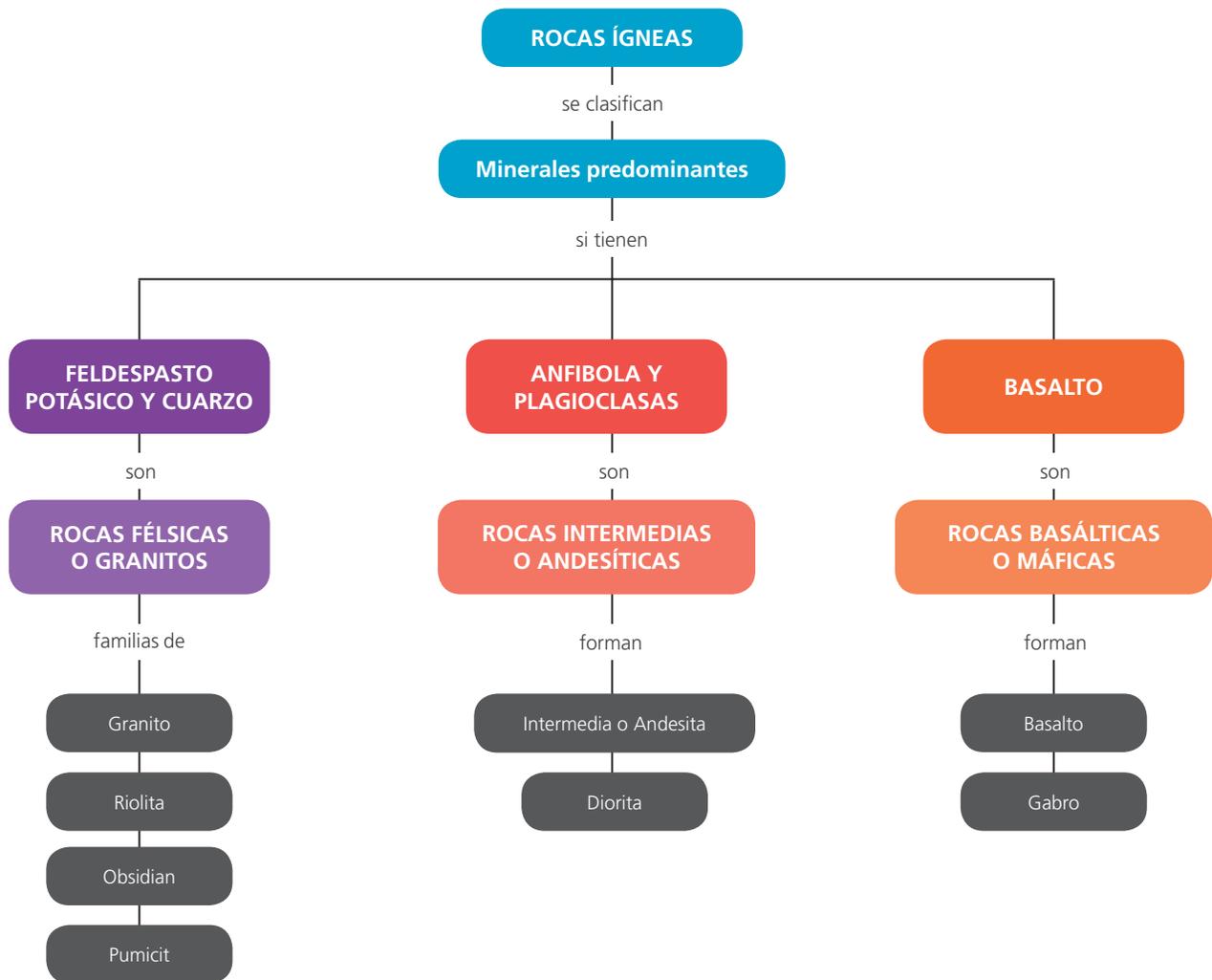
TEXTURA	ENFRIAMIENTO	CARACTERÍSTICAS GENERALES	RECONOCIMIENTO
Afanítica Rocas de grano fino.	Relativamente rápido	Cristales demasiado pequeños, por lo que los minerales no se distinguen a simple vista.	Son rocas de grano fino, en muchas de las cuales se pueden observar vesículas o espacios dejados por las burbujas de gas, esféricas o alargadas, que han escapado conforme se solidificó el magma. Las vesículas son más abundantes en la parte superior de las coladas de lava, donde el enfriamiento se produce lo bastante rápido como para congelar la lava y conservar las aberturas producidas por las burbujas del gas en expansión. Ejemplo: granito.
Fanerítica Rocas de grano grueso.	Lento	Se trata de rocas de grano grueso, debido a que las grandes masas de magma solidifican lentamente, muy por debajo de la superficie terrestre.	Las rocas son una masa de cristales entrecrecidos, aproximadamente todos del mismo tamaño y lo suficientemente grandes como para poder identificar los minerales individuales a simple vista. Aparecen en la superficie, sólo después de que la erosión ha eliminado el recubrimiento de las rocas que rodearon la cámara magmática. Ejemplo: Diorita.
Porfídica Rocas de grano fino y grueso.	A diferentes temperaturas y velocidades	Los diversos minerales cristalizan a diferentes velocidades y temperaturas, por lo que a veces algunos ya tienen un tamaño significativo cuando otros recién se están formando.	Son rocas con grandes cristales (fenocristales) incrustados en una matriz de cristales más pequeños (pasta). Ello se debe a que el magma que contiene algunos cristales grandes cambia de condiciones por efecto de presión o temperatura, y la porción fundida de lava se enfría rápidamente. Ejemplo: granodiorita.
Vítrea Rocas de cristales desordenados.	Muy rápido	Durante algunas erupciones volcánicas la roca fundida es expulsada hacia la atmósfera, donde se enfría muy rápido. Se habla de textura vítrea porque los iones se "congelan"	En general, los magmas con un elevado contenido en sílice tienden a formar estructuras largas y en cadena, antes de que la cristalización sea completa. Estas estructuras, a su vez, impiden el transporte iónico y aumentan la viscosidad del magma. Por el contrario, el magma basáltico forma lavas muy fluidas que, al enfriarse, suelen generar rocas cristalinas de grano fino. Sin embargo, en la superficie de la lava basáltica a veces el enfriamiento es lo suficientemente rápido como para dar lugar a una fina capa vítrea. Ejemplo: Piedra de Pómes.

TEXTURA	ENFRIAMIENTO	CARACTERÍSTICAS GENERALES	RECONOCIMIENTO
<p>Piroclástica Rocas formadas por fragmentos de roca y otros materiales de erupciones.</p>	<p>Muy rápido</p>	<p>Se forman al consolidarse fragmentos expulsados durante erupciones volcánicas. Estos pueden ser cenizas finas, gotas fundidas o grandes bloques angulares arrancados de las paredes de la chimenea volcánica.</p>	<p>Una roca piroclástica muy frecuente es la que se compone de delgadas hileras de vidrio que permanecieron lo suficientemente calientes durante su vuelo como para cementarse después del impacto. Otras piroclásticas están compuestas por fragmentos que se solidifican antes del impacto y se cementan algún tiempo después. Como están formadas por partículas o fragmentos individuales más que de cristales interconectados, sus texturas suelen ser más parecidas a las de rocas sedimentarias que de otras ígneas.</p> <p>Una de las rocas piroclásticas más comunes, es la toba, que se compone fundamentalmente de diminutos fragmentos del tamaño de cenizas que se cimentaron después de su caída. Cuando las partículas de cenizas permanecieron lo suficientemente calientes como para fundirse, la roca se denomina toba soldada. Aunque éstas son fundamentalmente diminutos copos vítreos, pueden contener fragmentos de pumicita del tamaño de una nuez y otros fragmentos de roca.</p>
<p>Pegmatítica Rocas de grano muy grueso</p>	<p>Lenta</p>	<p>La última etapa de cristalización en un ambiente rico en líquidos, venas cerca de los bordes de cuerpos magmáticos, potencia la migración iónica por lo que se crean grandes cristales que forman rocas.</p>	<p>Son rocas compuestas por cristales de tamaños mayores a un centímetro de diámetro, interconectados entre sí. Ejemplo: Andesita.</p>

SEGÚN LA COMPOSICIÓN MINERAL

La mayoría de las rocas magmáticas de la Tierra, está constituida principalmente por silicato y cuarzo, o solo por minerales de silicato, siendo normalmente el óxido de silicio (SiO_2) el componente dominante.

En la mayoría de estas rocas, más de 90% del peso de minerales corresponden a silicato y cuarzo, o sólo a silicato, en menor proporción se encuentran óxidos de Fe (FeO_2) y de Ti (TiO_2), y en concentraciones aún menores, fosfato de calcio y otros minerales.



ROCAS FÉLSICAS O GRANITOS

Las rocas ígneas de composición granítica son aquellas donde predominan los minerales feldespato potásico y cuarzo. También se las denomina félsicas, término derivado de feldespato y sílice (cuarzo). Estas rocas pueden contener, en cantidades menores, otros minerales, como la moscovita, la biotita, la anfíbola y plagioclasa, rica en sodio.

Las rocas graníticas forman familias de rocas las que tienen características específicas que permiten su reconocimiento.

TIPOS O FAMILIAS DE ROCAS FÉLSICAS O GRANITOS

	MINERALES	TEXTURA	COLOR	OBSERVACIONES
Granito	<p>Predominantes: cuarzo (25 a 35%) feldespato potásico (50%)</p> <p>Secundarios: plagioclasa sódica. moscovita biotita (silicato oscuro) anfíbola (silicato oscuro).</p>	<p>Textura fanerítica, con cristales de cuarzo, de forma esférica y cristales de feldespato más rectangulares que esféricos.</p> <p>Si los cristales de feldespato tienen un centímetro o más de longitud en una matriz de grano grueso de cuarzo y anfíbola, el granito puede presentar textura porfídica.</p>	<p>Cristales de cuarzo, suelen ser vítreos y de color claro a gris claro.</p> <p>Cristales de feldespato: No son vítreos, y su color varía de blanco a gris o rosado salmón.</p> <p>Cuando se mezclan con cantidades menores de silicatos oscuros, tiene un color gris claro (los componentes oscuros se destacan más).</p> <p>Cuando predomina el feldespato potásico rosado oscuro, el granito parece casi rojizo.</p>	<p>Es la más conocida de las rocas ígneas, por su belleza natural y abundancia en la corteza continental.</p> <p>Es una práctica común entre los geólogos aplicar el término granito a cualquier roca intrusiva de grano grueso compuesta fundamentalmente de silicatos claros.</p>
Riolita	<p>Es un equivalente volcánico de grano fino mineralógicamente idéntico al granito.</p>	<p>Suele tener textura afanítica y contener fragmentos vítreos y huecos (enfriamiento rápido en la superficie). En este caso, los ferrocristales suelen ser pequeños y de feldespato potásico o cuarzo.</p>	<p>Los silicatos claros explican su color café claro a rosa o, a veces, un gris muy claro.</p>	<p>A diferencia del granito, la riolita es bastante infrecuente, salvo en el parque Yellowstone.</p>

	MINERALES	TEXTURA	COLOR	OBSERVACIONES
Obsidiana		Roca vítrea	<p>Si bien la sílice es clara, la obsidiana es oscura por los iones metálicos.</p> <p>Normalmente, se trata de cristales de color negro o café rojizo.</p> <p>Al examinar un borde delgado de un fragmento de obsidiana, ésta es casi transparente.</p>	<p>Su composición es más semejante a la de las rocas ígneas claras, como el granito, que las rocas oscuras de composición basáltica.</p> <p>Normalmente se forma cuando la lava rica en sílice se enfría rápidamente.</p>
Pumicita	Roca volcánica que se forma cuando grandes cantidades de gases escapan a través de la lava para generar una masa gris y porosa.	Roca de textura vítrea que suele flotar en el agua ya que es muy porosa. Algunas muestras tienen agujeros muy evidentes; otras, se ven como fragmentos finos de cristal entretejido.	Generalmente es oscura, con porcentajes importantes de vidrio presentes en la roca.	Normalmente va asociada a la obsidiana



ROCAS INTERMEDIAS O ANDEFÍICAS

Las rocas ígneas intermedias son rocas volcánicas que contienen minerales que se encuentran cerca de la mitad de la serie de Bowen principalmente anfíbola y las plagioclasas. Su nombre proviene de la roca volcánica común andesita, o intermedias.

TIPO DE TEXTURA DE LAS ROCAS ÍGNEAS

	MINERALES	TEXTURA	COLOR	OBSERVACIONES
Andesita	Roca de origen volcánico compuesta principalmente de anfíbola y plagioclasas.	Puede tener grano fino, si bien es frecuente que muestre una textura porfídica.	El grano fino suele asociarse al color gris medio. Si la textura es porfídica, los ferrocristales suelen ser claros y rectangulares de plagioclasa, o negros y alargados de hornablenda.	Su nombre procede de la cordillera de los Andes de América del Sur, donde es frecuente en los volcanes. También es común en estructuras volcánicas del océano Pacífico.
Diorita	Roca intrusiva compuesta	De grano grueso. Su aspecto es similar al granito gris, del que se distingue por la ausencia de cristales de cuarzo visibles.	Como los granos de fedespalto de color claro y cristales de anfíbola de tono oscuro se combinan en proporciones similares, la diorita tiene un aspecto de "sal y pimienta".	Presente en los yacimientos de cobre en Chile, asociados a los cuerpos porfíricos de gran magnitud.

ROCAS MÁFICAS O BASÁLTICA

Los primeros minerales que cristalizan (olivino, piroxeno y plagioclasa) tienen un alto contenido en hierro, magnesio o calcio y un bajo contenido en sílice. El basalto es una roca común que tiene esta composición mineral, por lo que el término basáltico se utiliza a menudo para describir cualquier roca que tenga una composición mineral similar. Además, por tener un alto porcentaje de minerales ferromagnesianos, también se denominan rocas máficas.

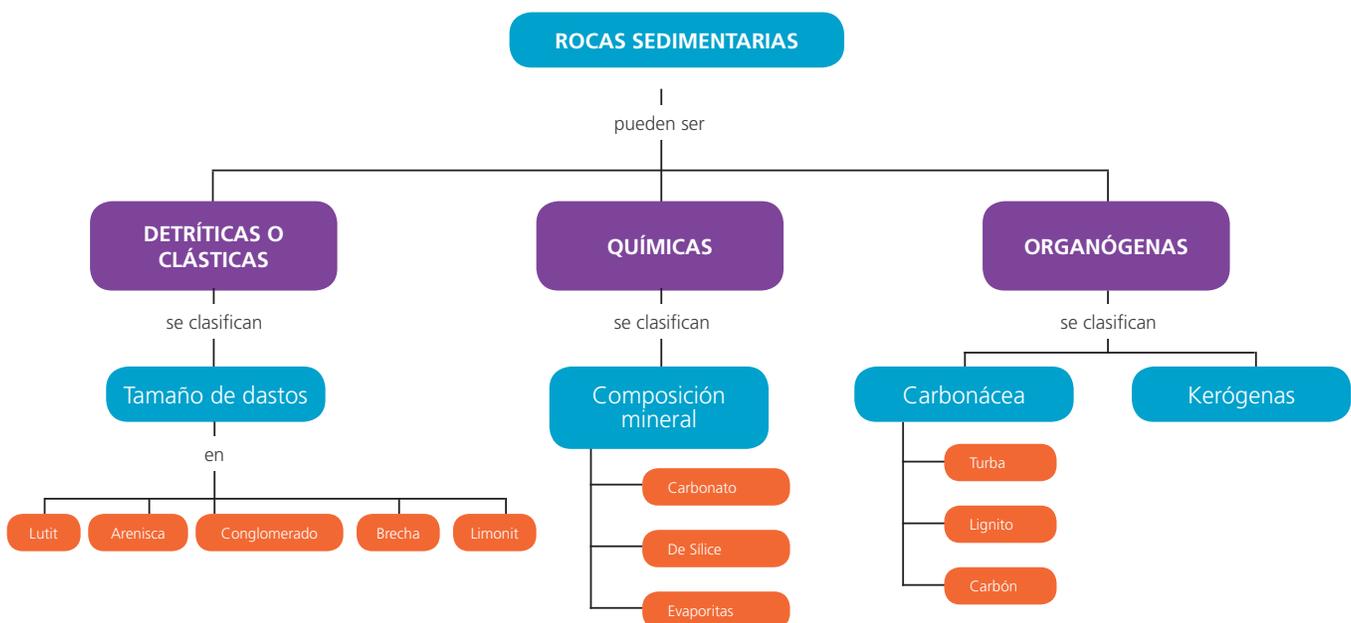
Por su contenido en hierro, las rocas máficas son normalmente más oscuras y densas que otras ígneas que se encuentran en la superficie de la Tierra.

TIPO DE TEXTURA DE LAS ROCAS ÍGNEAS

	MINERALES	TEXTURA	COLOR	OBSERVACIONES
Basalto	Roca volcánica compuesta fundamentalmente por piroxeno y plagioclasa rica en calcio, con cantidades menores de olivino y anfíbola.	De grano fino. También puede ser porfídica.	Va de verde oscuro a negro. En el caso de una textura porfídica, el basalto suele contener ferrocristales pequeños de plagioclasa cálcica de colores claros o ferrocristales de olivino de aspecto vítreo embebidos en una pasta oscura.	Es la roca ígnea extrusiva más común. Muchas islas volcánicas, (Hawai e Islandia), y las capas superiores de la corteza oceánica son de basalto.
Gabro	Es el equivalente intrusivo del basalto y está compuesto fundamentalmente de piroxeno y de plagioclasa rica en calcio.	Grano medio	Al igual que el basalto, también es de color verde muy oscuro a negro.	Aunque no es un constituyente común de la corteza continental, representa un porcentaje significativo de la corteza oceánica.

ROCAS SEDIMENTARIAS

Tal como lo dice su nombre, estas rocas se forman a partir de sedimentos, materiales que se obtienen producto de la destrucción de rocas sólidas, o elementos que, de alguna forma se han depositado y con el transcurso del tiempo, y han formado un compuesto sólido con características de roca.



Como lo explica la infografía del ciclo geológico, las rocas que están en la superficie se encuentran expuestas a procesos de meteorización y erosión que las fraccionan hasta obtener sedimentos que son transportados a lugares donde se depositan, precipitan y forman nuevas rocas. Los procesos sedimentarios son fenómenos complejos que dependen de muchos factores, tales como, el clima (temperatura y precipitaciones) y las características de la roca (dureza, resistencia a la meteorización, composición mineral, porosidad, desgaste estructural, entre otras).

Los procesos de formación de las rocas sedimentarias se representan en el siguiente esquema:

PROCESO DE METEORIZACIÓN

Uno de los procesos más importantes de la formación de las rocas sedimentarias es el de meteorización, el cual consiste en la destrucción de rocas sólidas por acción de fuerzas químicas, físicas o biológicas. Se conocen tres tipos de meteorización:

METEORIZACIÓN MECÁNICA

Uno de los procesos más importantes de la formación de las rocas sedimentarias es el de meteorización, el cual consiste en la destrucción de rocas sólidas por acción de fuerzas químicas, físicas o biológicas. Se conocen tres tipos de meteorización:



METEORIZACIÓN ORGÁNICA BIOLÓGICA

Los microorganismos (bacterias) y la microflora que se desarrollan sobre las rocas liberan ácidos en el ambiente como parte de su metabolismo, los que tienen efectos sobre las rocas. Si bien estos procesos no son de gran envergadura, es importante considerarlos.

El tipo y grado de meteorización depende del clima (temperatura y precipitaciones) y características de la roca, tales como, la dureza, la composición mineral, la porosidad, y el desgaste estructural.

Durante la meteorización de una roca se cambia el contenido modal de los minerales. Primero se ven afectadas las plagioclasas y después los feldespatos y, durante este proceso, se forman minerales nuevos como el caolín.

DIAGÉNESIS

La Diagénesis puede ser definida como la inclusión de los procesos fisicoquímicos que ocurren dentro de un sedimento, después de su depositación y antes que comience su metamorfosis como producto del tiempo. Los primeros cambios diagenéticos tienen lugar en la superficie del sedimento y a menudo a través de desequilibrios inherentes entre las partículas sedimentarias y los depósitos medios.



Algunos cambios diagenéticos tienen lugar debajo de la superficie donde la conexión con los depósitos medios es restringida, siguiendo el desarrollo local del ambiente químico dentro de los poros producidos por el agua. Los cambios en los poros por acción química resultan de la sedimentación química de los componentes sedimentarios.

