



SECTOR ENERGÍA Y MINAS

**INGEMMET**

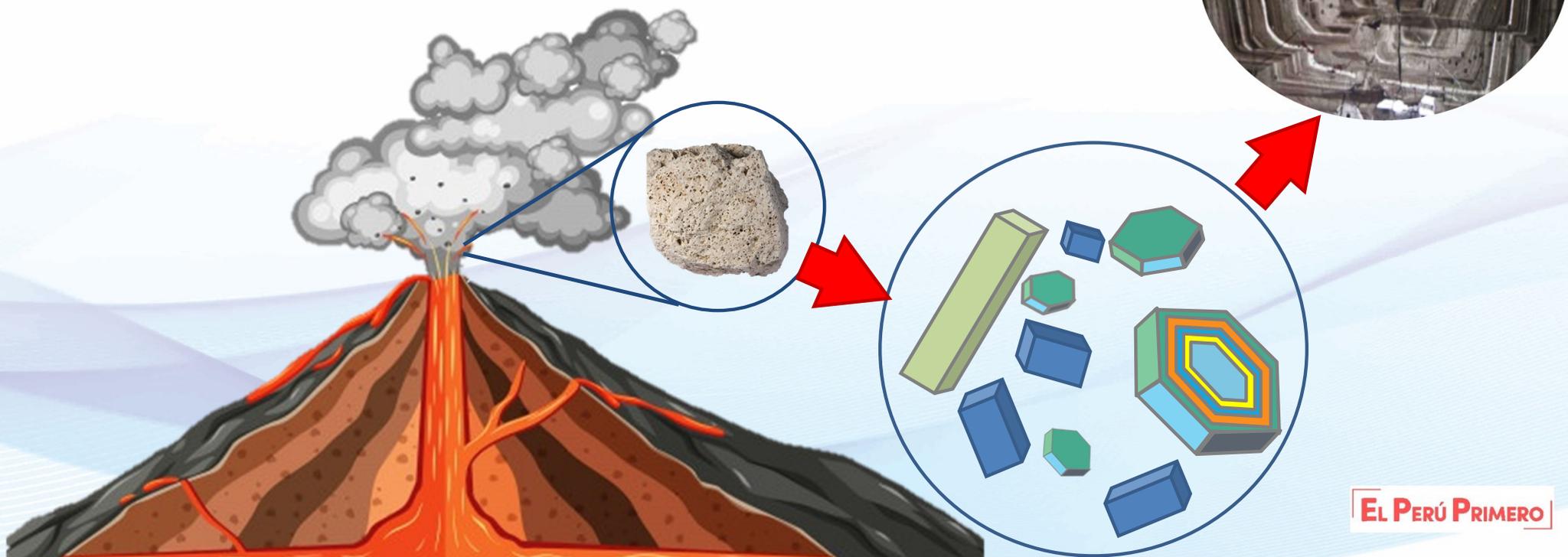
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO



**GEOLOGÍA  
Y MINERÍA**  
peruana en casa



# ROCAS Y MINERALES: DESCUBRIENDO SU INTERIOR



# Contenido

Introducción

Técnicas que ayudan a identificar los minerales y rocas

Caracterización macroscópica

Caracterización microscópica

Microscopía óptica

Tipos de estudio y análisis para la clasificación de rocas e identificación de minerales

Conclusión

# Introducción

Un mineral es una sustancia de origen natural, sólida e inorgánica, con una **composición química definida** y una **estructura interna ordenada**.

## Los minerales

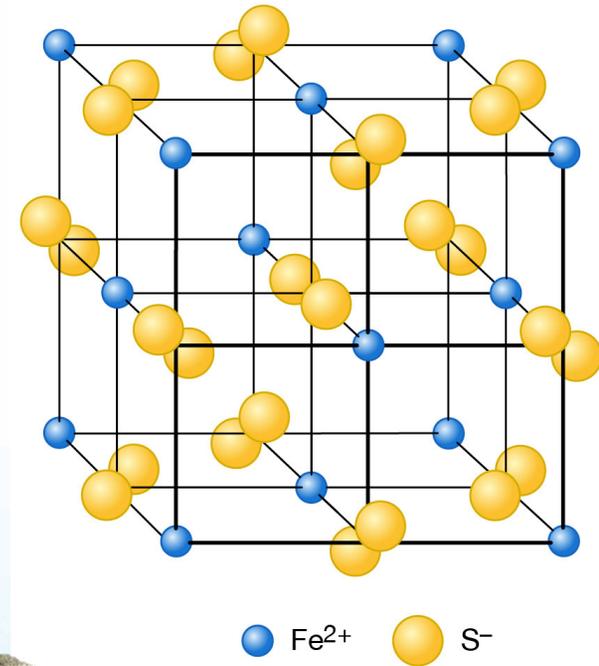
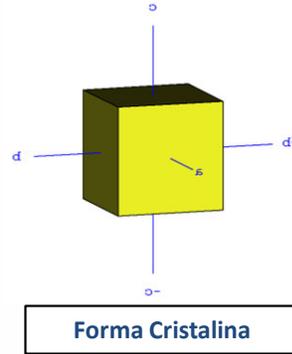