Pero la influencia dominante en los sedimentos de tipo sepultados se encuentra en la actividad bacteriana. La bacteria produce su energía por oxidación de la materia orgánica de la cual extrae oxígeno, ambos como resultado de la acción sobre los poros desde donde reducen realmente iones y moléculas. Los resultados de la deflexión de oxígeno e incremento de dióxido de carbono son factores dominantes en la primera diagénesis de algunos depósitos acuosos.

Los procesos así referidos pueden ser incluidos en la diagénesis química. Ellos son acompañados por una variación degradativa de la diagénesis física, involucrando la reorganización y compactación de estructuras primarias y resultando una reducción en las distancias interpartículas. En depósitos subacuáticos los espacios porosos reducidos causan expulsión o migración de fluidos a través de los poros, los cuales pueden llegar a involucrarse en diagénesis química.

Con el incremento de la profundidad de entierro, los sedimentos están sujetos a condiciones de mayor temperatura y presión. Ello favorece en gran medida la solución intergranular y recristalización junto con la formación de nuevos minerales, con estabilización del terreno, que es considerablemente diferente de aquel producto de una diagénesis de origen primaria.

Los efectos de circulación agua-tierra dependen de la mineralogía de las rocas. Por ejemplo, la roca arenisca (conteniendo cuarzo) puede llegar a tener pequeñas modificaciones o cambios debido a desintegraciones físicas producidas por el tiempo, donde algunos reactivos químicos de la roca, como los depósitos salinos, pueden causar una diagénesis química.

Para ello actúa la solución que incluye a todo el mineral removido sin que éste haya sido reemplazado por otro, y la Cementación que involucra la precipitación de material mineralógico en los espacios vacíos de sus depositaciones de origen diagenético. La modificación de la textura del mineral durante la diagénesis es denominada Neomorfismo.

Hasta donde la evidencia lo permite, los cambios neomórficos pueden ser adscritos a la recristalización, involucrando modificaciones texturales sin cambio en la composición del mineral. La precipitación de materia mineral durante la diagénesis es conocida como Autogénesis, y el mineral constituyente de las rocas sedimentarias puede ser clasificado como Primario o Autogénico.

Según su origen, en las rocas sedimentarias se pueden distinguir los siguientes grupos:

- **Rocas sedimentarias detríticas o clásticas**, originadas a partir de procesos físicos.
- **Rocas sedimentarias químicas**, originadas por precipitación de soluciones.
- **Rocas sedimentarias organógenas**, originadas por organismos directa o indirectamente.

ROCAS SEDIMENTARIAS DETRÍTICAS O CLÁSTICAS

Las rocas sedimentitas detríticas o clásticas se componen de fragmentos de rocas y minerales, formados a partir de la erosión de rocas anteriores y que han sido transportados por agua, viento o hielo para finalmente almacenarse mecánicamente.

Las rocas sedimentarias están compuestas por clastos minerales que son fragmentos de rocas insertos en una matriz de detritus y cemento. Este último se forma químicamente y actúa como pegamento.

Las propiedades de los clastos reflejan la historia y el ambiente donde se desarrolló la roca y, por lo tanto, la historia del transporte y las condiciones de sedimentación. Por ejemplo, los trozos de rocas o minerales blandos no soportan grandes distancias en el transporte fluvial, de manera que, si ciertas rocas presentan inclusiones de minerales blandos, el transporte fue de corta distancia.

Según el tamaño del clasto, se distinguen diferentes tipos de sedimentos, los que forman diferentes tipos de suelos como se señala en la siguiente tabla.

TAMAÑO (MM)	NOMBRE DEL CLASTO	NOMBRE DEL SEDIMENTO	NOMBRE DE LA ROCA
> 256	Bloque	Grava	Conglomerado
64 - 256	Guijón	Grava	Conglomerado
2 - 64	Guijarro	Grava	Conglomerado
1/16 - 2	Arena	Arena	Arenisca
1/256 - 1/16	Limo	Limo	Limonita
< 1/256	Arcilla	Arcilla	Lutita



CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS SEGÚN SEDIMENTOS Y TAMAÑO DEL CLASTO

TIPO	CARACTERÍSTICAS	RECONOCIMIENTO
Lutita	<p>Compuesta por partículas del tamaño de arcilla y limo, esta roca corresponde a más de la mitad de las rocas sedimentarias. Inicialmente sus partículas se orientan al azar, con muchos espacios que se llenan con agua. Conforme se apilan nuevas capas, el sedimento se compacta, las partículas se alinean en forma paralela, se amontonan, se reduce el tamaño de los espacios y se expulsa gran parte del agua.</p> <p>Los diminutos espacios que quedan entre las partículas no permiten la circulación fácil de las soluciones que contienen el material cementante. Por esto las lutitas se describen como débiles y, por consiguiente, no bien litificadas.</p>	<p>De acuerdo con la composición química relacionada a veces con el color, se puede dar información específica. Por ejemplo, si la lutita es negra, contiene abundante materia orgánica (carbono).</p> <p>Es común aplicar el término lutita a todas las rocas sedimentarias de grano fino, pero la lutita fisil debe ser capaz de escindirse en capas finas a lo largo de planos espaciales próximos y bien desarrollados (fisilidad). Si la roca se rompe en fragmentos o bloques, se aplica el nombre de lutita no fisil.</p> <p>Como sus espacios porosos microscópicos evitan la penetración de agua, a menudo forma barreras al movimiento subsuperficial de agua y petróleo.</p>
Arenisca	<p>En las areniscas predominan los clastos de tamaño arena, siendo las más abundantes después de la lutita.</p>	<p>Los depósitos de arena transportada por viento suelen estar mejor seleccionados que los depositados por corrientes de agua. Cuando los clastos se transportan sólo durante un tiempo relativamente breve y luego se depositan rápidamente, suelen producirse acumulaciones de sedimentos que muestran mala selección.</p> <p>Los granos redondeados indican que han sido transportados por aire o agua. El grado de redondez indica la distancia o el tiempo transcurrido. Los granos muy angulosos indican un transporte durante una distancia corta y tal vez por algún otro medio. Por ejemplo, movimiento de glaciares.</p> <p>El transporte prolongado lleva a la destrucción gradual de los minerales más débiles y menos estables, entre ellos los feldespatos y los ferromagnesianos. Dado que el cuarzo es muy duradero, suele sobrevivir las largas excursiones en un ambiente turbulento.</p>

TIPO	CARACTERÍSTICAS	RECONOCIMIENTO
Conglomerado y brecha	<p>El conglomerado consiste fundamentalmente en grava, con clastos grandes y redondeados. Es frecuente que estén mal seleccionados porque los huecos entre los grandes clastos de grava contienen arena o lodo.</p> <p>Si los clastos tienen bordes angulosos, corresponde a brecha.</p>	<p>En los conglomerados, los tamaños de los clastos pueden oscilar desde grandes cantos rodados a trozos tan pequeños como un poroto.</p> <p>En general, suelen ser lo suficientemente grandes como para poder identificarlos en los tipos de rocas distintivos, por lo que pueden ser valiosos para determinar las áreas de origen de los sedimentos.</p> <p>La grava se acumula en diversos ambientes, generalmente fluviales, y normalmente indica la existencia de pendientes acusadas (como en montañas) o corrientes muy turbulentas (como fuerte oleaje o costa rápida en erosión).</p>
Limonita	<p>Masa estalactítica con una dirección predominante, de color pardo oscuro hasta negro en superficie y de naranja a ocre en el interior.</p>	<p>Semeja escoria de fundición. Mancha los dedos.</p>

ROCAS SEDIMENTARIAS QUÍMICAS, ORIGINADAS POR PRECIPITACIÓN DE SOLUCIONES

Las rocas de sedimentación química se forman por precipitación de los productos disueltos de la erosión que son transportados por ríos hacia los lagos o hacia el mar. Esta precipitación puede producirse por la influencia de seres vivos o por procesos puramente químicos, como la evaporación en el caso de las evaporitas. La evaporación y otras influencias pueden dar como resultado la sobresaturación de las soluciones y, por tanto, la precipitación de minerales.

Los componentes de una roca destruida por erosión, que quedan en el lugar originario, forman las sedimentitas residuales o rocas remanentes, como la laterita y la bauxita. Es habitual estudiar estas rocas como sedimentarias, aunque sus componentes no hayan sido transportados.

SEDIMENTO	TEXTURA	COMPOSICIÓN	MINERAL	NOMBRE DE LA ROCA
Químico	No clástica	CaCO ₃ carbonato de calcio	Calcita (aragonita)	Caliza
	No clástica	CaMg(CO ₃) ₂ carbonato de Ca y Mg	Dolomita	Dolomía
	No clástica	SiO ₂ sílice	Ópalo calcedonia cuarzo	Chert
	No clástica	NaCl cloruro de sodio	Halita	Sal de Roca
	No clástica	CaSO ₄ 2H ₂ O sulfato de calcio	Yeso	Yeso Anhidrita
	No clástica	Ca ₃ (PO ₄) ₂ fosfato de calcio	Apatito	Fosforita
	No clástica	Fe ₂ O ₃ óxido de hierro	Hematita	Fm. Fierro

Las rocas sedimentarias se clasifican principalmente según su composición química o mineral.

CARBONATOS

Los procesos de formación de los carbonatos pueden ser de tipo marino inorgánico, bioquímico o terrestre.

TIPO	CALIZA	ORIGEN	CARACTERISTICAS	RECONOCIMIENTO
Carbonato	Silíceas (sílex)	Los carbonatos están formados básicamente de calcita (caliza), aragonita y dolomita (dolomía). En menor medida, de cuarzo, feldespato alcalino y minerales arcillosos	La piedra caliza está compuesta fundamentalmente de calcita (CaCO ₃), la que se forma por medios orgánicos o como resultado de procesos bioquímicos.	<p>Arrecifes de coral, coquina: De grano grueso formado por caparzones y fragmentos de ellos poco cementados.</p> <p>Creta: Blanda y porosa compuesta casi completamente de partes duras de microorganismos marinos.</p> <p>Calizas inorgánicas: Se forman cuando los cambios químicos o las temperaturas elevadas del agua aumentan la concentración del carbonato cálcico hasta el punto en que precipita.</p>
Sedimentario de sílice	Silíceas (sílex)	Las rocas silíceas se forman por la sedimentación de los esqueletos silícicos de radiolarios unicelulares (ópalos) que son microorganismos que viven en las aguas superficiales del mar que al morir caen al fondo acumulándose y formando el cieno o lodo de radiolarios.	Se trata de rocas muy compactas y duras, compuestas de sílice (SiO ₂): pedernal, que es oscuro a causa de la materia orgánica que contiene. El jaspe, es una variedad roja, brillante por el óxido de hierro que contiene. Ágata, de forma bandeada).	La mayoría de estas rocas presenta una fractura conoidal. Poseen una gran dureza, fácil astillamiento y pueden conservar un borde afilado.
Evaporitas	Evaporita terrestre	Formadas esencialmente por iones de agua dulce como son HCO ₃ ⁻ , Ca ²⁺ y SO ₄ ²⁻ . Las evaporitas terrestres pueden formar incrustaciones de sal, salitres y sales.	Difieren de las otras rocas sedimentarias en la composición de sales y minerales, y iones.	Son evaporitas terrestres el salitre o nitrato, que se explota en Chile en el desierto de Atacama (I y II regiones). Estas rocas están concentradas hasta 60% en los primeros dos metros de la superficie.
	Evaporita Marina			

EVAPORITAS

Relacionadas a ambientes inorgánicos, ambientes marinos y cuencas desérticas. Clasificación de las rocas según sedimentos y tamaño del clasto

TIPO	CARACTERÍSTICAS	RECONOCIMIENTO
Evaporitas marinas	<p>Los océanos forman las reservas más grandes de cloruros, sulfatos de álcalis y alcalinotérreos. Los cationes más importantes del agua del mar son Na+, K+, Mg2+ y Ca2+, los aniones son Cl, SO42- y HCO3-.</p> <p>Aparte de estos componentes principales hay cerca de 70 elementos subordinadas en el agua del mar. En los depósitos de sal del mundo se han identificado más de 50 minerales principales y subordinados.</p>	<p>Algunas rocas de sal son:</p> <ul style="list-style-type: none"> Halitita, una roca monomineralica de halita, por intercalaciones de minerales arcillosos y de sulfatos puede apreciarse la estratificación. Silvinita de silvina como componente principal y halita, que pueden formar una estratificación. Carnalitita se compone esencialmente de carnalitita y halita



ROCAS SEDIMENTARIAS ORGANÓGENAS

Están formadas principalmente por acumulaciones de restos de seres vivos. Si lo que más abunda son caparazones, se denominan calizas organógenas, pues su composición y el cemento son calcáreos. Los restos de seres vivos deben predominar en la roca, en caso contrario sería una caliza con fósiles.

Los carbones, petróleo y gas natural se originan a partir de la materia orgánica de seres vivos, que en condiciones especiales no se descompone, sino que se transforma en compuestos enriquecidos en carbono.



CARACTERÍSTICAS

<p>Depósitos carbonáceos</p>	<p>Se componen de materia orgánica, generalmente vegetal o sus derivados. A menudo tiene como agregados minerales y componentes volátiles. A ellos pertenecen la turba, el lignito y el carbón o la hulla respectivamente.</p> <p>El material de partida para estos depósitos son plantas como equisetos, licopodios, juncos, cañas, arbustos, musgos pantanosos, entre otros, que han crecido en pantanos y lagos de agua dulce, inundados ocasionalmente por mares llanos en un clima subtropical hasta tropical. Con la ausencia de aguas subterráneas circulantes la descomposición normal de los restos vegetales -que se basa en la presencia de oxígeno- termina enseguida bajo la cobertura de sedimentos y otros restos vegetales y se forman gases como el dióxido de carbono y el metano. Bajo condiciones no completamente anaeróbicas puede formarse la turba</p>
<p>Turba</p>	<p>Se constituye de fragmentos de madera en una matriz de trozos desintegrados vegetales pequeños típicos para las marismas y los pantanos. Los fragmentos vegetales son atacados por residuos no completamente descompuestos de la vegetación muerta de marismas o pantanos. Las aguas subterráneas estancadas protegen la materia vegetal residual de descomponerse completamente.</p> <p>La turba se caracteriza por la presencia de celulosa libre y por un contenido en agua mayor al 70%. La turba forma masas de color amarillo claro hasta café o negro de restos vegetales, que están impregnados con agua.</p>
<p>Lignitos</p>	<p>Es una roca combustible con un contenido de agua menor al 75% del volumen y un contenido de restos vegetales transformados debido a la carbonización. En el lignito se puede reconocer macroscópicamente algunos trozos de madera, de hojas y de frutos. Otros componentes adicionales en poca cantidad pueden ser minerales arcillosos, siderita, pirita, calcita y otros. Los lignitos sólo aparecen en sedimentos no compactados o muy poco compactados.</p> <p>El límite inferior hacia la turba se traza con un contenido de agua del 75% del volumen, el límite superior hacia la hulla o el carbón se muestra por la variación del color de la raya de café (lignito) a café-oscuro a negro (hulla).</p>

	CARACTERÍSTICAS
Lignito pardo o lignito blando	<p>Carbón húmico de grado bajo con un contenido de agua entre 10 y 75%. El lignito pardo se ubica entre la turba de grado más bajo y el lignito de grado más alto. El lignito pardo parece a la turba, pero es más sólido y más denso.</p> <p>Los yacimientos del lignito pardo o blando de la parte oriental de Alemania (zonas de Leipzig, Halle, Magdeburgo, Cottbus) y de la parte occidental de Alemania (cerca de Colonia, Baja Renania) son de la terciaria.</p>
Lignito duro (Hartbraunkohle)	<p>Entre ellos se distinguen el lignito mate (más sólido y más oscuro que el blando y estratificado) y el lignito brillante, más evolucionado con respecto a la carbonización. El límite superior hacia la hulla se traza en base al color de la raya de las rocas, el lignito se caracteriza por un color de la raya café y la hulla por un color de la raya negro-café.</p>
Lignito xiloide o la xilita:	<p>Lignito con trozos de madera fósil con una estructura bien conservada.</p>

ROCAS METAMÓRFICAS

Cuando las rocas son sometidas a grandes presiones y altas temperaturas por millones de años, éstas actúan plegándose y fluyendo.

Este fenómeno, denominado "metamorfismo", ocurre generalmente en zonas profundas de la tierra, donde no hay observación directa, pero se han desarrollado diversas técnicas para saber en qué condiciones se forman estas rocas, datos de gran importancia en el estudio de los procesos geológicos al interior de la tierra.

FACTORES QUE CONTRIBUYEN AL METAMORFISMO

TEMPERATURA

Proporciona la energía que impulsa los cambios químicos que resultan de la recristalización de los minerales. Esta temperatura (calor) puede ser proporcionada por una intrusión ígnea, o por el calor generado a grandes profundidades, ya que las temperaturas aumentan con la profundidad a un ritmo conocido como gradiente geotérmico 20°C a 30°C por kilómetro de profundidad.

PRESIÓN

También aumenta con la profundidad. Las rocas están sometidas a esfuerzos producto de la carga que tienen sobre sí. Esta presión de confinamiento es análoga a la presión hidrostática que actúa en todas direcciones.

Las rocas también están sometidas a fuerzas tectónicas direccionales durante la formación de montañas, a las que se les denomina esfuerzos diferenciales.

Generalmente, estas fuerzas son compresivas y acortan el volumen de la roca, pero también pueden ser tensionales, tendiendo a aumentar el volumen de la roca.

FLUIDOS QUÍMICOS

Ayudan a los procesos metamórficos. Generalmente, el fluido consiste en agua con iones en solución. Muchos minerales están hidratados, es decir, tienen agua asociada por medio de enlaces químicos. Cuando las rocas que contienen estos minerales se entierran a grandes profundidades la presión reduce el volumen de los poros y el agua sale. El calor también ayuda a la deshidratación y expulsión del agua. Esta agua actúa como catalizador ayudando a la migración iónica, la cual contribuye a la recristalización de algunos minerales o el intercambio iónico para formar minerales nuevos.



* Codelco / Andina desde el aire

LÍMITES DEL METAMORFISMO

El límite inferior del metamorfismo –es decir, la demarcación entre diagénesis y el metamorfismo (de soterramiento)– se encuentra en los 200°C. Los cambios mineralógicos y de textura en una roca, que ocurren a temperaturas mayores a 200°C se incorporan a la diagénesis. Otra definición del límite inferior es la reacción 'caolinita + cuarzo ' pirofilita'.

Para la demarcación superior, tampoco existe una sola definición. Por un lado, se considera la temperatura correspondiente al inicio de la fundición de una roca. La temperatura de fundición depende de otros factores; un granito empieza a fundirse a 625-650°C, mientras que un basalto se lo hace a 850-900°C con una presión de 2 a 3 kbar. Podría definirse como límite superior una temperatura máxima de 900 a 1000°C.

	CARACTERÍSTICAS
Grado metamórfico	Se refiere a la intensidad del metamorfismo que ha influido en una roca. Generalmente alude a la temperatura o presión máxima del metamorfismo. El concepto del grado metamórfico fue introducido por Winkler, H.G.F. y desarrollado a partir de magmatitas básicas (basaltos).
Zonas metamórficas	Se distinguen a partir de un mineral o grupo de minerales. Por ejemplo, la zona de granate se caracteriza por la apariencia de granate y la zona de sillimanita se caracteriza por la apariencia de sillimanita.
Facies metamórficas	Se les reconoce a través de grupos de minerales, que se observan en rocas de composición basáltica. El concepto de las facies metamórficas fue introducido por Eskola, Pentii (geólogo de Finlandia) en 1920.

Las zonas y facies metamórficas se determinan a través de la identificación de los grupos de minerales formados simultáneamente. La composición de algunos minerales metamórficos -que se puede analizar por una microsonda- y la textura pueden indicar las condiciones de temperatura y presión características para el grado metamórfico.

Pero el metamorfismo no es estático, ya que es influido por las condiciones de temperatura, presión y estrés (esfuerzo elástico). La historia de las condiciones de temperatura y presión, que han actuado en la roca durante un evento metamórfico, se llama en inglés '*metamorphic p-T-path*', el cual puede indicar varios parámetros como las fuentes de calor, que causan las variaciones de temperatura, la

posición estructural local de la roca y el gradiente del transporte tectónico.

Existen varias aproximaciones para distinguir diferentes tipos de metamorfismo. Basándose en los parámetros metamórficos principales se pueden reconocer los metamorfismos térmicos, dinámico y termodinámico. Con respecto a la posición geológica del metamorfismo, se diferencian entre metamorfismo de contacto, catáclisis y metamorfismo regional. Según su posición con respecto al orógeno se distinguen los metamorfismos orogénico y anorogénico. En relación con su posición tectónica, se distinguen el metamorfismo situado en un borde de una placa y el metamorfismo ubicado dentro de una placa.

Clasificación según principales parámetros metamórficos

Según temperatura y presión se distinguen:

- **Metamorfismo térmico:** donde la temperatura es el factor predominante, por ejemplo, metamorfismo de contacto.
- **Metamorfismo dinámico:** la presión es el factor predominante, ya sea litostática, por el peso de las rocas superiores, o por carga sobreyacente o esfuerzo elástico (estrés). Por ejemplo, la catáclisis o rotura mecánica de una roca por metamorfismo dinámico, que se produce en zonas de fallas. El metamorfismo por soterramiento (o hundimiento) resulta de una carga sobreyacente en un ambiente relativamente estático.
- **Metamorfismo termodinámico:** se basa en efectos térmicos y de presión. Generalmente ocurre en cinturones orogénicos a lo largo de los bordes de placas convergentes.

Clasificación según posición geológica

Según temperatura y presión se distinguen:

- **Metamorfismo térmico:** donde la temperatura es el factor predominante, por ejemplo, metamorfismo de contacto.
- **Metamorfismo dinámico:** la presión es el factor predominante, ya sea litostática -por el peso de las rocas superiores- o por carga sobreyacente o esfuerzo elástico (estrés). Por ejemplo, la catáclisis o rotura mecánica de una roca por metamorfismo dinámico, que se produce en zonas de fallas. El metamorfismo por soterramiento (o hundimiento) resulta de una carga sobreyacente en un ambiente relativamente estático.
- **Metamorfismo termodinámico:** se basa en efectos térmicos y de presión. Generalmente ocurre en cinturones orogénicos a lo largo de los bordes de placas convergentes.

* Panorámica Mina RT

RT es una empresa líder mundial, comprometida con Chile, el desarrollo sustentable de su gente, su entorno y sus comunidades.

Clasificación según posición geológica

- **Metamorfismo de contacto:** Ocurre en la vecindad de una intrusiva ígnea y resulta de efectos térmicos (de vez en cuando, metasomáticos del magma caliente). En el caso clásico, un cuerpo ígneo intruye una serie sedimentaria o ya metamórfica produciendo una aureola de contacto.

El metamorfismo de contacto se caracteriza por una distribución de los grupos de minerales formados simultáneamente de forma concéntrica con respecto al cuerpo intrusivo y por un aumento de la intensidad de recristalización y del grado metamórfico dirigido hacia al cuerpo intrusivo.

Ocurre en varios ambientes tectónicos, orogénicos y anorogénicos, en el interior o en el borde de una placa tectónica. El metamorfismo de contacto regional ocurre en los cinturones orogénicos activos.

- **Metamorfismo por ondas de choque:** Se caracteriza por condiciones de temperatura y presión extremadamente altas (por ejemplo, una presión de 10 a 100 kbar) y es producido por ondas de choque por impacto de meteoritos. En parte, el metamorfismo de ondas de choque produce formas de cuarzo de alta presión como coesita y stishovita y estructuras de deformación típicas como 'shatter cones' o es decir fracturas cónicas en las rocas.
- **La catáclisis ('high strain metamorphism'):** Se caracteriza por la deformación de la roca sin gran influencia de efectos térmicos. Se produce cuando los esfuerzos deformadores sobrepasan la capacidad de la roca de deformarse plásticamente. La catáclisis se produce en las zonas de fallas y de cizallamiento en el nivel superior de la corteza terrestre, que se sitúan principalmente en las zonas orogénicas y en los bordes de placas tectónicas.

Los parámetros más importantes de la catáclisis son el esfuerzo elástico (*deviatoric stress*), el '*strain rate*' y la temperatura.

La denominación común para una roca cataclástica es la milonita.

TEXTURAS DE ROCAS METAMÓRFICAS

FOLIADAS

Se produce una textura foliada siempre que los minerales y las características estructurales de una roca metamórfica se vean forzadas a un alineamiento paralelo. Los tipos de foliación dependen del grado de metamorfismo y de la mineralogía de la roca original:

- **Pizarrosidad:** Durante la transformación de una lutita en una pizarra, los minerales arcillosos -que son estables en la superficie- recristalizan en diminutos microcristales de mica, que son estables a temperaturas y presiones mucho más elevadas. Además, esos cristales planares de mica se alinean de manera que sus superficies planas quedan casi paralelas. Esta propiedad se denomina foliación rocosa o pizarrosidad, para diferenciarla del tipo de foliación exhibida por los minerales individuales.
- **Esquistosidad:** Bajo régimen de presión y temperatura extremos, los pequeños granos de mica de las pizarras crecen y llegan a tener hasta 1 cm de diámetro, dándole a la roca un aspecto escamoso. Este tipo de foliación se denomina esquistocidad.

Existen muchos tipos de esquisto, dependiendo de la roca madre original, los que se denominan en función de sus constituyentes minerales, como mica-esquisto, talco-esquisto, etc.

- **Bandeado gnéisico:** Durante el metamorfismo de grado alto, pueden ocurrir segregaciones de minerales: los silicatos oscuros y claros se separan, dando a la roca un aspecto bandeado, conocido como bandeado gnéisico. Las rocas metamórficas de este tipo de textura se denominan gneis y son bastante comunes. Se forman a menudo por el metamorfismo de granitos o dioritas, y también a partir de gabros o por el metamorfismo de grado alto de esquistos. Aunque foliado, el gneis normalmente no se separa en capas paralelas a los cristales de manera tan fácil como las pizarras.

NO FOLIADAS

Las rocas metamórficas que no tienen la textura anterior se denominan no foliadas. La foliación no apreciable a simple vista es frecuente en rocas metamórficas compuestas sólo de un mineral, cuyos cristales se caracterizan por tener un hábito equidimensional. Por ejemplo, cuando una caliza de grano fino (compuesta por un solo mineral, la calcita) sufre metamorfismo, los pequeños cristales de calcita se combinan para formar cristales intercrecidos relativamente grandes. La roca resultante, el mármol, tiene una textura similar a la de las rocas ígneas de grano grueso. Aunque la mayoría de los mármoles no son foliados, su estudio microscópico puede revelar algún aplanamiento y paralelismo de los granos. Además, algunas calizas contienen capas delgadas de minerales de arcilla que pueden distorsionarse durante el metamorfismo. Las "impurezas" suelen aparecer como bandas curvas de materiales oscuros que fluyen a través del mármol, una indicación clara de metamorfismo.

TIPOS DE ROCAS METAMÓRFICAS

ROCAS METAMÓRFICAS COMUNES

ROCAS METAMÓRFICAS	TEXTURA	ROCA INCIAL	CARACTERÍSTICAS
Pizarras	Foliada	Lutitas	De grano muy fino
Filitas	Foliada	Lutitas	Lutitas, rocas volcánicas y graníticas
Esquistos	Foliada	Lutitas, rocas volcánicas y graníticas	Minerales diversos de grano grueso
Gneises	Foliada	Lutitas, rocas volcánicas y graníticas	De grano grueso (no micáceo)
Mármoles	No Foliada	Calizas, dolomitas	Compuesto por granos de cuarzo intercrecidos
Cuarcitas	No Foliada	Arenisca rica en cuarzo	Compuesto por granos de cuarzo intercrecidos
Corneanas	No Foliada	Cualquier material de grano fino	De grano fino
Migmatitas	Débilmente Foliada	Mezcla de rocas graníticas y máficas	Compuesto por capas con volutas
Milonitas	Débilmente Foliada	Cualquier material	Roca dura de grano fino
Metaconglomerados	Débilmente Foliada	Conglomerado rico en cuarzo	Cantos rodados muy estirados
Anfibolitas	Débilmente Foliada	Rocas volcánicas máficas	De grano grueso



* Mina de División El Teniente de Codelco

ROCAS FOLIADAS

CARACTERÍSTICAS

RECONOCIMIENTO

Pizarra

Roca foliada de grano muy fino compuesta por pequeños cristales de mica.

Se origina casi siempre por el metamorfismo en grado bajo de lutitas, por lo que pueden conservar los planos originales de estratificación de la lutita. Sin embargo, su orientación de planos de foliación forma un ángulo pronunciado con la estratificación original por lo que se escinden cortando planos de estratificación, a diferencia de las lutitas, que lo hacen a lo largo de dichos planos. En menor frecuencia se pueden originar, a partir de cenizas volcánicas.

La característica más destacada es su excelente exfoliación en láminas planas siendo muy útil para tejados, baldosas, pizarras y tablas de billar.

El color depende de sus constituyentes:

- **Negra (carbonácea):** contiene materia orgánica portadora de carbón.
- **Roja:** contiene óxido de hierro.
- **Verde:** normalmente contiene clorita, mineral semejante a la mica formada por el metamorfismo de silicatos ricos en hierro.

Filita

Es una gradación en el metamorfismo entre pizarra y esquisto.

Sus minerales planares son más grandes que los de la pizarra, pero no lo bastante como para identificarlos a simple vista. Puede distinguirse de la pizarra por su brillo satinado. También muestra pizarrosidad y está compuesta fundamentalmente por cristales muy finos de moscovita o clorita.

Esquisto

Muy foliada, que puede romperse con facilidad en pequeñas lacas o láminas. Se originan de las lutitas, pero con un metamorfismo más intenso. La mayoría de los esquistos surgen de episodios importantes de formación de montañas.

Son muy fáciles de romper y, por definición, contienen más del 20% de minerales planares y alargados que normalmente incluyen las micas (moscovita, biotita) y la anfíbola.

Gneis

Término aplicado a las rocas metamórficas bandeadas que contienen fundamentalmente minerales alargados y granulares (en oposición a los planares). Los minerales componentes más comunes son cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa, cantidades menores de moscovita, biotita y hornoblenda.

Pueden incluir grandes cantidades de cristales de minerales accesorios como granate y estauroлита. También pueden estar compuestos también mayoritariamente por minerales oscuros como los que forman el basalto. Una roca rica en anfíbola que tenga textura gnéisica se denomina gneis anfibólico.

Tienen aspecto bandeado característico, por la segregación de silicatos claros y oscuros, por lo que la mayoría consisten en bandas alternadas de zonas ricas en feldespatos blancos o rojizos y en capas de ferromagnesianos oscuros. Los gneis bandeados son habitualmente deformados por pliegues mientras están en estado plástico. Algunos se rompen a lo largo de las capas de los minerales planares, pero la mayoría se rompe de forma irregular.

Los gneises de composición similar al granito, derivan de éste o de su equivalente afanítico.

ROCAS NO FOLIADAS

CARACTERÍSTICAS

RECONOCIMIENTO

Mármol

Roca cristalina de grano grueso que deriva de calizas o dolomitas.

El mármol puro es blanco y se compone esencialmente de calcita, por lo que es fácilmente atacado por la lluvia ácida. A menudo la caliza original tiene impurezas que lo colorean –puede ser rosado, gris, verde o incluso negro, por lo que cuando se metamorfiza, el mármol resultante puede contener gran diversidad de minerales accesorios clorita, mica, granate y normalmente wollastonita.

Cuando se forma a partir de caliza interestratificada con lutitas, aparece bandeado. Si estas rocas sufren grandes deformaciones, los pliegues adquieren un diseño artístico.

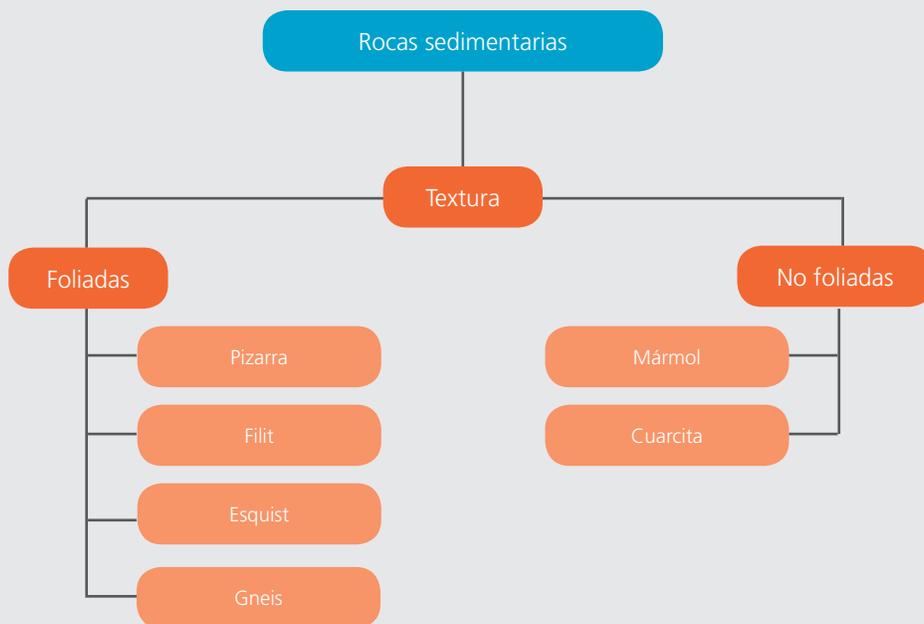
Cuarcita

Roca metamórfica muy dura casi siempre formada a partir de arenisca rica en cuarzo.

Bajo metamorfismo moderado a elevado, los granos de cuarzo de la arenisca se funden y recrystaliza en forma completa, de tal manera que cuando se rompe, la cuarcita no se escinde entre los granos originales, sino a través de ellos.

Es normalmente blanca, pero los óxidos de hierro pueden producir tintes rojizos o rosados. Granos de minerales oscuros pueden colorearla de gris.

En algunos casos, estructuras sedimentarias de estratificación cruzada se conservan y le dan un aspecto bandeado.



4. Menas

El término mena se emplea para denominar a aquellos minerales localizados en las minas que puedan ser extraídos y reportar interés económico.

En el uso común, este término se aplica también a algunos minerales no metálicos, como la fluorita y el azufre. Sin embargo, los materiales utilizados para propósitos como la piedra de construcción, agregados para las carreteras, abrasivos, cerámica y fertilizantes, no suelen denominarse menas, sino que se clasifican como rocas y minerales industriales.

METAL	MENAS PRINCIPALES	ORIGEN GEOLÓGICO
Aluminio	Bauxita	Producto residual de la meteorización.
Cromo	Cromita	Segregación magmática.
Cobre	Calcopirita, Bornita y Calcosina	Yacimientos hidrotermales; metamorfismo de contacto; enriquecimiento por procesos de meteorización.
Oro	Oro nativo	Yacimientos hidrotermales; depósitos de placeres.
Hierro	Hematites, Magnetita y Limonita	Formaciones bandeadas sedimentarias; segregación magmática.
Plomo	Galena	Yacimientos hidrotermales.
Magnesio	Magnesita y Dolomita	Yacimientos hidrotermales.
Manganeso	Pirolusita	Producto residual de meteorización.
Mercurio	Cinabrio	Yacimientos hidrotermales.
Yacimientos hidrotermales	Molibdenita	Molibdenita.
Níquel	Pentlandita	Segregación magmática.

METAL	MENAS PRINCIPALES	ORIGEN GEOLÓGICO
Platino	Platino nativo	Segregación magmática, depósitos de placeres.
Plata	Plata nativa Argentita	Yacimientos hidrotermales; enriquecimiento por procesos de meteorización.
Estaño	Casiterita	Yacimientos hidrotermales; depósitos de placeres.
Titanio	Ilmenita	Segregación magmática; depósitos de placeres.
	Rutilo	
Wolframio	Wolframita y Scheelita	Pegmatitas; yacimientos de metamorfismo de contacto; depósitos de placeres.
Uranio	Uraninita (Petchblenda)	Pegmatitas; depósitos sedimentarios.
Cinc	Escalerita	Yacimientos hidrotermales.

DEPÓSITOS MINERALES BÁSICOS

Los depósitos minerales se encuentran distribuidos en la naturaleza y corresponden a la fracción de la corteza terrestre donde se encuentran aquellas sustancias minerales de interés y utilidad. Estos depósitos se han formado o acumulado gracias a diferentes procesos geológicos como, por ejemplo, la meteorización, proceso que permite la mineralización.

CLASIFICACIÓN DE DEPÓSITOS

Existen numerosos criterios para clasificar los depósitos minerales. Sin embargo, dada la complejidad de los yacimientos, los cuales pueden responder a más de un criterio simultáneamente, su clasificación resulta engorrosa y no es del todo satisfactoria.

AMBIENTE DE FORMACIÓN

De acuerdo con el ambiente geológico en que se formó un yacimiento, se definen cuatro grupos o ambientes diferentes: sedimentario, magmático, hidrotermal y metamórfico. Dentro de estos grupos se suman las subfacies, como lo son el intramagmático, los sulfuros macizos y otros.

Esta clasificación presenta como limitante el hecho de que muchos depósitos minerales se formaron en etapas diferentes y bajo la influencia de distintos factores, lo que tiende a reunir dentro de un mismo grupo fases de diferentes enriquecimientos.

A su vez, la mineralización tiene lugar por efecto de un conjunto de factores, que no necesariamente dependen del ambiente, sino que tienen relación, por ejemplo, con la naturaleza de la roca de caja.

FORMA O SIMETRÍA DEL YACIMIENTO

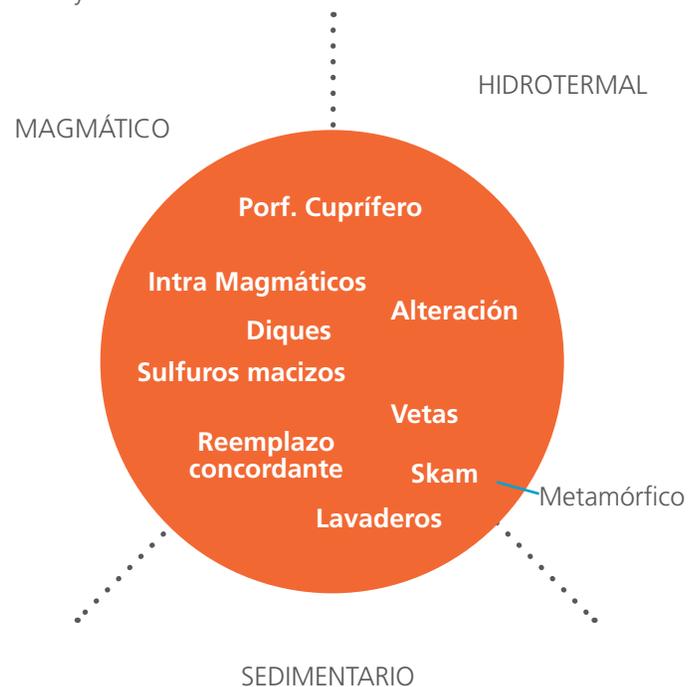
La simetría o la forma de un depósito permite organizar los yacimientos en grupos bien definidos. Esta información es de gran importancia, pues incide directamente en los métodos de explotación que se deberán emplear.

De acuerdo con la forma se distinguen cuatro categorías de yacimientos:

- Concordantes.
- Discordantes.
- Regulares.
- Irregulares.

Los inconvenientes de esta clasificación radican en el hecho de que existen yacimientos de simetrías más confusas, lo que obliga a emplear expresiones tales como "semi-irregular" o "casi concordante" provocando que este criterio sea considerado menos científico que los demás.

Sin embargo, si bien la forma de un yacimiento constituye una característica secundaria y no tiene automáticamente una relación con su mineralización, la organización de los depósitos mineralizados en grupos lógicos presenta algunas ventajas didácticas.



CONTENIDO EN ELEMENTOS QUÍMICOS

Posiblemente la manera más científica de agrupar los diferentes depósitos minerales sea utilizando el criterio del contenido de elementos químicos del depósito.

En general, debido a que los depósitos son bastante heterogéneos y polimetálicos, la dificultad de esta clasificación radica en que casi todos los yacimientos están formados por más de un elemento químico con valor económico, lo que hace necesario clasificarlos simultáneamente en dos o más grupos. A su vez, el mismo yacimiento puede cambiarse del grupo de acuerdo con los elementos más importantes que lo determinen. Por ejemplo, un yacimiento puede tener una zona que sea principalmente rica en oro y plata (Au – Ag), y otra en que se dé la relación inversa (Ag – Au).