¿Cómo es el interior de los minerales?

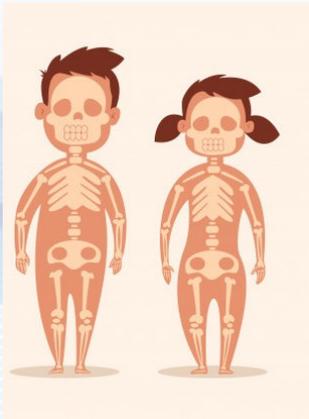
¿Qué es la estructura interna?

¿Qué es la composición química?

# Estructura interna



Pirita



# Composición química

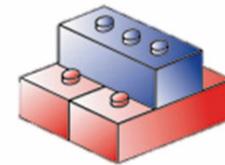
## TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS

2 átomos de oxígeno

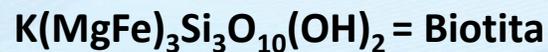
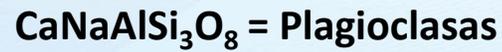
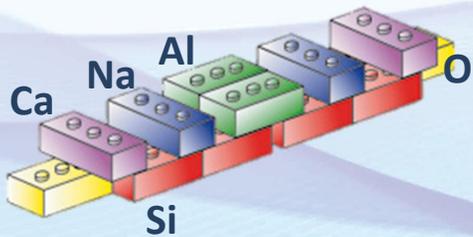


1 átomo de silicio

= SiO<sub>2</sub>



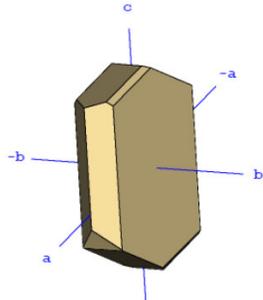
= El cuarzo



# MINERALOGÍA

Estudia los minerales y los clasifica sistemáticamente según su estructura y composición.

## Galena

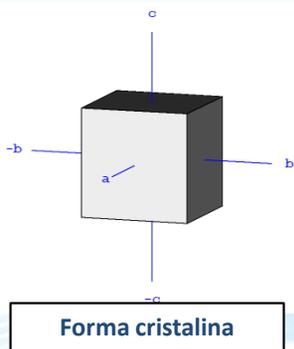


Forma cristalina

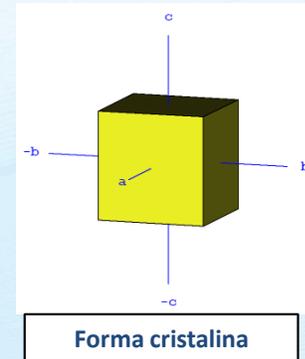
## Pirita



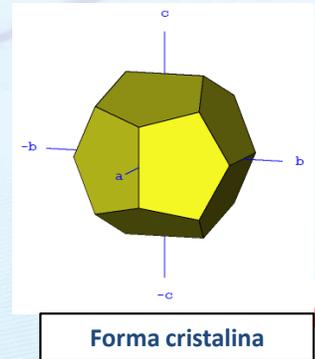
## Ortosa



Forma cristalina



Forma cristalina



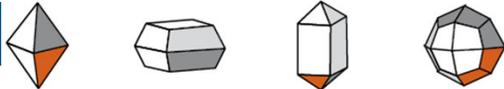
Forma cristalina

# Cristalografía

Sistema cúbico



Sistema tetragonal



Sistema hexagonal



Sistema romboédrico



Sistema ortorrómbico



Sistema monoclinico



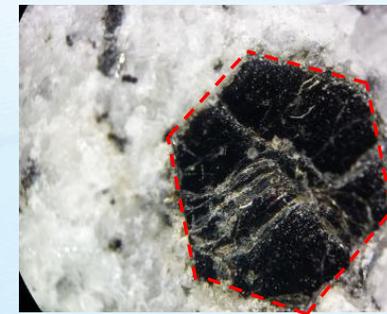
Sistema triclinico



Se encarga de estudiar la forma y propiedades de las sustancias cristalinas con el fin de describir su estructura interna o atómica y sus diversas formas agrupadas en clases y sistemas.