Junto a la naturaleza polimetálica de los yacimientos, los mismos contenidos minerales aparecen en facies o ambientes de formación bastante distintos, estableciéndose un sinnúmero de grupos, lo que complejizará la clasificación y su empleo.

Si bien la diferenciación de yacimientos en metalíferos y "no-metálicos", es una clasificación bastante útil a primera vista, es necesario considerar que geológicamente existen muchos yacimientos metálicos y no-metálicos que se forman en las mismas condiciones.

Las menas son los minerales ubicados en las diferentes minas que pueden ser extraídos para obtener un interés económico. Los depósitos donde se encuentran se acumulan por diferentes procesos geológicos (como la meteorización), pudiendo formarse en un ambiente sedimentario, magmático, hidrotermal y metamórfico.

CLASIFICACIÓN DE YACIMIENTOS

Yacimientos de ambiente magmático y postmagmático:

- **Depósitos vetiformes o tabulares**

En los yacimientos vetiformes el mineral de interés económico (mena) se encuentra formando vetas. Este puede encontrarse concentrado en unos pocos metros de ellas, o de manera discontinua e irregularmente a través de ellas.

Las vetas o estructuras vetiformes son formaciones postmagmáticas de origen hidrotermal. Los minerales cristalizan desde una fase acuática de acuerdo con la temperatura y la presión.

Generalmente, las vetas aparecen en "sets", es decir, estructuras paralelas o subparalelas que se pierden después de algunos metros.

- **Pórfidos cupríferos**

Los pórfidos cupríferos son yacimientos de gran tonelaje (106-109 t) y de baja ley (0,2 a 2,0 % Cu), que se originan por el emplazamiento de un cuerpo intrusivo en la corteza terrestre en condiciones de gran temperatura. En estas estructuras la mineralización se encuentra distribuida en toda la roca, en forma diseminada, como partículas, y en estructuras como vetas, fracturas y fallas.

Aparte del cobre, estos yacimientos pueden presentar cantidades variables de molibdeno y/o metales preciosos (oro y plata), susceptibles de ser recuperados económicamente.

Los depósitos del tipo pórfido hoy día juegan un papel muy importante en la minería del cobre, molibdeno y estaño.

Los pórfidos se conocen con muchos nombres, entre otros yacimientos diseminados (disseminated molybdenums) y yacimientos "stockwork" los que hoy día pertenecen al grupo de los pórfidos.

Generalmente, los yacimientos del tipo pórfido afloran en márgenes continentales destructivos, especialmente en zonas de subducción.

Los pórfidos cupríferos más grandes del mundo se ubican en Chile, Estados Unidos y Canadá, como también en Panamá, México, Nueva Guinea e Irán.

CARACTERÍSTICAS DE LOS PÓRFIDOS

Ley del mineral	Cobre	0,3 % a 1,4 %
	Molibdeno	0,01 a 0,006 %
	Oro	0 a 0,6 g/ton
Rocas	Cobre	Granitos, granodioritas, monzonitas, cuarcíferos, dioritas stocks dioríticos. Granodioríticos con textura porfídica Diacitas.
	Molibdeno	
	Oro	
Alteración	Potásica	Sericítica, argílica, propilítica y silificación (Lowell & Gilbert; Sillitoe)

Estructura	Diseminación	La mena aparece distribuida en finas partículas.
	<i>Stockwork</i>	Rellenos de diaclasas, vetillas, venillas, cetos con mena u otros minerales de formación hidrotermal como yeso, calcita y baritina.
	<i>Pebble dyke</i>	Brechas hidrotermales de diferentes tamaños.
	Estructura tectónica	Expansivas, fallas y diques con-genéticas de la formación del yacimiento.

ESTRUCTURA DE LOS PÓRFIDOS CUPREROS

STOCKWORK: corresponden a vetillas pequeñas que interceptan toda la roca. Existen varias formas de simetrías y tamaños.

El relleno se compone de mena especialmente de minerales de formación hidrotermal.

- La estructura stockwork se caracteriza con lo siguiente:
- La frecuencia de vetillas.
- El ancho de las vetillas.
- La simetría.
- El tipo de mineral como relleno.

PEBBLE DYKE-BRECHA HIDROTERMAL: En algunos sectores existen brechas hidrotermales en las que las rocas aparecen en forma de una veta o marcando sectores elipsoides. Estas rocas contienen clastos blanqueados, alterados, de diferentes tamaños comúnmente entre 0,5 cm hasta 10 cm. La mayoría de los clastos son angulosos y en varios sectores cumplen el criterio de puzle. A su vez, se puede observar una menor densidad de clastos en las zonas centrales y mayor en las zonas marginales de la matriz.

Las brechas hidrotermales se caracterizan por:

- El tipo de clastos.
- La apariencia de clastos.
- La composición de la matriz: tipo de minerales, color, dureza.
- La simetría del cuerpo: vetiforme, irregular, tamaño, zonaciones.
- Las estructuras tectónicas: pre-, con-, y postgenético.

DISEMINADO: corresponde a la presentación de partículas finas aisladas, de tamaños que van desde el muy pequeño (no visible a simple vista) a tamaños que no llegan a superar los 2mm. En ocasiones, el diseminado se une con la estructura de vetillas.

La estructura de diseminado se caracteriza por:

- Tamaño.
- Frecuencia.
- Tipo de mineral.

TIPOS DE ALTERACIONES ASOCIADAS A LOS PÓRFIDOS

El modelo de Lowell & Guilbert (1970) muestra los diferentes tipos de alteraciones hidrotermales de la roca de caja y las simetrías en el sector alterado. Además, este modelo contempla la ubicación de las mineralizaciones de sulfuros más importantes. Las zonas alteradas se diferencian por su contenido en minerales secundarios (que pueden ser iguales o diferentes de los minerales de origen primario).

Es por lo mismo que, para determinar en terreno la sección transparente de la zona de alteración, hay que diferenciar primero entre minerales primarios y secundarios y después analizar la paragénesis de minerales secundarios.

El modelo de Lowell & Guilbert diferencian cuatro zonas de alteraciones hidrotermales:

- **Zona potásica**, que corresponde a la zona más adentro de la alteración.
- **Zona filítica**, que corresponde a una zona de transición entre 2 hasta 30 metros.
- **Zona argílica**, que corresponde principalmente a la zona de formación de minerales arcillosos como caolín, montmorillonita y piritita en vetillas pequeñas.
- **Zona propilítica**, corresponde a la zona más afuera del sistema sin contacto definido a la roca de caja. Las alteraciones disminuyen paulatinamente hasta desaparecer completamente. Las características de esta zona son los minerales clorita, piritita, calcita y epidota.

PERFIL DE UN PÓRFIDO

El modelo de Sillitoe (1973) incluye algunos puntos nuevos, aparte de alteraciones hidrotermales (Sillitoe potásica, sericítica, propilización, argílica y silificación), concluyéndose la presencia de stocks (cuerpos subvolcánicos, hipabisales en bajas profundidades), y la presencia de un aparato volcánico o volcán estratificado. Asimismo, se toma en cuenta la formación de brechas hidrotermales. Interesante es la alteración propilítica hasta el aparato volcánico y la silificación en partes superiores del sistema.

De acuerdo con el modelo de Lowell & Guilbert (1970) se contempla la ubicación de las mineralizaciones de sulfuros más importantes. Las zonas alteradas se diferencian por su contenido en minerales secundarios, los que pueden ser iguales o diferentes de los minerales de origen primario.

Zona Potásica (potassic zone): corresponde a la zona que se encuentra más al interior de la alteración. Las ortoclasas, plagioclasas y minerales máficos primarios sufren procesos hidrotermales, a través de los cuales se alteran y cambian a ortoclasa y biotita, a ortoclasa y chlorita, o también a ortoclasa y biotita y clorita (chl) algunas veces con sericita, anhidrita, cuarzo (qz) en stockwerk. Es importante recordar que el núcleo de esta zona puede ser pobre en mena.

Zona filítica (phyllitic zone) o zona sericítica: se trata de una zona de transición con espesores de entre 2 hasta 30 metros, en que la biotita primaria y los feldespatos se descomponen a sericita y rutilo, y donde ocurre el proceso de paragénesis de cuarzo-sericita-pirita, con poca clorita, illita, rutilo y pirofilita. En esta zona los carbonatos y la anhidrita son muy escasos. Es fundamental considerar que el límite entre la zona potásica y la zona filítica no es bien definida.

Zona argílica (argillig zone): corresponde a una zona no siempre bien desarrollada, en donde ocurre la formación de minerales arcillosos, tales como caolín, montmorillonita y pirita en vetillas pequeñas. Los feldespatos alcalinos no muestran fuertes alteraciones, y la biotita primaria sufre la transformación parcial a clorita.

Zona propilítica (propylitic zone): corresponde a la zona más exterior del sistema sin contacto definido a la roca de caja. Las alteraciones van disminuyendo paulatinamente hasta que desaparecen completamente. Los minerales característicos de esta zona son clorita, pirita, calcita y epidota. Las plagioclasas no siempre muestran alteraciones y la biotita y hornblenda sufren transformaciones parciales o totales a clorita y carbonatos.

Yacimiento en el ambiente metamórfico

El papel del metamorfismo en la formación de yacimientos minerales suele ligarse a los procesos ígneos, es decir, al enfriamiento del magma. Por ejemplo, muchos de los depósitos de menas metamórficas más importantes se producen mediante metamorfismo de contacto. La roca de caja es recristalizada y luego alterada químicamente por el calor, la presión y las soluciones hidrotermales que emanan de un cuerpo ígneo de intrusión.

Algunos materiales resistentes, como las areniscas ricas en cuarzo, pueden mostrar muy poca alteración, mientras que otros, como las calizas, pueden exhibir los efectos del metamorfismo durante varios kilómetros desde el plutón ígneo.

A medida que los fluidos calientes ricos en iones atraviesan la caliza, tienen lugar reacciones químicas que producen minerales útiles, como el granate y el coridón. A su vez, esas reacciones liberan dióxido de carbono, el cual facilita en gran medida la migración ascendente de los iones metálicos. Por tanto, extensas aureolas de depósitos ricos en metales, frecuentemente, rodean los plutones ígneos que han invadido los estratos de caliza. Los minerales metálicos más comunes asociados con el metamorfismo de contacto son la escalerita (cinc), galena (plomo), calcopirita (cobre), magnetita (hierro) y la bornita (cobre).

Los depósitos de menas hidrotermales pueden estar diseminados a lo largo de la zona alterada, o bien existir como masas concentradas localizadas cerca del cuerpo intrusivo o en la periferia de la zona metamórfica.

El metamorfismo regional puede generar también depósitos minerales útiles. Recordemos que, en los bordes de las placas convergentes, la corteza oceánica, junto con los sedimentos que se han acumulado en los márgenes continentales, son transportados a grandes profundidades. En estos ambientes de alta temperatura y presión se alteran la mineralogía y la textura de los materiales subducidos, originando depósitos de minerales no metálicos como el talco o el grafito.

METEORIZACIÓN Y YACIMIENTOS DE MENAS

A través de los procesos de meteorización se crean numerosos depósitos minerales importantes, los que concentran cantidades pequeñas de metales que están dispersos a través de la roca no meteorizada, en cantidades económicamente valiosas. A este proceso se le denomina enriquecimiento secundario, y ocurre de dos formas:

- La meteorización química asociada con las aguas de percolación descendente, mediante la que se eliminan los materiales indeseables de la roca en descomposición, dejando los elementos deseables enriquecidos en la zona superior del suelo.
- Los elementos deseables que se encuentran en bajo contenido cerca de la superficie son extraídos y transportados a zonas inferiores, donde se concentran.

Depósito de Bauxita: La principal mena de aluminio

La bauxita está formada por óxido de aluminio hidratado, el que se origina a partir de un proceso de meteorización. El aluminio es el tercer elemento más abundante de la corteza terrestre, pero no es común encontrar concentraciones económicamente valiosas, puesto que la mayor parte se encuentra formando silicatos, de los cuales es extremadamente difícil de extraer.

La bauxita se forma en climas tropicales lluviosos, en asociación con lateritas. El aluminio que es extremadamente insoluble se concentra en el suelo como bauxita. Cuando la roca madre, rica en aluminio, se ve sometida a meteorización química intensa y prolongada, la mayor parte de los elementos comunes (Ca, Na, Si) son eliminados por lixiviación. La formación de bauxita depende de las condiciones climáticas que permitan que se produzcan procesos de meteorización química y que ocurran procesos de lixiviación intensos, así como de la presencia de una roca madre rica en aluminio.

* Yacimiento Ministro Hales

En 2011 comenzó la construcción del yacimiento Ministro Hales. Obra implica el mayor movimiento de material estéril en la historia de la minería chilena.

Muchos depósitos de cobre (Cu) y de plata (Ag) se originan cuando los procesos de meteorización concentran los metales que están depositados a través de una mena primaria de bajo grado.

Normalmente, este enriquecimiento se produce en depósitos que contienen Pirita (FeS₂), el sulfuro más común y generalizado. Cuando la pirita es meteorizada químicamente forma ácido sulfúrico, lo cual permite la disolución de los metales de la mena por las aguas de percolación, los que una vez disueltos migran gradualmente hacia abajo a través de la mena primaria, hasta que precipitan. El depósito se realiza por los cambios químicos que se producen en la solución cuando alcanza la zona de aguas subterráneas, bajo la napa freática donde el suelo está saturado de agua. Así, el pequeño porcentaje de metal disperso puede eliminarse desde un gran volumen de roca y volver a depositarse en forma de una mena de grado más alto en un volumen de roca menor.

Este proceso de enriquecimiento es responsable del éxito económico de muchos depósitos de cobre. Cuando la pirita se oxida cerca de la superficie, quedan restos de óxidos de hierro. La presencia de estas masas herrumbrosas en la superficie indica la posibilidad de que haya una mena enriquecida debajo.

Yacimientos en el ambiente sedimentario

Estos yacimientos corresponden a depósitos que se forman cuando los minerales pesados se concentran mecánicamente por efecto de las corrientes, que son los procesos más comunes y mejor conocidos, o por acción selectiva de las olas a lo largo de la costa. A través de estos fenómenos se produce la selección de los minerales en función del peso específico de las partículas.

Los yacimientos de ambiente sedimentario contienen normalmente minerales que no solo son pesados, sino que también son duros y lo bastante resistentes desde el punto de vista químico como para resistir la destrucción originada por otros procesos de meteorización y el transporte por corrientes.

Los denominados depósitos de placeres se forman debido a que muchos minerales pesados se depositan rápidamente desde una corriente, mientras que las partículas menos densas permanecen en suspensión y son transportadas.

* Chuquicamata

Bajo el alero de Codelco se unen los yacimientos de Chuquicamata, Andina, Salvador y El Teniente.

Entre los lugares habituales de acumulación se cuentan los point bars, en los interiores de los meandros, así como las grietas y otras irregularidades en los lechos de los ríos.

Existen muchos depósitos de placeres económicamente importantes, los más conocidos son las acumulaciones de oro. De hecho, fueron los depósitos de placeres descubiertos en 1848 los que indujeron la famosa fiebre del oro californiana. Años antes, depósitos similares crearon otra fiebre en Alaska. La búsqueda de oro lavando la arena y la grava en una superficie plana para concentrar en su fondo el fino "polvo", fue el método habitual utilizado por los primeros prospectores para recuperar el metal precioso, siendo un proceso similar al que creó los depósitos de placeres.

Además del oro, otros minerales pesados y resistentes forman depósitos de placeres. Entre ellos se cuentan el platino, los diamantes y estaño.

Los montes Urales contienen depósitos de placeres ricos en platino, mientras que los placeres de Sudáfrica son grandes fuentes de diamantes.

Porciones importantes del suministro mundial de casiterita, la mena principal del estaño, se han obtenido a partir de depósitos de placeres en Malasia e Indonesia. La casiterita suele estar diseminada en rocas ígneas graníticas. En este estado, el mineral no se encuentra lo bastante concentrado como para ser extraído con beneficios importantes. Sin embargo, a medida que se disuelve y se desintegra la roca que la encierra, quedan libres los granos de casiterita, pesados y resistentes. Por último, las partículas liberadas alcanzan una corriente de agua donde crean depósitos de placeres estando significativamente más concentrados que en el depósito original. Circunstancias y acontecimientos similares son comunes para muchos minerales que se obtienen de depósitos de placeres.

En algunos casos, si se logra localizar la roca madre de un depósito de tipo placer ésta puede convertirse en una mena importante. Siguiendo los depósitos de placeres corriente arriba, en ocasiones pueden localizarse los depósitos originales. Así fue como se encontraron los filones de oro de *Mother Lode* en el batolito de Sierra Nevada de California, y las famosas minas de diamantes Kimberly de Sudáfrica. Primero se descubrieron los depósitos y después, su fuente.

Lavaderos de minerales

Los lavaderos son acumulaciones de sustancias en el ambiente sedimentario, que ocurren especialmente en el caso de los minerales pesados y/o muy duros, los que pueden acumularse en algunos sectores específicos. Especialmente conocidos en todo el mundo son los lavaderos de oro.

También existen acumulaciones de otros minerales como diamantes, granates, zircón, cromita, cobre nativo y otros. Generalmente, el transporte del agua y del viento pueden provocar una acumulación sedimentaria de estos minerales, así como también, en casos especiales, la gravedad, la que por sí misma puede generar un lavadero. Pero, los más conocidos son los lavaderos fluviales (ambiente del río) de oro y los lavaderos litorales de oro y de diamantes.

Condiciones para la acumulación

Para que un mineral sea acumulado tiene que contar con algunas propiedades químicas y físicas:

- **Peso específico:** el peso específico debe ser elevado, es decir, más alto que el de una roca o mineral con una densidad de 2,7 g/cc.
- **Resistencia física:** el mineral debe destacarse por su dureza y dificultad para fracturarse.
- **Resistencia química:** el mineral que se deposita no se disuelve, no se oxida, y en general corresponde a un mineral inerte frente a todos los ataques químicos, especialmente en el ambiente del agua.

Existen diferentes fuentes para encontrar los minerales tales como:

- Las vetas, que son formaciones postmagmáticas de origen hidrotermal en donde los minerales se cristalizan desde una fase acuática de acuerdo con la temperatura y la presión.
- Los pórfidos, yacimientos de gran tonelaje originados por el emplazamiento de un cuerpo intrusivo en la corteza terrestre en condiciones de gran temperatura.
- La bauxita, formada por óxido de aluminio hidratado y originada a partir de un proceso de meteorización.
- Los lavaderos, acumulaciones de sustancias en el ambiente sedimentario, que ocurren en el caso de minerales pesados y/o muy duros.

5. Estructuras Geológicas

La geología estructural es la rama que estudia las estructuras geológicas presentes en la corteza terrestre, ya sea de todo el planeta o de una determinada región.

En los estudios geológicos de esta naturaleza se realiza la identificación y análisis de las principales estructuras geológicas y su reconocimiento, para luego realizar el mapeo de las estructuras tectónicas de un determinado sector.

PRINCIPALES ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS

Como parte fundamental de cualquier estudio de estructuras geológicas presentes en un yacimiento, se deben distinguir los tipos de estructuras que están presentes en la roca. Su objetivo es identificar sus características e influencia en aspectos de seguridad tales como:

- La inestabilidad de un talud o galería por presencia de una falla (en este caso se debería contemplar la posibilidad de fortificar).
- La tendencia estructural definida con un plegamiento.
- La secuencia de encendido para que las operaciones de tronadura sean más eficientes, al existir planos de discontinuidad ya formados.

PLANOS GEOLÓGICOS Y ORIENTACIÓN

La mayoría las rocas de la corteza terrestre muestran varios tipos de planos geológicos, los que se puede agrupar en dos grandes categorías:

- **Foliaciones primarias**
Son las estructuras que se originan antes de la litificación o formación de rocas, como por ejemplo: estratos, flujo magmático.
- **Foliaciones secundarias**
Son aquellas que se originan después de la litificación, ya sea debido a fuerzas tectónicas presentes en la corteza terrestre (por ejemplo, diaclasas, fallas, esquistosidades) u otras causas, como, por ejemplo, grietas de enfriamiento y estructuras sedimentarias (grietas de resecaión). En varias regiones del mundo se encuentra más de una fase tectónica, lo que revela la formación de las rocas en diferentes momentos.

- **Orientación de un plano**

Para definir matemáticamente la orientación de un plano (medido en grados) en la naturaleza se recurre a las propiedades de:

- **Dirección de inclinación**

Marca hacia dónde se inclina el plano, o la proyección horizontal de la línea del máximo pendiente.

- **Rumbo**

Es la línea horizontal de un plano y se puede definir como la línea que resulta de la intersección del plano geológico por un plano horizontal. Es posible imaginar este concepto a partir de una superficie de agua (que es siempre horizontal), en la cual se hunde el plano hasta la mitad. La línea hasta donde se moja el plano es el rumbo.

- **Diaclasas**

Las diaclasas, que quiere decir juntas, son fracturas en las rocas que no presentan desplazamiento transversal que sea detectable, solo manifiestan un poco de movimiento extensional

Tipos de diaclasas:

Grietas de desecación: Durante la desecación de un barro o lodo bajo condiciones atmosféricas determinadas (sequedad, alta temperatura, radiación solar), al evaporarse el agua o la humedad contenida en él, disminuye el espacio ocupado por el material húmedo y la superficie se rompe en polígonos.

Fisuras de tensión gravitacional (origen tectónico): Sobre estratos inclinados se puede observar bajo algunas condiciones, un deslizamiento de las masas rocosas hacia abajo. Al comienzo de este fenómeno se abren grietas paralelas al talud.

Las diaclasas son las fracturas más frecuentes y se presentan en todos los tipos de rocas, especialmente, al nivel de la superficie y también a grandes profundidades. Estas fracturas pueden tener dimensiones que se extienden desde algunos milímetros hasta unos pocos metros.

Normalmente se presentan en una masa rocosa, en la que se pueden observar grupos de diaclasas -estructuras paralelas o subparalelas- y/o sistemas de diaclasas que corresponden a aquellas que se cortan entre sí en ángulos definidos, y tienen una cierta simetría.

Fallas: La falla corresponde a la fractura que se presenta en las rocas en donde ha habido lugar un movimiento o desplazamiento. Este movimiento produce un plano o zona de falla, que puede alcanzar un ancho que va desde milímetros hasta los cientos de metros.

Los movimientos o desplazamientos (salto total) pueden ser pequeños (milímetros) o muy grandes llegando a alcanzar los cientos de kilómetros.

La geología estructural es la rama que estudia las estructuras geológicas presentes en la corteza terrestre. Su objetivo es identificar las características e influencia de estas estructuras en aspectos de seguridad tales como, la inestabilidad, la tendencia estructural de un plegamiento y la secuencia de encendido.

Tipos de fallas

El movimiento en las fallas produce algunas estructuras o rocas especiales llamadas estrías, arrastres, brecha de falla, milonitas y diaclasas plumosas. Estas estructuras se pueden usar como indicadores directos de fallas. Según la dirección del desplazamiento se pueden distinguir dos grandes grupos de fallas:

• Fallas con desplazamiento vertical

Son aquellas donde el movimiento es fundamentalmente paralelo al buzamiento o manteo de la superficie de falla. Este tipo de movimiento puede producir pequeños resaltes denominados escarpes de falla, producidos por desplazamientos generados por terremotos. Los movimientos verticales son fallas de ángulo, ya que el movimiento es a lo largo del manteo, hacia arriba o hacia abajo.

Por el movimiento descendente del techo, las fallas con desplazamiento vertical acomodan el alargamiento o la extensión de la corteza.

Las fallas con desplazamiento vertical a gran escala se asocian con estructuras denominadas montañas limitadas por fallas.

Las pendientes de las fallas con desplazamiento vertical disminuyen con la profundidad y se reúnen para formar una falla casi horizontal denominada de despegue, la cual se extiende por varios kilómetros debajo de la superficie, constituyendo un límite importante entre las rocas situadas debajo, que exhiben deformación dúctil, y las situadas encima, que demuestran deformación frágil.



- **Fallas normales o gravitacionales**

Son aquellas fallas en las que el bloque de techo se desplaza hacia abajo en relación con el bloque de muro (bloque de techo es el más cercano a la persona, ver figura anterior).

Cuando la roca sobre el plano de falla, que es el plano formado por el movimiento relativo de bloques, se mueve hacia abajo en relación con las rocas del pie, se producen esfuerzos tensionales que separan la corteza y provocan un levantamiento, el cual induce a que la superficie se estire y quiebre.

Este fenómeno produce estructuras tales como:

- Graben o fosa tectónica o rift: es un bloque central limitado por fallas normales, que se hunde a medida que las placas se separan.
- Horsts o macizo tectónico: corresponden a estructuras levantadas, que limitan los valles elongados producidos por los graben.

La mayoría de las fallas normales o gravitacionales tienen buzamientos de unos 60° , los que tienden a disminuir con la profundidad, aunque algunas tienen buzamientos mucho menores, incluso algunos cercanos a la horizontal.

- **Falla recta o de dirección**

Son las también llamadas fallas de desgarre o cizalle, que tienen lugar por efecto adicional de un desplazamiento horizontal. Un ejemplo especial de este tipo de fallas son las que se desplazan a las dorsales oceánicas.

- **Fallas inversas y cabalgamiento (o subescurrimiento)**

Son las fallas con desplazamiento vertical en las que el bloque de techo se mueve hacia arriba con respecto al bloque del muro, por lo que reflejan un acortamiento de la corteza.

Se denominan fallas inversas a las que tienen buzamientos superiores a 45° y cabalgamientos a aquellas cuyo buzamiento es menor a 45° .

Las fallas inversas de alto ángulo (casi 90°) suelen ser pequeñas en cuanto al desplazamiento (centímetros) y acomodan desplazamientos locales en regiones dominadas por otros tipos de fallas. Aparecen en entornos torsionales.

Los cabalgamientos existen en todas las escalas, con desplazamientos de milímetros, de unos pocos metros, hasta desplazamientos de decenas de kilómetros

Los cabalgamientos son resultado de fuertes esfuerzos compresivos. En esos ambientes, los bloques de corteza se desplazan uno hacia el otro, haciendo que el techo se mueva hacia arriba con respecto al muro.

La formación de cabalgamientos es más pronunciada en zonas de subducción y otros bordes convergentes, donde las placas están colisionando. Las fuerzas compresivas producen pliegues y fallas y provocan un engrosamiento y acortamiento del material implicado.

En regiones montañosas, los cabalgamientos han desplazado los estratos hasta 50 km sobre las unidades de roca adyacentes, por lo que los estratos más antiguos se superponen sobre las rocas más jóvenes. La línea irregular entre las rocas marca el trazado de la falla.

A veces queda un resto aislado de una lámina de cabalgamiento que fue dividido por las fuerzas erosivas del hielo y las aguas corrientes. A este bloque aislado se denomina klippe.

- **Mantos de corrimiento**

Son pliegues-falla (pliegues tumbados) donde se producen cabalgamientos cuyo desplazamiento alcanza varios kilómetros de longitud.

En este tipo de pliegues, los materiales que se desplazan (los superiores) se alejan de su origen, por eso se le llaman alóctonos, a diferencia de aquellos que permanecen en su posición original (los inferiores) que se denominan autóctonos.

Cuando los materiales alóctonos (superiores) son erosionados, su ruptura puede provocar que afloren los autóctonos. Esta manifestación recibe el nombre de ventana tectónica. Asimismo, los materiales alóctonos podrían quedar aislados sobre los autóctonos por efecto de la erosión del manto de corrimiento. A este bloque aislado también se le denomina *klippe*.

- **Fallas con desplazamiento horizontal**

También denominadas desgarres, son las fallas en las que el desplazamiento dominante es horizontal y paralelo a la dirección de la superficie de la falla.

Por su gran tamaño y naturaleza lineal, muchas de ellas tienen una traza visible a lo largo de una gran distancia. Consisten en una zona de fracturas aproximadamente paralelas, cuyo ancho puede ser superior a varios kilómetros.

El movimiento más reciente suele producirse a lo largo de una banda de pocos metros de ancho que puede cortar estructuras como los cauces de los ríos. Además, las rocas trituradas producidas durante la formación de la falla son erosionadas con mayor facilidad, produciendo valles lineales o depresiones que marcan la ubicación de las fallas de deslizamiento horizontal.

Según el movimiento horizontal a lo largo del rumbo de la falla, se distinguen:

- Falla dextral: cuando el bloque de corteza del lado opuesto de la falla se mueve a la derecha, mirando hacia la falla.

- Falla sinistral: tiene sentido de desplazamiento opuesto al dextral dependiendo del movimiento relativo. Muchas grandes fallas transcurrentes o de rumbo ocurren asociadas a los límites de placa.

- Falla transformante: corresponde a una falla con desplazamiento horizontal que atraviesa la litosfera y acomoda el movimiento entre dos grandes placas de corteza. Si cortan la litosfera oceánica, conectan las dorsales oceánicas, y pueden acomodar el desplazamiento entre placas continentales que se mueven en sentido horizontal una con respecto a la otra.

Otras fallas

- **Fallas con desplazamiento oblicuo**

Corresponden a fallas con dirección de movimiento intermedia entre las fallas con desplazamiento vertical y horizontal.

- **De rotación o tijera**

Se forman por efecto del basculado de los bloques sobre el plano de falla (un bloque presenta movimiento de rotación con respecto al otro). Mientras que una parte del plano de falla aparenta una falla normal, en la otra parece una falla inversa.

- **Deformaciones mixtas**

Las deformaciones mixtas se dan cuando se combinan pliegues y fallas.

- **Sistemas de fallas subparalelas**

Mezcla de fallas horizontales y verticales.

- **Escamas tectónicas**

Pliegues en los cuales predominan las fracturas. Se denominan así por su semejanza con la disposición de las escamas de los peces.

RECONOCIMIENTO DE FALLAS EN TERRENO

Para reconocer fallas en terreno es necesario identificar una serie de características del terreno mismo, como las siguientes:

DESPLAZAMIENTO

El desplazamiento de una unidad o estructura geológica indica que existe actividad tectónica, y los desplazamientos tectónicos en el terreno marcan siempre una falla. A veces, se suele confundir un desplazamiento con la estratificación normal del terreno, sobre todo si las capas tienen una inclinación o se confunden con accidentes morfológicos.

ESTRÍAS

Son las líneas finas que se distinguen sobre un plano de falla. Estas líneas indican además la orientación del desplazamiento y muchas veces el sentido. Se encuentran en casi todos los lugares y su reconocimiento es fácil.

DIACLASAS PLUMOSAS DE CIZALLE

Durante un movimiento tectónico se pueden abrir pequeñas fracturas, que se rellenan con calcita, yeso o cuarzo. Estas diaclasas tienen siempre una forma de "S" y pueden alcanzar dimensiones que van desde milímetros hasta metros.

ARRASTRES

Son las líneas finas que se distinguen sobre un plano de falla. Estas líneas indican además la orientación del desplazamiento y muchas veces el sentido. Se encuentran en casi todos los lugares y su reconocimiento es fácil.

BRECHAS DE FALLA (KATACLASITA)

La energía del movimiento hace que algunas veces las rocas en la zona de falla se rompan y se quiebren, formando una brecha tectónica o brecha de falla. Las brechas de fallas normalmente muestran una dureza menor que las rocas no afectadas. Por eso, morfológicamente, una brecha de falla se ve como depresión.

MILONITA

La milonita es una roca metamórfica que se formó por las fuerzas tectónicas. Los minerales (cuarzo) se ven elongados hacia la dirección principal del movimiento. Las milonitas son generalmente duras y bien resistentes a la meteorización.

PLIEGUES

Los pliegues son inflexiones o dislocaciones u ondulaciones, más o menos bruscas, que presentan las capas sedimentarias cuando son modificadas de su posición natural (la horizontal) por los agentes orogénicos. Estos agentes o fuerzas generan deformaciones plásticas y continuas tridimensionales, por lo que también se les llaman cuerpos geológicos.

Los pliegues suelen ser más habituales en rocas sedimentarias plásticas, como las volcánicas, aunque también se presentan en rocas metamórficas.

Los pliegues están formados por un conjunto de elementos que permiten describirlos:

- **Charnela:** es la línea que une los puntos de máxima o mínima altura en cada capa, es decir, representa la máxima curvatura del pliegue, donde los estratos cambian el buzamiento. Un pliegue puede tener más de una charnela o ninguna, que se da cuando el pliegue es un semicírculo.
- **Plano axial:** es aquel que une las charnelas de todas las capas de un pliegue, es decir, el que divide al pliegue tan simétricamente como sea posible.
- **Eje axial:** es la línea que forma la intersección del plano axial con la charnela.
- **Flanco:** corresponden a los planos inclinados que forman las capas, o sea, los laterales del pliegue, situados a uno y otro lado de la charnela. Un pliegue es simétrico cuando posee los flancos iguales e igualmente inclinados y será asimétrico si tiene sus planos desiguales.
- **Cresta:** es la línea que une los puntos más altos de un pliegue.
- **Valle:** es la línea que une los puntos más bajos de un pliegue.
- **Núcleo:** es la parte más interna de un pliegue.
- **Dirección:** es el ángulo que forma la línea de intersección del estrato con el plano horizontal, tomado con respecto del polo norte magnético.
- **Buzamiento:** o inclinación, es el ángulo que forma el plano del estrato con la horizontal.
- **Ángulo de vergencia o inmersión:** es aquel que forma el plano axial con la horizontal. Indica el sentido en que se inclina el plano axial.

TIPOS DE PLIEGUES

Existen diferentes tipos de pliegues los que se clasifican de acuerdo con la edad de los estratos y de acuerdo con la orientación que presente.

Según la edad de los estratos envolventes:

- **Pliegues anticlinales**

Se forman cuando los estratos más nuevos envuelven a los más antiguos. Estos pliegues presentan la parte convexa hacia arriba, presentando un aspecto de bóveda. Los flancos se inclinan en sentido divergente y los estratos más antiguos se sitúan en el núcleo.

Las principales características de los pliegues anticlinales son:

- El centro es un eje de simetría.
- Los dos lados del anticlinal muestran direcciones de inclinación diferentes.
- Los estratos se inclinan siempre hacia los flancos.
- En el centro el manteo es pequeño o cero (estratos horizontales).
- Del centro hacia los flancos el manteo se aumenta.
- En el centro (núcleo) afloran los estratos más antiguos y en los flancos los más jóvenes.

- **Pliegues sinclinales**

Se forman cuando los estratos más antiguos envuelven a los más jóvenes. Sus flancos forman una U característica. Tienen la convexidad hacia el interior de la Tierra, adquiriendo una forma de cuenca o cubeta. Los flancos se inclinan en sentido convergente y los estratos más jóvenes se sitúan en el núcleo.

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

Las principales características de los pliegues sinclinales son:

- El centro es un eje de simetría.
- Los dos lados del sinclinal muestran direcciones (de inclinación) diferentes y opuestas en 180°.
- Los estratos se inclinan siempre hacia el núcleo.
- En el centro, el manteo es pequeño o cero (estratos horizontales).

Según orientación:

- **Pliegues simétricos**

Se distinguen cuando los flancos a ambos lados del plano axial divergen según un mismo ángulo. Por efecto de dos fuerzas iguales y opuestas, se forman pliegues rectos y simétricos, dos de ellos anticlinales (los de las crestas) y el otro sinclinal (el del valle).

Según orientación:

- **Pliegues asimétricos**

Se observan cuando los flancos a ambos lados del plano axial no divergen según un mismo ángulo. Por efecto de las fuerzas iguales y opuestas, se forman pliegues asimétricos, los que pueden ser inclinados, volcados, acostados o tumbados.

- **Pliegues asimétricos inclinados**

Un pliegue asimétrico está inclinado cuando el ángulo formado por el plano axial con la horizontal es mayor de 45° .

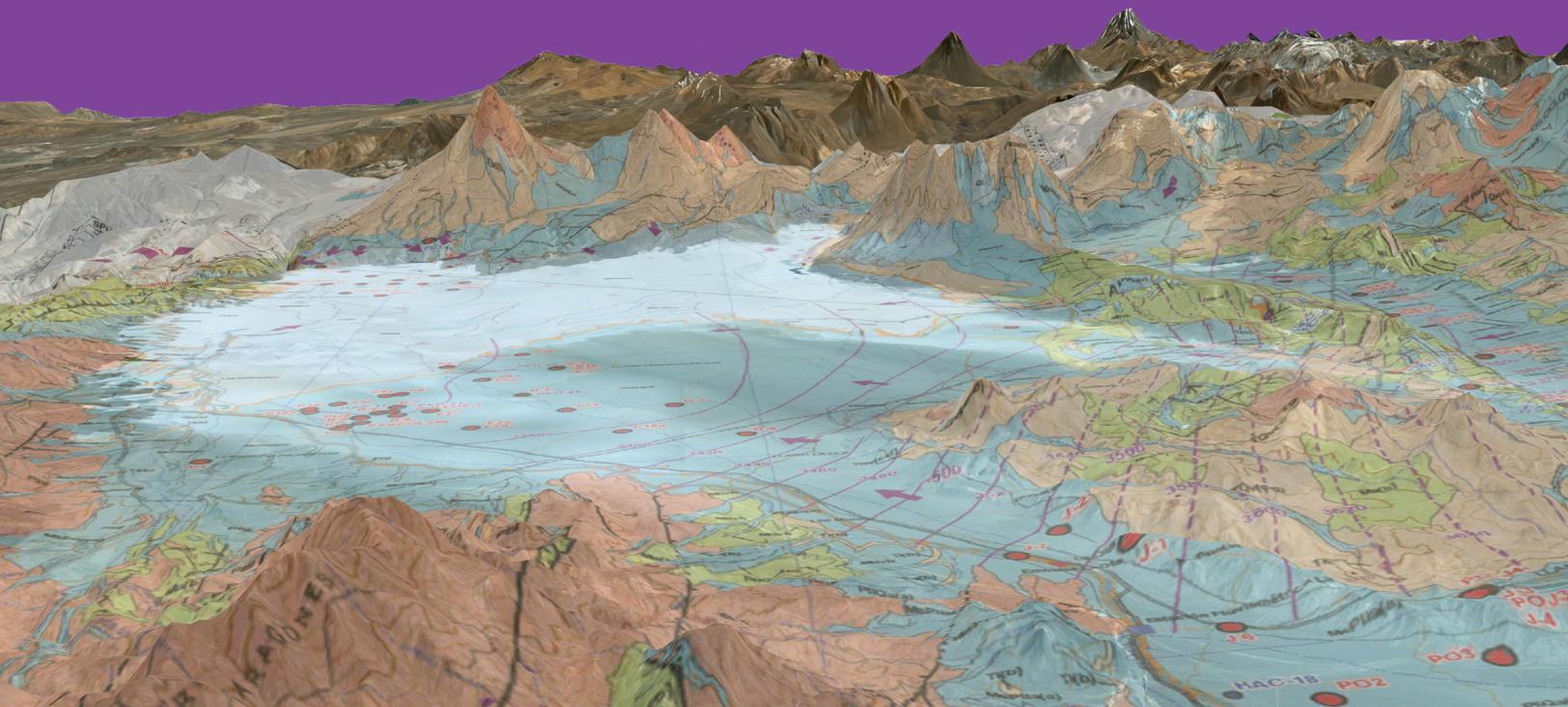
- **Pliegues asimétricos volcados**

Se distinguen cuando uno de los flancos se apoya sobre la parte superior del siguiente pliegue. El ángulo formado por el plano axial con la horizontal es menor de 45° .

- **Pliegues asimétricos acostados o recumbentes**

Se forman cuando el plano axial y los flancos son horizontales.

Las fallas son las fracturas que se presentan en las rocas en las zonas donde hubo un movimiento o desplazamiento. Según la dirección del desplazamiento se pueden distinguir dos grandes grupos de fallas, las con desplazamiento vertical, las normales o gravitacionales y las rectas o de dirección, entre otras. A la hora de reconocer las fallas es necesario identificar características del terreno, tales como: desplazamiento, estrías, diaclasas plumosas de cizalle, arrastres, kataclasita y milonita.



II. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

1. Apoyo al levantamiento topográfico

La topografía tiene un rol importante en casi todas las ramas de la ingeniería, especialmente en la planificación de las operaciones mineras de extracción.

En estas actividades, las operaciones de levantamiento topográfico son parte fundamental, ya que mediante ellas es posible modelar el terreno donde se ejecutarán las actividades de perforación, tronadura, carguío y transporte.