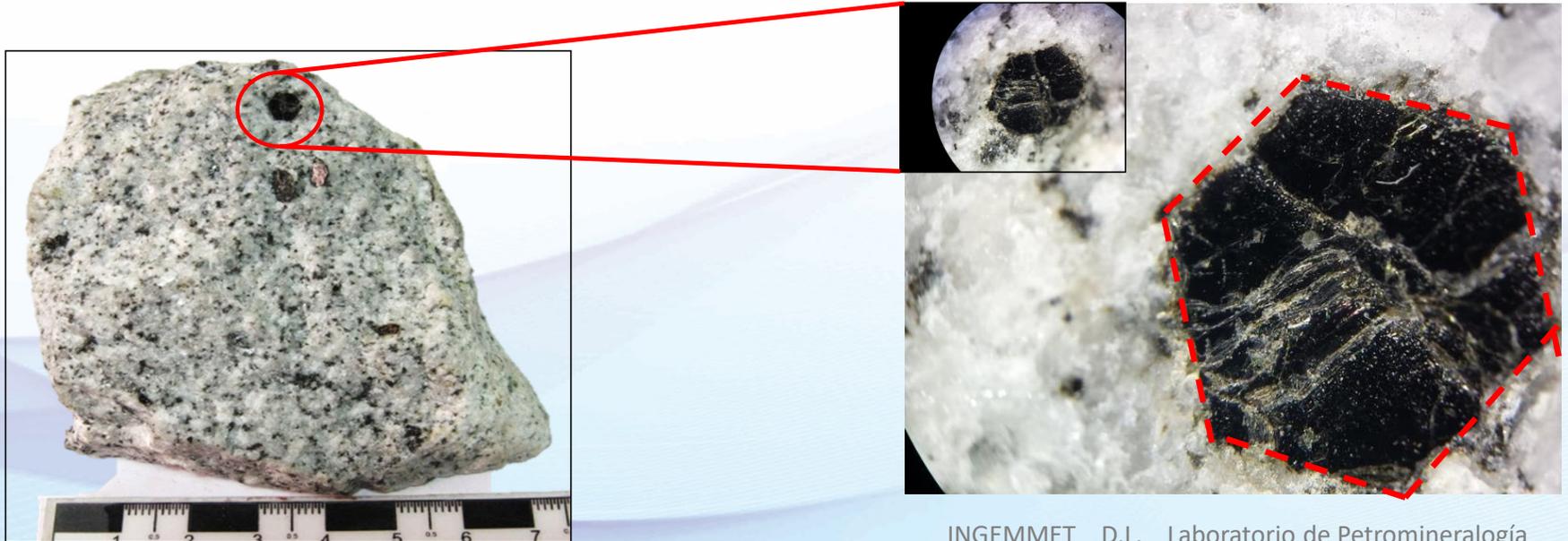


Un cristal es la forma poliédrica regular, limitada por caras lisas.



# La roca

Es un agregado de uno o más minerales, con propiedades físicas y químicas definidas, que se agrupan de forma natural, cuya composición y textura es regular dentro de un volumen determinado.



# Petrología

Mineralogía

Geoquímica



Determina la abundancia, distribución y migración de los elementos químicos entre las diferentes partes que conforman la Tierra. Emplea herramientas de la química para resolver problemas geológicos

La petrología estudia la composición, estructura y textura de las rocas, ocurrencia y distribución, y su origen en relación con los procesos geológicos de la historia de la tierra.

Para la descripción de las rocas utilizamos la petrografía.



¿Qué técnicas se utiliza para estudiar los minerales y rocas?



# Técnicas que ayudan a identificar los minerales y rocas

¿Qué es?

Caracterización macroscópica  
Caracterización microscópica (óptica-electrónica)  
Difracción de rayos X  
Espectrometría infrarroja

¿Cuánto hay?

Análisis químico  
Fluorescencia de rayos X  
Difractometría de rayos X cuantitativa  
Microscopía electrónica de barrido  
Microsonda electrónica

¿Cómo se presenta u  
ocurren?

Caracterización macroscópica  
Caracterización microscópica (óptica-  
electrónica)

# Escala de longitudes



1 m



15 cm



2 mm



¿Cuál es el poder de resolución del ojo humano?