El levantamiento topográfico consiste en un conjunto de mediciones que permiten **obtener la información necesaria para acondicionar el terreno** de acuerdo a las necesidades y requisitos que tiene cada una de las actividades extractivas específicas, como se señala a continuación:

PERFORACIÓN

Todo el diseño de las mallas de perforación debe estar sustentado por un levantamiento topográfico, que permite distinguir los diferentes sectores, sus coordenadas y otros parámetros de interés en la explotación.

TRONADURA

La construcción de la pila con el material tronado, siempre debe ser apoyada por un levantamiento topográfico, ya que gracias a la información que entrega es posible definir las zonas mineralizadas y la eficiencia de la tronadura.

CARGUÍO

Los equipos de carguío deben actuar en las diferentes zonas, de acuerdo al programa de extracción minera, el cual es apoyado por la sectorización indicada por el levantamiento topográfico. La exactitud de esta operación determinará la eficiencia de las etapas posteriores en el proceso productivo. En efecto, un error u omisión en la topografía, puede significar que se envíe materiales de menor ley, y con ello que la recuperación metalúrgica sea menor.

TRANSPORTE

Los equipos de transporte deben llevar los diferentes materiales a través de las rutas que se han trazado. Estas rutas tienen las características óptimas para que el transporte se realice en forma eficiente y segura. Las pendientes, los peraltes de seguridad requeridos y las distancias a los diferentes puntos son calculados y realizados gracias al apoyo de un levantamiento topográfico.

2. Áreas de la topografía

La topografía es una rama de la ingeniería que **estudia las posiciones relativas de los puntos de interés que se encuentran en la superficie terrestre o bajo ella**. Cada posición es determinada en función de las medidas y combinaciones de los tres elementos espaciales: distancia, elevación y dirección.

A su vez, la topografía explica los procedimientos y las operaciones del trabajo de campo, los métodos de cálculo o procesamiento de datos y la representación del terreno en un plano o dibujo topográfico a escala.



Por su parte, el **levantamiento topográfico** corresponde al conjunto de operaciones que se utilizan para determinar las posiciones de puntos en la superficie de la Tierra -tanto en planta como en altura-, incluyendo los cálculos correspondientes y la representación en un plano, ya sea horizontal como verticalmente.

La topografía se divide en tres ramas principales: **geodesia, fotogrametría y topografía plana**. Los avances de las tres ramas de la topografía, han permitido que cada una de ellas se diferencie de las otras, si bien se interrelacionan y complementan. De hecho, actualmente existen las profesiones de ingeniero topográfico, ingeniero geodesta e ingeniero fotogrametrista.



GEODESIA

La **geodesia** se ocupa de las mediciones de grandes extensiones de terreno, como las que se requieren para confeccionar la carta geográfica de un país, para establecer fronteras y límites internos, y para determinar líneas de navegación en ríos y lagos. Estos levantamientos tienen en cuenta la verdadera forma de la Tierra y requieren de gran precisión pues trabajan considerando la forma lipsooidal de la superficie del planeta.

Sin embargo, cuando la zona en cuestión no es demasiado extensa (menos de 1 hectárea), se puede obtener la precisión requerida considerando la Tierra como una esfera perfecta. Así, los levantamientos de grandes ciudades o grandes obras (por ejemplo el proyecto de emplazamiento de una planta metalúrgica) se hacen bajo el supuesto de que la Tierra es perfectamente esférica.

En la realización de los levantamientos de alta precisión, se establecen los puntos de control primario o puntos geodésicos. Estos son puntos debidamente materializados en la superficie, es decir, con posiciones y elevaciones conocidas. Estas variables son muy importantes porque constituyen puntos o redes de apoyo y son una referencia confiable para todos los demás levantamientos de menor precisión.

Los puntos que se han fijado geodésicamente (levantamiento de control), como por ejemplo los vértices de triangulación (medición de una zona a través de 3 puntos de referencia), constituyen una red a la que puede referirse cualquier otro levantamiento -sin temor a error- en cuanto a distancias ya sea horizontal o vertical, y dirección, derivadas de la diferencia entre la superficie de referencia y la verdadera superficie de la Tierra.

FOTOGRAMETRÍA

La **fotogrametría es la disciplina que utiliza fotografías para obtener mapas de terrenos**. Los levantamientos fotogramétricos comprenden la obtención de datos y mediciones precisas a partir de fotografías del terreno, tomadas con cámaras especiales u otros sensores, ya sea desde aviones (fotogrametría aérea) o puntos elevados del terreno (fotogrametría terrestre) y que tiene aplicación en trabajos topográficos. En la fotogrametría se utilizan principios de perspectiva para realizar la proyección de los detalles que figuran en las fotografías de las superficies, sobre planos a escala. Los trabajos fotogramétricos deben apoyarse sobre puntos visibles y localizados por métodos de triangulación topográfica o geodésicos, los que sirven de control tanto planimétrico como altimétrico.

La fotogrametría aérea se basa en fotografías tomadas desde aviones equipados para el trabajo, en combinación de las técnicas de aerotriangulación analítica, para establecer posiciones de control que permitan obtener las proyecciones reales del terreno y hacer comprobaciones con una menor precisión que la obtenida en las redes primarias de control geodésico.

Este método tiene la ventaja de la rapidez, la profusión de detalles y su aplicación en lugares de difícil o imposible acceso desde el propio terreno. Esta disciplina se emplea tanto para fines militares, como para levantamientos topográficos generales, anteproyectos de carreteras, canales y usos agrícolas catastrales, estudios de taquímetro, puertos, proyectos urbanos, etc.

La fotogrametría terrestre hace levantamientos basados en fotografías tomadas desde estaciones situadas en el terreno, y es un excelente medio auxiliar los levantamientos topográficos clásicos, especialmente en el trazado de planos a pequeña escala de zonas montañosas y para el levantamiento de accidentes de taquímetro. El trabajo consiste en tomar fotografías desde dos o más estaciones adecuadas, las que entregan detalles del terreno fotografiado, tanto en planta como en alzado o perfil.

Las operaciones corrientes en un levantamiento fotogramétrico general son las siguientes:

- Estudios sobre planos de la región disponibles, para planificar el trabajo, determinar las líneas de vuelo en función de la distancia focal de la cámara, la escala de la fotografía, la superposición o traslapes de las fotografías -tanto longitudinal como transversal- el tamaño de los negativos, la altura de vuelo, etc.
- Reconocimiento del terreno a fotografiar.
- Fijación de los puntos de control terrestre básico, tanto planimétricos como altimétricos para lograr la correcta orientación y localización de los puntos sobre la fotografía.
- Toma, desarrollo, clasificación, y numeración de las fotografías.
- Ensamble de mosaicos o disposición secuencial de las fotografías en conjunto, de manera que representen el área deseada.
- Elaboración de planos obtenidos por el sistema de restitución fotogramétrica y sus aplicaciones para proyectos de ingeniería.

Actualmente, existen otros tipos de fotogrametría como la espacial o satelital, inercial y la que se realiza mediante sensores remotos. Estos métodos tienen aplicaciones específicas en la estrategia militar y en el control de itinerarios de transporte a largas distancias.

Los levantamientos por satélite determinan la posición de sitios en el terreno, utilizando imágenes para la medición y mapeo de grandes superficies sobre la Tierra.



LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO PLANO

El levantamiento topográfico plano posee el mismo fin que el geodésico, pero difiere en magnitud y precisión. Por consiguiente, también son diferentes sus métodos. La topografía plana se encarga de medir terrenos y lotes o parcelas de áreas pequeñas, proyectados sobre un plano horizontal, despreciando los efectos de la curvatura terrestre.

La mayor parte de los levantamientos en proyectos de ingeniería son de esta clase, ya que los errores cometidos por no considerar la curvatura terrestre son despreciables y el grado de precisión final queda dentro de los márgenes permisibles desde el punto de vista práctico.

El no tener en cuenta la curvatura terrestre se fundamenta en datos demostrables mediante la aplicación de principios de geometría y trigonometría esférica.

La longitud de un arco de 18 km sobre la superficie de la Tierra es solo 15 mm mayor que la cuerda subtendida por el mismo y la diferencia entre la suma de los ángulos de un triángulo plano de 200 km²

(20.000 hectáreas) y la de los ángulos de un triángulo esférico correspondiente, es de un solo segundo de arco. Ello explica que únicamente deba considerarse la verdadera forma de la Tierra cuando el levantamiento se refiera a grandes superficies y su ejecución exija de alta precisión.

Cuando se trata de determinar alturas, aun en los casos que no requieran gran precisión, no puede despreciarse la curvatura terrestre. Supongamos un plano tangente a la superficie del nivel medio del mar en un punto dado. La distancia vertical entre el plano y el nivel medio del mar, a una distancia de 16 km -medida a partir del punto de tangencia- es de 20 metros. A una distancia de 160 km, la distancia es de dos kilómetros.

Por su parte, los trabajos de nivelación no requieren ningún trabajo adicional para referir las alturas medidas a dicha superficie esferoidal, ya que la nivelación de los puntos consecutivos normalmente se hace a distancias cortas y cada línea visual va quedando paralela a la superficie media de la tierra.

3. La topografía plana

El levantamiento topográfico plano posee el mismo fin que el geodésico, pero difiere en magnitud y precisión. Por consiguiente, también son diferentes sus métodos.

La topografía plana **se encarga de medir terrenos y lotes o parcelas de áreas pequeñas, proyectados sobre un plano horizontal**, despreciando los efectos de la curvatura terrestre.

La mayor parte de los levantamientos en proyectos de ingeniería son de esta clase, ya que los errores cometidos por no considerar la curvatura terrestre son despreciables y el grado de precisión final queda dentro de los márgenes permisibles desde el punto de vista práctico.

El no tener en cuenta la curvatura terrestre se fundamenta en datos demostrables mediante la aplicación de principios de geometría y trigonometría esférica.

La longitud de un arco de 18 km sobre la superficie de la Tierra es solo 15 mm mayor que la cuerda subtendida por el mismo y la diferencia entre la suma

de los ángulos de un triángulo plano de 200 km² (20.000 hectáreas) y la de los ángulos de un triángulo esférico correspondiente, es de un solo segundo de arco. Ello explica que únicamente deba considerarse la verdadera forma de la Tierra cuando el levantamiento se refiera a grandes superficies y su ejecución exija de alta precisión.

Cuando se trata de determinar alturas, aun en los casos que no requieran gran precisión, no puede despreciarse la curvatura terrestre. Supongamos un plano tangente a la superficie del nivel medio del mar en un punto dado. La distancia vertical entre el plano y el nivel medio del mar, a una distancia de 16 km -medida a partir del punto de tangencia- es de 20 metros. A una distancia de 160 km, la distancia es de dos kilómetros.

Por su parte, los trabajos de nivelación no requieren ningún trabajo adicional para referir las alturas medidas a dicha superficie esferoidal, ya que la nivelación de los puntos consecutivos normalmente se hace a distancias cortas y cada línea visual va quedando paralela a la superficie media de la tierra.

FUNDAMENTO DE LA TOPOGRAFÍA PLANA

La mayor parte de los levantamientos de la topografía se realizan mediante la topografía plana y **tienen por fin el cálculo de la superficie o áreas, volúmenes, distancias, direcciones y la representación de las medidas tomadas en el campo**, en los planos topográficos correspondientes.

Estos planos se utilizan como base para la mayoría de los trabajos y proyectos de ingeniería relacionados con la planeación y construcción de obras civiles. Por ejemplo, se requieren levantamientos topográficos antes, durante y después de la planeación y construcción de carreteras, vías férreas, sistemas de transporte masivo, edificios, puentes, túneles, canales, obras de irrigación, represas, sistemas de drenaje, fraccionamiento o división de terrenos urbanos y rurales (particiones), sistemas de aprovisionamiento de agua potable (acueductos), eliminación de aguas negras (alcantarillados), oleoductos, gasoductos, líneas de transmisión, control de la aerofotografía, determinación de límites de terrenos de propiedad privada y pública (linderos y medianías) y muchas otras actividades relacionadas con geología, arquitectura del paisaje, arqueología, etc.

ESTUDIO DE LA TOPOGRAFÍA PLANA

El estudio de la topografía plana se divide en dos grandes áreas: la planimetría y la altimetría.

PLANIMETRÍA O CONTROL HORIZONTAL

La planimetría se dedica a la proyección del terreno sobre un plano horizontal imaginario (vista en planta) que se supone es la superficie media de la Tierra. Esta proyección se denomina base productiva, la cual se considera al medir distancias horizontales y calcular el área de un terreno. En este caso, no interesan las diferencias relativas de las elevaciones entre los diferentes puntos del éste. La ubicación de los diferentes puntos sobre la superficie se realiza midiendo ángulos y distancias a partir de puntos y líneas de referencia proyectadas sobre un plano horizontal. El conjunto de líneas que unen los puntos observados se denomina poligonal base, la cual constituye la red fundamental o esqueleto del levantamiento. A partir de ésta, se fija por referencia la posición de todos los detalles o accidentes naturales y/o artificiales de interés. La poligonal base puede ser abierta o cerrada según los requerimientos del levantamiento topográfico, obteniéndose como resultado de los trabajos de planimetría un esquema horizontal.

ALTIMETRÍA O CONTROL VERTICAL

La altimetría se encarga de medir las diferencias de nivel o de elevación entre los diferentes puntos del terreno, las cuales representan las distancias verticales medidas a partir de un plano horizontal de referencia. La determinación de las alturas o distancias verticales también se puede llevar a cabo a través de las mediciones de las pendientes o grado de inclinación del terreno y de la distancia inclinada entre cada dos puntos. Como resultado se obtiene el esquema vertical.

PLANIMETRÍA Y ALTIMETRÍA SIMULTÁNEAS

La combinación de las dos áreas de la topografía plana permite la elaboración o confección de un "plano topográfico" propiamente dicho, donde se muestra tanto la posición en planta como la elevación de cada uno de los diferentes puntos del terreno. La elevación o altitud de los diferentes puntos del terreno se representa mediante las denominadas curvas de nivel, líneas trazadas a mano alzada en el plano de planta con base en el esquema horizontal y que unen puntos que tienen igual altura. Las curvas de nivel sirven para reproducir en el dibujo la configuración topográfica o relieve del terreno.



OPERACIONES O ACTIVIDADES DEL TRABAJO DE TOPOGRAFÍA PLANA

Las actividades u operaciones necesarias para llevar a cabo un levantamiento topográfico, se dividen prácticamente en dos tipos de trabajo: trabajo de campo y trabajo de oficina.

Trabajo y operaciones de campo: Los trabajos y operaciones de campo, comprenden todas las labores que son realizadas directamente sobre el terreno tales como:

- Selección del método del levantamiento, los instrumentos y equipos necesarios, la comprobación y corrección de los mismos junto con la precisión requerida para el levantamiento.
- Determinación de la mejor ubicación de los vértices de una poligonal base o de referencia (ya sea abierta, cerrada o ramificada) que van a conformar el esqueleto o estructura del levantamiento.
- Programación del trabajo y la toma o recolección de datos necesarios, realización de mediciones (distancias, alturas, direcciones) y su correspondiente registro en libretas adecuadas, denominadas "carteras de topografía", ya sea de manera manual o electrónica.
- Colocación y señalamiento de mojones de referencia para delinear, delimitar, marcar linderos, fijar puntos, guiar trabajos de construcción y controlar mediciones.
- Medición de distancias horizontales y/o verticales entre puntos u objetos o detalles del terreno, ya sea en forma directa o indirecta.
- Medición de ángulos horizontales entre alineamientos o líneas en el terreno.
- Determinación de la dirección de un alineamiento con base en una línea tomada como referencia, llamada línea terrestre o meridiana.
- Medición de ángulos verticales entre dos puntos del terreno ubicados sobre el mismo plano vertical.
- Localización o replanteo de puntos u objetos sobre el terreno teniendo como base las mediciones angulares y distancias previamente conocidas.

Trabajo y operaciones de oficina: El trabajo de oficina es un complemento a las operaciones de campo. Sobre la base de los datos, mediciones y registros que se hayan obtenido, en términos generales se calcularán los siguientes parámetros:

- Coordenadas cartesianas de todos los puntos.
- Distancia entre puntos.
- Ángulos entre dos alineamientos.
- Dirección de un alineamiento con base en una línea tomada como referencia.
- Áreas de lotes, parcelas, franjas, áreas de secciones transversales.
- Cubicaciones o determinación de volúmenes de tierras.
- Alturas relativas de puntos.

Finalmente, se debe confeccionar un plano o mapa a escala (representación gráfica o dibujo) de los puntos y objetos y detalles levantados en el campo. Los planos pueden ser representaciones en planta de relieve, de perfiles longitudinales de líneas, de secciones transversales, cortes, relleno, etc.

HIPÓTESIS EN QUE SE BASA LA TOPOGRAFÍA PLANA

La topografía plana opera sobre porciones relativamente pequeñas de la Tierra, y utiliza como plano de referencia una superficie plana y horizontal, sin considerar su verdadera forma elipsoidal, es decir, ignorando la naturaleza curva de la tierra.

En consecuencia, los principios básicos de la topografía plana se basan en las siguientes hipótesis:

- La línea que une dos puntos sobre la superficie de la Tierra es una línea recta y no una línea curva.
- Las direcciones de la plomada en dos puntos cualquiera, son paralelas (en realidad están dirigidas hacia el centro de la Tierra).
- La superficie imaginaria de referencia respecto a la cual se toman las alturas es una superficie plana y no curva.
- El ángulo formado por la intersección de dos líneas sobre la superficie terrestre es un ángulo plano y no esférico.

4. Planos

Un plano es una representación gráfica de una superficie. Existen diferentes tipos de planos, de acuerdo con el tipo de información que representan y los objetivos que cumplen.

PLANOS TOPOGRÁFICOS

Un plano topográfico es una representación gráfica de una determinada superficie, que por su escasa extensión no requiere del uso de los sistemas cartográficos. De todas formas, la correcta interpretación de un plano topográfico requiere el conocimiento de tres factores:

ESCALA

Ya sea numérica y/o gráfica. Permite usar una regla (o escala) para comprender las distancias reales en el terreno.

DIRECCIÓN Y GRADO DE LA INCLINACIÓN

Son las consideraciones más importantes en una planificación de terreno y diseño debido a su efecto sobre la estabilidad de la inclinación. Esencialmente, en un plano topográfico la inclinación es la diferencia de elevación entre dos curvas de nivel dadas, expresadas en porcentaje o proporción.

EL INTERVALO DE CONTORNO

Es la diferencia en elevación entre curvas de nivel.

PLANOS DE PERFORACIÓN

Corresponden al documento guía que el operador a cargo de la faena debe consultar para realizar la operación de perforación en forma correcta y segura. Para ello es necesario considerar aspectos de la confección de los planos o croquis y de lectura e interpretación de los planos.



CONFECCIÓN DE PLANOS Y CROQUIS

En la actualidad, la confección de planos de perforación es realizada en forma automática por los softwares de planificación minera (Vulcan, Datamine) o de tronadura (QED, Sabrex). La determinación de las coordenadas de cada perforación es definida por los sistemas de posicionamiento satelital (GPS), los cuales integran la posición de cada perforación en forma remota a las perforadoras, de manera que ya no se requieran de planos para identificar la perforación.

No obstante, para la confección de planos se necesita la información que generalmente es proporcionada por el departamento de topografía, donde se lleva el control diario de todas las zonas existentes en la faena minera. Asimismo, el personal de este departamento es responsable de identificar con señales (monos), las perforaciones en terreno y compartir esta información con los responsables de la explotación minera, como son el departamento de geología, de operaciones mineras y planificación de la mina.



LECTURA E INTERPRETACIÓN DE PLANOS

Para la interpretación y la lectura de los planos es necesario que estos contengan información básica, principalmente en lo que se señala a continuación:

- Identificación (numérica u otra) de cada perforación.
- Identificación de la zona a perforar (mineral, estéril, rampa).
- Identificación de zonas de la mina, como crestas, patas, rampas u otras instalaciones.
- Malla de perforación (burden, espaciamento).
- Largo y diámetro de perforación.
- Coordenadas Norte y Este.
- Identificación de máquina que realizará la perforación (Ej: DMM-2).
- Fecha del plano y de la tronadura, cantidad de perforaciones.

SIMBOLOGÍAS Y UNIDADES USADAS EN TOPOGRAFÍA

En un plano de topografía se utilizan unidades y símbolos de representación con el fin de mejorar la comprensión y evitar confusiones e interpretaciones erróneas causadas por el mal uso u omisión de simbologías y unidades de medición.

UNIDADES DE LONGITUD

La unidad de longitud más usada es el metro. El metro se define como la unidad de longitud que adquiere una regla de platino e iridio conservada en la oficina internacional de pesas y medidas de Breteuil, Paris, a una temperatura de 0 °C. Sin embargo, en la actualidad han surgido definiciones más exactas, determinando un metro como "la longitud recorrida por un rayo de luz en el vacío a un tiempo de 1/299792456 segundos".

UNIDADES DE SUPERFICIE

En topografía se trabaja en general con hectáreas (10.000 m²), no obstante, en minería esta unidad de superficie puede cambiarse por metros cuadrados o millas cuadradas.

UNIDADES ANGULARES

Se trabaja con las graduaciones sexagesimales o centesimales.

GRADUACIÓN SEXAGESIMAL

Considera una circunferencia dividida en 360 partes iguales llamadas grados. Cada grado se compone de 60 minutos, y cada minuto de 60 segundos, escribiéndose de la siguiente forma: **127° 22'33"** -->> **Ciento veintisiete grados, veintidós minutos y treinta tres segundos.**

GRADUACIÓN CENTESIMAL

Es la graduación más usada debido a su sencillez. Consiste en dividir la circunferencia en 400 grados, y cada uno de éstos en 100 minutos. Cada minuto tiene 100 segundos, escribiéndose las posiciones de 2 formas equivalentes: **25g 68m 86s ó 25,6886g**

Además de la simbología geológica, propia de las etapas de prospección y modelamiento geológico, en general, para las actividades mineras se utiliza la siguiente simbología asociada a los mapas

Túnel, cueva o mina

Mina abandonada

Mina producción

Manteo: inclinación de una estructura
Dirección de inclinación
Rumbo

5. Topografía básica de minas

En toda labor minera y desde las etapas previas a la explotación, es fundamental el uso de la topografía. Por lo tanto, además de conocer los equipos y técnicas de topografía, resulta fundamental conocer los principios básicos para la aplicación de mediciones topográficas en las diferentes operaciones, con especial énfasis en la explotación minera.

REPLANTEO Y UBICACIÓN DE PUNTOS TOPOGRÁFICOS

Una vez que se ha instalado en forma adecuada el equipo de medición preferentemente en un punto de coordenadas conocidas, se deben realizar los siguientes pasos:

- Identificar la ubicación del equipo de medición para iniciar toda la medición respecto de las medidas originales ya conocidas.
- Conociendo las coordenadas del punto de ubicación del equipo (ejemplo: 5000;5000), se empiezan a asignar coordenadas a los puntos que se van tomando y que sirven para la medición, registrándolas ya sea en una libreta o en forma automática para las estaciones totales.
- A partir de cada medición, se debe indicar al ayudante que mueva el prisma o elemento de referencia para ir tomando todos los puntos de interés. Para los taquímetros es necesario tomar el ángulo horizontal y vertical además de la distancia geométrica. En las estaciones totales, todo este proceso se remite a apretar el botón correspondiente una vez que se toma cada punto.
- Construir un mapa con todos los puntos identificados, los que deberían reflejar un mapa de puntos y coordenadas topográficas, como se muestra a continuación.

NIVELACIÓN

Para conocer el desnivel entre dos puntos a través de un instrumento que mida ángulos y distancias, se puede calcular el cateto del ángulo rectángulo formado por la proyección sobre la superficie de referencia, el segmento que une a los dos puntos y el desnivel que buscamos. Este método adolece de una pérdida muy rápida de precisión en cuanto las distancias y/o el ángulo de elevación crecen. Para obtener en el desnivel entre dos puntos una precisión de milímetros, se emplean los niveles.

Los niveles, son los aparatos que permiten obtener una visual rigurosamente horizontal. El cálculo del desnivel entre dos puntos se consigue a partir de la diferencia de lecturas a dos miras o reglas verticales donde se apoyan dichas miras. Si se encadenan desniveles parciales, se puede calcular un desnivel total entre dos puntos muy alejados.

Dentro de la gama de métodos de nivelación simple, el método más recomendable y el que se suele utilizar, es el método del punto medio, ya que elimina todos los errores sistemáticos del nivel, los de esfericidad y refracción, e incluso los de defectuosa corrección.

PERFILES DE TRANSPORTE

Un perfil de transporte (transversal o longitudinal) es una sección que se dibuja haciendo un plano que corta verticalmente la superficie, ya sea a través de la Tierra, o a por medio de un objeto como un talud minero o un camino de acceso.

Las secciones ayudan en el análisis de terrenos e ilustran como se puede interactuar con la construcción. La línea de base de la sección indica la interconexión entre el piso y el espacio aéreo y sirve como una marca para visualizar el relieve topográfico. Típicamente la línea de base se sitúa al nivel del mar para el análisis de escala mayor, pero cualquier elevación puede situarse como la línea de base inicial para análisis de pendiente de sitio de menor escala.

Si se usa una línea de base que no sea el nivel del mar se le refiere como un dato artificial. Esta línea de base es la elevación más baja mostrada en el dibujo de una sección.



DIBUJO DE UNA SECCIÓN

Si se tiene un mapa de líneas de nivel, es muy fácil dibujar una simple sección. El proceso se puede indicar a continuación:

- Identificar el plano del corte, la línea a través de la cual se quiere ver un corte de sección.
- Dibujar una línea de base y líneas horizontales que representen cada contorno. Se puede escoger cualquier escala para este dibujo. Es mejor usar una escala que sea lo suficientemente grande para poder ver, pero lo suficientemente pequeña como para que el dibujo sea fácil de manejar. Estas líneas de elevación horizontal deberán coincidir con las elevaciones del contorno del mapa a lo largo del plano de corte.
- Proyectar las líneas desde la intersección de las curvas de nivel a lo largo del plano de corte hasta la elevación correspondiente en el dibujo de la sección. Marcar los puntos apropiados.
- Conectar los puntos para completar la sección.

GEOMETRÍA DE SECCIONES O PILAS

Una vez finalizados los trabajos de terreno mediante la toma de puntos y replanteo gráfico en un mapa -como se indicó anteriormente- se puede realizar un completo trabajo, que incluye el cálculo y representación gráfica de secciones, como por ejemplo, botaderos de estéril, taludes y pilas de mineral previas al carguío.

En la actualidad, se utilizan en forma intensiva programas computacionales que interactúan con el trabajo en terreno mediante interfases que permiten intercambiar la información en forma rápida y confiable, minimizando errores y mejorando las posibilidades de interpretación de información. Para ello se debe realizar el siguiente procedimiento:

- El primer paso consiste en presentar en forma gráfica los puntos tomados en terreno, mediante softwares del tipo CAD u otros relacionados, como por ejemplo Vulcan, Datamine y Surpac para el caso minero.
- Generación de la triangulación en forma automática, previa a la generación de curvas de nivel. Cada uno de los vértices del triángulo tiene coordenadas X, Y, Z. (Datamine Chile).
- Representación gráfica (3D) de la triangulación con curvas de nivel indicadas (Datamine Chile)
- Vista de planta de la sección con representación de curvas de nivel.

III. MARCO LEGAL SSO

“Un acercamiento a la seguridad en actividades de geología”

1. Marco legal

Una faena minera tiene asociados una variedad de peligros a los cuales están expuestos sus trabajadores. Por esta razón, la seguridad y salud en esta actividad están reguladas, además de la normativa general contenida en el Código del Trabajo y en la Ley N° 16.744, en el Reglamento de Seguridad Minera presente en el Decreto Supremo N° 72 de 1985 modificado por el DS 132 de 2004 del Ministerio de Minería.

A continuación, se revisará el Marco legal general para minería, seguido de la identificación y clasificación de riesgos en el trabajo que también aplican para las actividades en geología.

LEY 16.744 Y CÓDIGO DEL TRABAJO

Estas normas regulan la organización y las acciones que las empresas o faenas deben considerar para evitar la ocurrencia de accidentes del trabajo y enfermedades profesionales, lo que incluye todas las medidas necesarias para proteger eficazmente la vida y salud de los trabajadores, tanto propios como de compañías contratistas.

Algunas de estas obligaciones son:

- Contar con Departamentos de Prevención de Riesgos Profesionales y Comités Paritarios de Higiene y Seguridad de empresa o de faena, encargados de la organización, asesoría y gestión de la seguridad y salud, según el tamaño de la empresa o faena.
- Mantener actualizado un reglamento interno de orden, higiene y seguridad, que contenga las obligaciones y prohibiciones a que deben sujetarse los trabajadores y un Reglamento Especial para Empresas Contratistas.
- Informar a los trabajadores los peligros a los que estarán expuestos y la forma correcta de controlarlos manteniendo condiciones adecuadas de higiene y seguridad en las faenas, como también los implementos necesarios para prevenir los siniestros.
- Denunciar al organismo administrador respectivo, inmediatamente después de haberse producido todo accidente o enfermedad que pueda ocasionar incapacidad para el trabajo o la muerte de la víctima y asegurar la atención médica oportuna.

La Ley 16.744 declara obligatorio el seguro social contra riesgos de accidentes del trabajo y enfermedades profesionales, definiendo ambos conceptos de la siguiente manera:

- **Accidente del trabajo:** Toda lesión que una persona sufra a causa o con ocasión del trabajo, y que le produzca incapacidad o muerte. Son también accidentes del trabajo los ocurridos en el trayecto directo, de ida o regreso, entre la habitación y el lugar del trabajo.
- **Enfermedad profesional:** Aquella causada de manera directa por el ejercicio de la profesión o el trabajo que realice una persona y que le produzca incapacidad o muerte.

REGLAMENTO DE SEGURIDAD MINERA

El Reglamento de Seguridad Minera incluye disposiciones específicas para la explotación de minas (subterráneas, rajo abierto, carbón o petróleo); manipulación de explosivos; tratamiento de minerales; construcción y obras civiles; instalaciones de apoyo; embarque de minerales; y cierre de faenas. Estas regulaciones tienen como objetivo:

Proteger la vida e integridad física de las personas que se desempeñan en dicha industria, y de aquellas que bajo circunstancias específicas y definidas están ligadas a ella.

Resguardar las instalaciones e infraestructura que hacen posible las operaciones mineras y, por ende, la continuidad de sus procesos.

Algunas exigencias a las empresas mineras contenidas en el Reglamento son:

- Elaborar, desarrollar y mantener reglamentos internos específicos de las operaciones críticas, que garanticen la integridad física de los trabajadores, el cuidado de las instalaciones, equipos, maquinarias y del medio ambiente (Artículo 25). Además, deberán elaborar y mantener un sistema documentado de procedimientos de operación que garanticen el cumplimiento de los reglamentos (Art. 26).
- Capacitar a sus trabajadores sobre el método y procedimiento para ejecutar correctamente su trabajo (Art. 28).
- Proporcionar de forma gratuita a sus trabajadores los elementos de protección personal adecuados a la función que desempeñen (Art. 32).
- Prohibición de conducción de vehículos por personas que se encuentren bajo la influencia del alcohol y/o drogas, o que se determine que son consumidores habituales de estas sustancias (Art. 43).

- Por motivo alguno deberá permitirse el tránsito de personal debajo de lugares con riesgo de caídas de cargas, herramientas, materiales o líquidos que puedan causar daños a la integridad física de las personas (Art. 46).
- Implementación de barandas o cables de acero u otro material resistente, afianzados a las rocas de las cajas, pilares u otro lugar seguro en senderos en altura para tránsito de personas (Art. 48).
- Disponer de medios expeditos y seguros para el acceso y salida del personal desde cualquier parte de ellas. Para facilitar la circulación, los caminos, senderos y labores deberán mantenerse en buenas condiciones y debidamente señalizadas (Art. 58).
- Mantener, en forma permanente, los elementos necesarios de primeros auxilios y transporte de lesionados, tales como camillas para rescate y transporte, mantas de protección y botiquín de primeros auxilios (Art. 72).
- Adoptar las medidas de prevención y control de incendios, tendientes a resguardar la integridad de las personas, equipos e instalaciones. Como, por ejemplo, contar con los elementos e instalaciones de detección y extinción de incendios.
- Desarrollar e implementar un programa de entrenamiento para su personal en técnicas de prevención y control de incendios, etc. (Art. 196).
- Inspeccionar diariamente los vehículos automotores, en especial los frenos, dirección, luces, bocina y depurador de gases. Al comienzo de cada jornada, antes de ser puestos en servicio, deberá asegurarse que se han efectuado las reparaciones necesarias. Ningún vehículo automotor podrá transitar si tiene algún defecto en cualquiera de los sistemas antes mencionados (Art. 374).

La aplicación y fiscalización del cumplimiento del Reglamento de Seguridad Minera es de responsabilidad exclusiva del Servicio Nacional de Geología y Minería. Entidad que investigará los accidentes y exigirá acciones correctivas.

IDENTIFICAR Y CLASIFICAR LOS RIESGOS DEL TRABAJO

Con el fin de evitar accidentes y enfermedades profesionales es importante contar con una metodología para identificar peligros, así como evaluar y controlar los riesgos de cualquier actividad que se va a realizar.

- **Peligro:** Fuente o situación con potencial de daño en términos de lesión, enfermedad, daño a la propiedad, al medioambiente de trabajo, o a una combinación de estos (OHSAS 18001:1999). Se refiere a una conducta, un elemento o una situación, que puede producir un incidente. Por ejemplo: correr por una escalera.
- **Incidente:** Evento no planificado que tiene el potencial de provocar un accidente relacionado con el trabajo, con consecuencias de daño o deterioro a la salud. Ejemplo: tropezar en la escalera.
- **Accidente del trabajo:** Toda lesión que una persona sufra a causa o con ocasión del trabajo, y que le produzca incapacidad o muerte. Son también accidentes del trabajo los ocurridos en el trayecto directo, de ida o regreso, entre la habitación y el lugar del trabajo, aunque correspondan a distintos empleadores (Ley 16.744).
- **Riesgo:** Combinación de la probabilidad (tiempo de exposición, características de la persona expuesta, condiciones del lugar de trabajo, etc.) y las consecuencias de la ocurrencia de un evento peligroso (severidad de las lesiones, enfermedades profesionales o daño a la propiedad).

La forma de identificar y controlar los riesgos debe comenzar con definir las tareas que se realizarán, para luego identificar los peligros asociados a ellas. Las amenazas se pueden clasificar por temas:

- Herramientas de trabajo.
- Trabajo en altura física o geográfica.
- Sustancias peligrosas.
- Manejo de materiales.
- Condiciones de terreno.
- Vulnerabilidades geomecánicas.
- Vehículos livianos.
- Agentes físicos (ruido, frío, radiaciones, etc.).
- Agentes químicos (sílice, etc.) o biológicos.

Ejemplos de identificación de incidente:

- Caída a diferente nivel o al mismo nivel.
- Contacto con objetos calientes o cortantes.
- Contacto con fuego, electricidad o sustancias químicas.
- Golpeado con elementos o herramientas o contra equipos.
- Choque por otro vehículo.
- Atrapamiento entre objetos en movimiento o fijo y movimiento.
- Exposición a polvo, gases, vapores, humos metálicos o radiaciones.
- Exposición a calor, frío o ruido.
- Inmersión.
- Sobreesfuerzo.
- Incendio.
- Otros

Estimar el riesgo implica evaluar la probabilidad y consecuencias de que se materialice el accidente o enfermedad. Esta cuantificación se rige por la Magnitud de Riesgo (MR) calculada en el caso de accidentes, con la siguiente fórmula:

$$\text{MR} = \text{Probabilidad} \times \text{Consecuencia}$$

Se asigna un puntaje por la probabilidad y por consecuencia como se muestra en las siguientes tablas:

CRITERIO	DESCRIPCIÓN DE LA OCURRENCIA	VALOR
Probabilidad (P)	En la mayoría de las ocasiones, ocurrirá el incidente. Ha sucedido muchas veces, o es posible que ocurra frecuentemente durante un año.	ALTA (8)
	Ha ocurrido en algunas ocasiones.	MEDIA (4)
	Ha sucedido en una oportunidad. El incidente podría ocurrir a veces.	BAJA (2)
	Cuasi accidente o cuasi pérdida (incidente sin lesiones ni daños)	INSIGNIFICANTE (1)

CRITERIO	DESCRIPCIÓN DE LA OCURRENCIA	VALOR
Consecuencia (S)	Muerte de una o más personas. Incapacidad permanente.	ALTA (8)
	Lesiones con incapacidad temporal de uno o más trabajadores.	MEDIA (4)
	Lesiones no incapacitantes.	BAJA (2)
	Cuasi accidente o cuasi pérdida (incidente sin lesiones ni daños)	INSIGNIFICANTE (1)

Con esto es posible clasificar el riesgo según el producto de los valores asignados en riesgos aceptables, inaceptables o intermedios (Tabla A). Los criterios de puntuación para la probabilidad y consecuencia; y para la categorización del peligro varía en distintos grados según quien la confecciona.

CLASIFICACIÓN	MR = P X S
Inaceptable	32 – 64
Moderado	8 - 16
Aceptable	1 - 14

Una herramienta que permite gestionar las inseguridades de un proceso es la matriz de riesgo, que consiste en plantear en una tabla organizada las tareas y actividades de una faena, con levantamiento de riesgos, evaluación de estos y controles.

Por ejemplo, en las enfermedades generalmente se evalúa comparando la concentración o presencia del agente con los máximos permitidos por la normativa, considerándose que la exposición por sobre el 50% del máximo permitido es un riesgo moderado y uno superior al 100% es un peligro intolerable.

ACTIVIDAD	TAREA	PELIGRO	EVENTO DE RIESGO POTENCIA	EVALUACIÓN DE RIESGO		M R	CLASIFICACIÓN DEL RIESGO	MEDIDAS DE CONTROL
				P	C			
Control técnico de sondaje en interior mina.	Traslado hacia y desde proyecto	Conducir en condiciones físicas deficientes	Choque-Volcamiento	4	8	32	Inaceptable	Permiso especial de conductor Revisión periódica de vehículos Control de somnolencia
	Desplazamiento peatonal en interior mina	Tránsito peatonal en superficie irregular	Caída al mismo nivel	8	2	16	Moderado	Charla sobre el desplazamiento adecuado en superficies Resbaladizas y/o irregulares

Evaluación y control de riesgos en operaciones de perforación en minas a cielo abierto y subterráneas

Es de gran importancia que antes de comenzar una tarea, durante la planificación se identifiquen los riesgos asociados, mediante la observación del entorno. A pesar de que cada lugar y actividad presenta condiciones distintas, a continuación, presentamos algunos ejemplos de peligros que se pueden encontrar comúnmente en operaciones en minas a cielo abierto y subterráneas.

ACTIVIDAD: TRASLADO HACIA Y DESDE EL PROYECTO Y DENTRO DEL MISMO

PELIGROS	EVENTO DE POTENCIAL RIESGO NO DESEADO
<p>Caminos en mal estado (nieve, gravilla, barro, pendientes bruscas, curvas, etc.).</p> <p>Conducir en condiciones físicas deficientes (con sueño, cansancio o desconcentrado).</p> <p>Condiciones climáticas adversas (lluvias, nevazones, vientos, etc.).</p> <p>Operación de equipos y/o vehículos en condiciones inadecuadas.</p> <p>Operador de equipo o chofer de vehículo sin competencias o aptitudes.</p> <p>Capacidades físicas y/o psicológicas deficientes.</p> <p>No haber revisado el estado de los vehículos.</p> <p>Interacción con camiones de alto tonelaje.</p> <p>Estacionamiento inadecuado en plataformas de trabajo.</p>	<p>Choque.</p> <p>Volcamiento.</p> <p>Desbarrancamiento.</p> <p>Atropello.</p> <p>Aplastamiento a vehículos livianos por camiones de alto tonelaje.</p>

ACTIVIDAD: DESPLAZAMIENTO PEATONAL EN INTERIOR MINA

PELIGROS

Tránsito peatonal en superficie irregular.
Descoordinación entre peatón y operador o conductor.
Tránsito peatonal en zonas que se encuentren sobre los límites permisibles de ruido.
Desconocimiento de áreas o rutas de acceso peatonal.
Falta de capacitación al personal sobre las condiciones geomecánicas.
Tránsito peatonal en zona sin fortificar.

EVENTO DE POTENCIAL RIESGO NO DESEADO

Caída al mismo nivel.
Atropello.
Golpeado por colpas desde carros.
Exposición a ruido.
Exposición a polvo de sílice libre respirable.
Estallido de roca.
Caída de planchones.
Golpeado por herramientas, piedras o materiales.

ACTIVIDAD: CONTROL TÉCNICO DE SONDAJE EN INTERIOR MINA (SUPERVISIÓN DE LA INSTALACIÓN DE LA SONDA, CHEQUEO DE PLATAFORMA, MEDICIÓN DE RECUPERACIÓN U OTROS)

PELIGROS

Áreas reducidas para el desarrollo de la actividad.
Trabajo en zonas de riesgo geo-mecánico.
Presencia de polvo sin EPP.
Sobrecarga de instalaciones eléctricas.
Mantenimiento inadecuado de instalaciones eléctricas, equipos o sistemas de protección contra incendio.
Falta de sistema de protección contra incendio en instalaciones, faena y/o equipos.

EVENTO DE POTENCIAL RIESGO NO DESEADO

Desprendimiento material colgado.
Atropellamiento por equipo pesado y/o liviano o trenes.
Intoxicación por gases.
Falta de oxígeno.
Caída del mismo nivel
Exposición al ruido.
Golpeado por herramienta, materiales o piedras.
Estallido de rocas.
Exposición a polvo de sílice libre respirable
Incendio en interior mina.
Caída distinto nivel (chimeneas-auxiliares-piques)
Bombeo de agua-barro (evento repentino en que un alto contenido de agua puede fluir sin control en las labores mineras).

ACTIVIDAD: MANIPULACIÓN DE PROBETAS (RECOLECCIÓN, FOTOGRAFÍA U OTROS)

PELIGROS

Preparación de muestras.
Transporte manual de materiales.
Interacción con cajas de sondajes.
Traslado de cajas.

EVENTO DE POTENCIAL RIESGO NO DESEADO

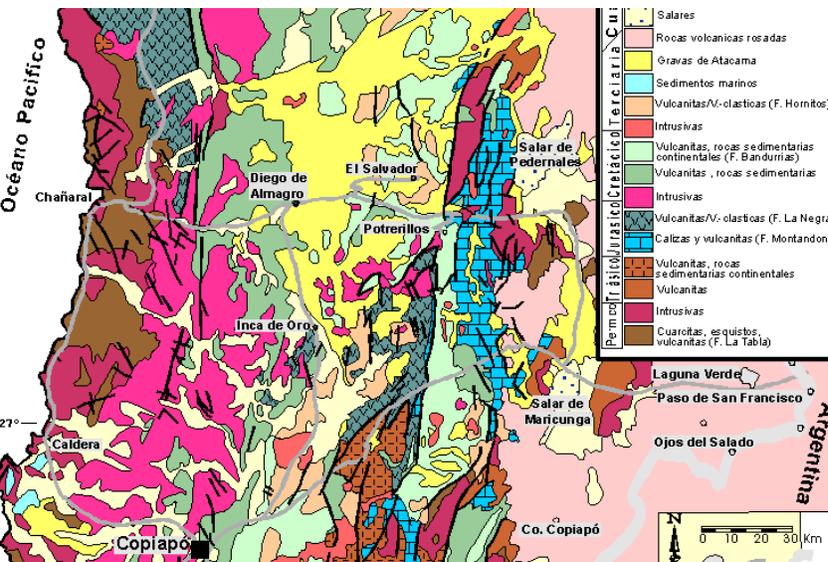
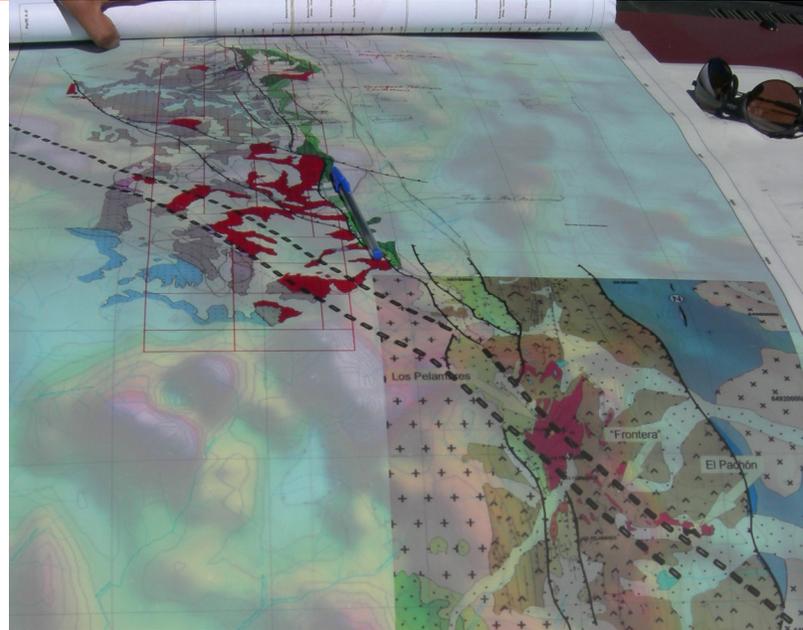
Caída mismo nivel.
Contacto con objeto corto punzantes.
Sobre esfuerzos.

IV. MAPAS GEOLÓGICOS

1. ¿Qué es un mapa geológico?

Un mapa geológico es la representación de la edad, geometría y disposición espacial de las rocas expuestas en la superficie terrestre, ya sean observadas en terreno, en imágenes e incluso aquellas bajo el suelo o la vegetación.

Los diferentes tipos de piedras se muestran con colores y símbolos especiales, explicados en la leyenda y simbología. En la minería subterránea, además, se confeccionan mapas geológicos con distintos niveles de profundidad o cotas, a partir de la información observada en sondajes o galerías.



En la imagen adjunta, parte de los rasgos geológicos que se indican corresponden a unidades litológicas o tipos de rocas, las cuales se pueden diferenciar de acuerdo a su origen (ígneas, metamórficas o sedimentarias); composición química (granitos, pizarras, areniscas, etc.); y edad (cámbricas, terciarias, paleozoicas, entre otras). Se muestra también la clase de contacto entre ellas.

Por otra parte, la leyenda del plano contiene el significado de los colores y nombres de las formaciones o agrupaciones de rocas ordenadas cronológicamente, junto a su correspondiente descripción

Este tipo de cartografía contiene también la orientación espacial y elementos estructurales que se observan en terreno y afectan localmente a las rocas, como pliegues y fallas. Incluye datos de yacimientos de fósiles, recursos minerales, y rasgos geomorfológicos, como escarpes de remociones en masa y circos glaciales. Todos estos datos se explican mediante símbolos.

Los mapas geológicos se confeccionan sobre planos topográficos, que representan el relieve del terreno en dos dimensiones. Comprenden curvas de nivel, que simbolizan la intersección de un plano horizontal con el relieve o topografía y se indica su cota o altitud, permitiendo así identificar montañas, valles y quebradas para confeccionar perfiles topográficos y geológicos

Ahora, la conexión de las curvas de nivel con la altitud de los rasgos geológicos planos (unidades litológicas estratificadas o planos de falla) sirve para determinar la orientación de estos últimos, mediante la aplicación de la llamada Regla de las V.

Regla de las V: Es la relación entre las curvas de nivel en una quebrada (que tienen forma de V, de ahí su nombre) y las líneas de contacto de rocas estratificadas indica la orientación de los estratos. Así por ejemplo, si ambas siguen el mismo camino entonces los estratos son horizontales (caso 1 en imagen). Si forman una V más abierta (caso 2) mantean en dirección contraria a la pendiente de la quebrada. Mientras que los estratos verticales se ven con líneas rectas (caso 3). Esta norma solo se aplica a cuerpos de roca estratificados y no a rocas ígneas intrusivas de geometría irregular.

¿CÓMO DETERMINAR DISTANCIAS REALES A PARTIR DE UN MAPA?

Para esta operación se precisa de la escala, que es la relación entre una distancia medida en el mapa y su equivalente en la realidad. Se expresa como una fracción, o sea la razón entre ambas longitudes: 1:50.000 indica que una unidad de medida en el plano significa 50.000 veces esa cantidad en la superficie real; o bien 1 mm equivale a 50.000 mm (o 50 m).

La escala representa el grado de detalle que se requiere. En un mapa geológico regional a escala 1:1.000.000 exhibe rasgos generales, ya que 1 mm en el papel representa 1 km; mientras que uno 1:1.000 presenta características más pequeñas, donde 1mm es 1 m en el suelo.

La escala también se puede presentar de forma gráfica con una línea dividida en bloques más pequeños que representan unidades en la tierra.



¿CÓMO SE GEOREFERENCIAN LOS MAPAS GEOLÓGICOS?

Las coordenadas permiten identificar la ubicación exacta de la región descrita por el plano. Existen diversas convenciones para expresarlas, una de ellas es el Sistema de Coordenadas Geográficas, donde cada punto es referenciado por coordenadas angulares, latitud y longitud, en grados sexagesimales.

La latitud corresponde al ángulo medido entre un punto y la línea del Ecuador, calculado desde el centro de la Tierra. Aquellas de igual latitud se llaman paralelos. Sus valores pueden ser entre 0 y 90°, más una “N” o “S” si está al Norte o al Sur

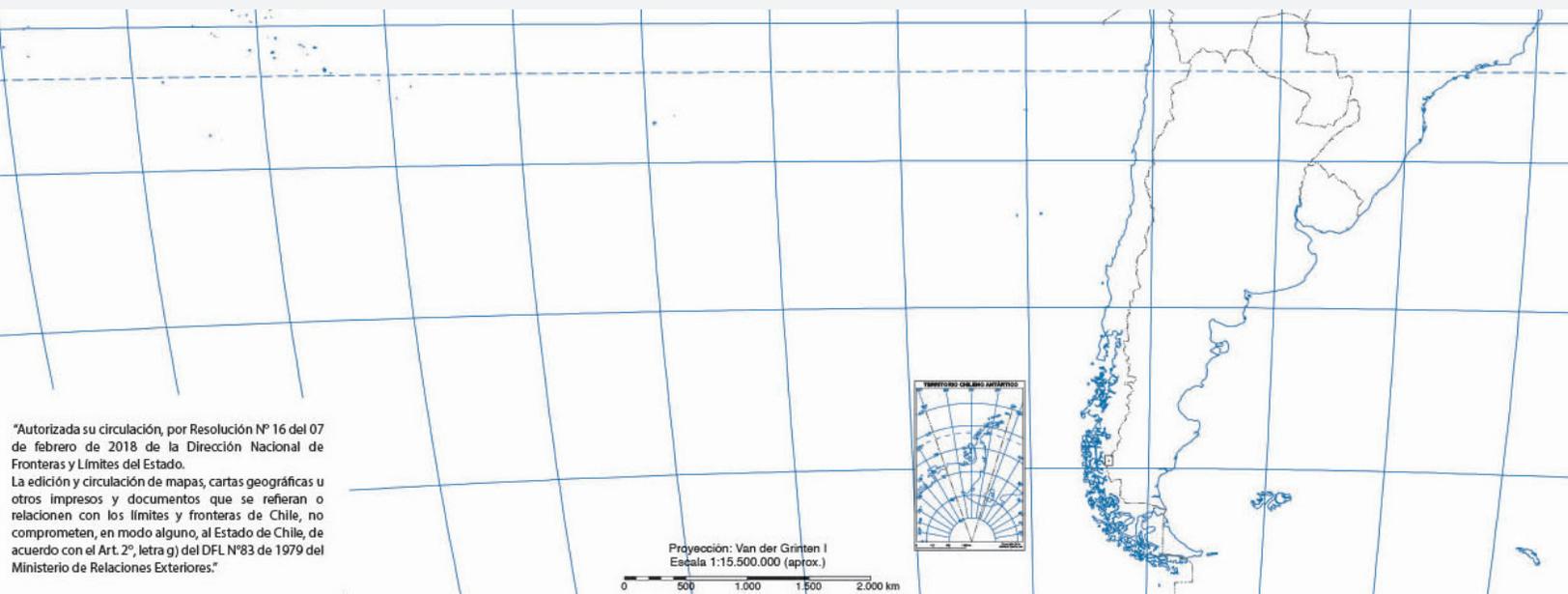
Mientras que la longitud, es un ángulo calculado a lo largo de la Línea Ecuatorial. Se relaciona con los

meridianos, unas semicircunferencias que comienzan y terminan en los polos terrestres. Se mide considerando el meridiano que pasa por el London's Greenwich Observatory como punto 0 y se indica si es hacia el Este (E) u Oeste (W).

También se utiliza el Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM), ideado para minimizar las deformaciones en las distancias y ángulos en un plano, provocadas por la superficie esférica o elipsoidal de nuestro planeta. Consiste en una cuadrícula donde paralelos y meridianos se presentan como líneas rectas. Permite medir trayectos y orientaciones en áreas pequeñas.

¿CÓMO UBICAR UN PUNTO DE TERRENO EN EL MAPA?

Cuando uno quiere ubicar en el mapa el lugar donde está trabajando en terreno, lo primero es hacer una inspección visual y tomar como referencia los rasgos topográficos, montañas, quebradas y valles cercanos. Esto permite tener una aproximación del punto donde se está parado. Luego, la utilización de GPS entrega una visión más exacta gracias a las coordenadas. Este instrumento es de gran utilidad en la confección y aplicación de mapas geológicos pues permite marcar sitios de interés como afloramientos y zonas de perforación con una precisión de pocos metros o centímetros (siendo las coordenadas horizontales más precisas que la determinación de la altura). Al usarlo es importante chequear el datum usado (WGS 84) puesto que un error en la lectura puede significar una diferencia de varios cientos de metros.



*Autorizada su circulación, por Resolución Nº 16 del 07 de febrero de 2018 de la Dirección Nacional de Fronteras y Límites del Estado.
La edición y circulación de mapas, cartas geográficas u otros impresos y documentos que se refieran o relacionen con los límites y fronteras de Chile, no comprometen, en modo alguno, al Estado de Chile, de acuerdo con el Art. 2º, letra g) del DFL Nº 83 de 1979 del Ministerio de Relaciones Exteriores.*

Proyección: Van der Grinten I
Escala 1:15.500.000 (aprox.)

0 500 1.000 1.500 2.000 km

2. Confección de mapas geológicos

Un mapa geológico sirve para mostrar la ubicación y orientación de las principales unidades geológicas y sus características. Esta información ayuda a interpretar la historia geológica de un área y tiene múltiples aplicaciones prácticas, entre las que se destacan el uso por parte de las compañías mineras y de petróleo, empresas de ingeniería, agencias ambientales y empresas consultoras, entre otras.

Como normalmente no es posible ver todos los detalles de las unidades rocosas, ya que se encuentran cubiertas por suelo, agua, vegetación, etc., para elaborar un mapa geológico se recopila información de los afloramientos, en la zona donde las rocas aparecen expuestas en la superficie.

La información relevante que se obtiene de los afloramientos, como por ejemplo, el tipo de roca, la orientación de las capas o la presencia de estructuras como fallas o fracturas, se plotea sobre un mapa topográfico del área. Este es un mapa geológico, apoyado, a veces, por otras fuentes de información como **sondajes**.

EL MAPA Y SUS ELEMENTOS

La confección de un mapeo geológico se realiza a partir de un estudio profundo de los antecedentes de la región donde se encuentra aquella zona que se quiere mapear.

Esta etapa de investigación e información puede realizarse a partir de mapas topográficos, mapas geológicos antiguos, mapas geológicos de gran escala, revistas geológicas y fotos aéreas, entre otros.



ESTRUCTURA GENERAL DE UN MAPA GEOLÓGICO

El mapa geológico considera un conjunto de elementos para la correcta entrega de información, la que puede ser complementada con un informe y descripciones más detalladas del sector, referidas al tipo de fósiles, columnas estratigráficas, descripciones de los estratos, formaciones y unidades.

Los elementos mínimos que debe contener un mapa geológico son los siguientes:

- Título
- Escala (gráfica y en números)
- Leyenda topográfica, leyenda geológica (con símbolos tectónicos)
- Ubicación del mapa
- Autores con fecha del mapeo en terreno (con ubicación del trabajo)
- Uno o más perfiles geológicos
- Flecha del Norte
- Coordenadas en UTM y/o longitud / latitud.

ELEMENTOS PARA LA CONFECCIÓN DE UN MAPA GEOLÓGICO

El traspaso de las informaciones de terreno al papel de una carta conlleva, en gran medida, una generalización. Esto implica distinguir los elementos relevantes y fundamentales de los secundarios y complementarios, asegurándose de que el mapa entregue la información más importante.

- **Límites litológicos:** Los límites litológicos son aquellas fronteras entre grandes zonas de diferentes tipos de materiales que forman la corteza terrestre en una determinada zona. Para dibujar límites litológicos conocidos se usan líneas continuas de un grosor de 0,35 mm sobre el plano. Las líneas se dibujan a mano alzada, libre y sin utilizar regla, de manera de que no vayan exactamente paralelas, ya que este tipo de líneas suelen emplearse para representar estructuras artificiales, tales como caminos.
- **Cronología:** Durante el dibujo de la carta, se debe verificar que la cronología de las estructuras del mapa corresponda a la naturaleza. Es decir que el mapa represente que las estructuras jóvenes interceptan (cortan) estructuras más antiguas. Por ejemplo, un dique de la época jurásica no puede cortar el terciario y, generalmente, en depósitos cuaternarios no hay fallas y diques (sólo existen pocas excepciones).
- **Generalizaciones:** Al plasmar la información en un mapa, es fundamental realizar ciertas generalizaciones, puesto que la realidad es siempre mucho más completa y contiene mucho más información de la que podamos retener, y, más aún, escribir, dibujar o imprimir. Recordemos que, por ejemplo, una escala 1:50.000 significa que una línea de 1 mm en el mapa tiene un ancho equivalente en terreno de 50 m. Es decir, cuerpos geológicos pequeños normalmente no aparecerán en un mapa y hay que generalizar

Para el logro de esta generalización se requiere de ciertos elementos como los siguientes:

Juntar varios cuerpos iguales a un cuerpo grande: en caso de que afloren cuerpos (importantes) de la misma roca en cantidades grandes de yacimientos pequeños, se puede juntar todos los afloramientos pequeños en un cuerpo grande, como se muestra en la siguiente ilustración:

Juntar varios estratos parecidos: También es posible juntar varios estratos semejantes en una unidad o formación.
(Agregar imagen lateral)

Uso de un símbolo: en caso que afloren muchos cuerpos pequeños de alta importancia, por ejemplo, alteraciones o mineralizaciones, se puede marcar su ubicación con un símbolo y adicionalmente juntar los puntos en una zona, indicándolo como "sector mineralizado" por ejemplo.

Aumento del tamaño del cuerpo en el mapa: solo si se trata de un cuerpo/estrato muy importante, se puede modificar su proporción en el mapa. Por ejemplo, si aflora una estructura (dique, veta) o un estrato muy importante, se puede aumentar su escala, esto es, se lo dibuja más ancho y se indica en la leyenda.

Simbología: en la simbología que se utiliza en un mapa, se pueden destacar los símbolos generales y litológicos. Los generales corresponden a elementos como túneles, minas, cuevas, fósiles, mientras que los litológicos denotan un cierto tipo de roca, siendo posible utilizar colores.

- **Leyenda litológica:** En la leyenda litológica o geológica deben que aparecer todas las unidades y/o formaciones que se han representado en el mapa. El orden en que se deben presentar estas formaciones en la leyenda es el siguiente:
 - En la parte superior se colocan las unidades más jóvenes, seguidas de las más antiguas.
 - Si en el mapa hay dos unidades con diferentes rocas de la misma edad, se presentan ambas al mismo nivel, en una línea horizontal.
 - Si no se conoce la edad absoluta de una unidad o formación, se indica con su nombre y se ubica sobre el límite de las edades posibles, como es el caso del granito en el esquema.
 - Cada unidad se expresa en un rectángulo con una abreviatura, teniendo un color de fondo que facilite su identificación en función de los colores del mapa. Al lado de cada rectángulo se pone una breve descripción de la unidad respectiva.

- **Título:** Cada carta necesita un título que permita su adecuada identificación y que además entregue alguna información adicional como es la escala, el autor y la organización. Por ejemplo, el siguiente título indica que se trata de una carta geológica que forma parte de un estudio de país, y que representa un sector a una escala 1: 10.000.