**PODER DE  
RESOLUCIÓN**



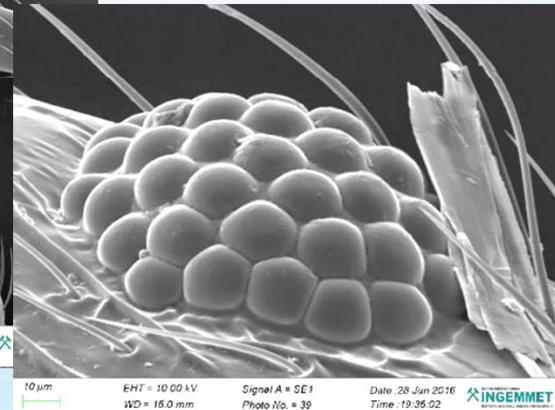
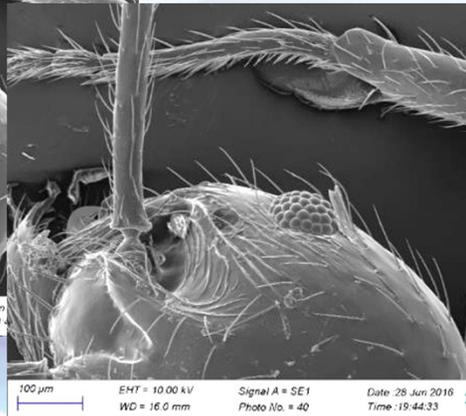
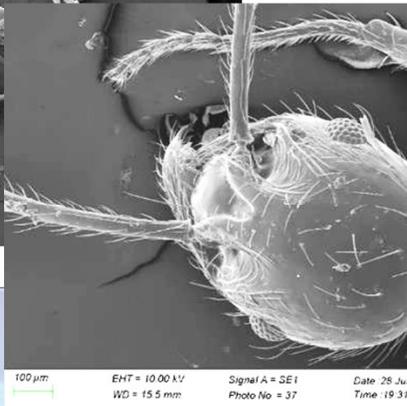
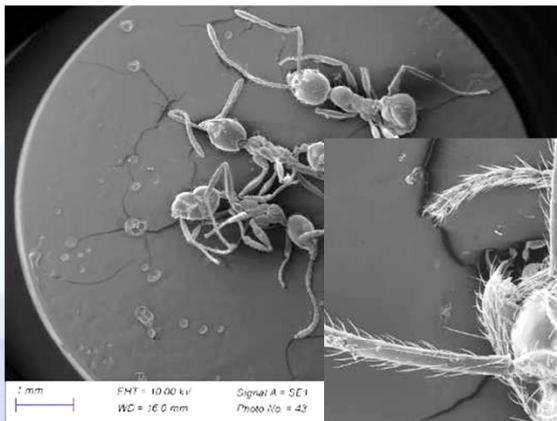
1 mm



**Microscopio óptico  
1 μm**



**Microscopio  
Electrónico de Barrido  
1 nm**



# Escala de estudio

Puntual

Escala nanométrica



Escala microscópica



Escala macroscópica



# Escala de estudio

Muestra de chips



Fluorescencia de Rayos X



Difractómetro de rayos X



Espectrómetro de acoplamiento inductivo con detector masa (ICP-MS)

**EL PERÚ PRIMERO**

## Consideraciones para la identificación del mineral o roca

La identificación mineral o roca es un poco como el diagnóstico médico:

1. Sospechas iniciales
2. Realizas otras pruebas para confirmar



Para un estudiante que es nuevo al trabajar con microscopio, lo mejor es adoptar un enfoque sistemático para garantizar que las observaciones claves no se pasen por alto.

# Caracterización macroscópica

## Cuarzo (SiO<sub>2</sub>)

**Sistema:** Trigonal.

**Clase:** trapezohédrica.

**Hábito:** prismas alargados con terminaciones piramidales, puede encontrarse también en prismas cortos hasta bipiramidal, acicular o masivo.

**Maclas de interpenetración:**

según la ley del Brasil o la de Delfinado.

**Maclas de contacto:** según la ley del Japón.

**Propiedades físicas:**

**Dureza:** 7, se encuentra en la escala de Mohs.

**Tenacidad:** frágil.

**Fractura:** concoidea.

**Otras propiedades:** Es piezoeléctrica, piroeléctrica y puede ser triboluminiscente.



# Caracterización macroscópica

## Granito

**Naturaleza:** Ígnea intrusiva.

**Color:** Gris claro con tonalidad rosácea

**Textura:** fanerítica granular.

**Dureza y densidad:** Media

**Compacidad:** Compacto

**Magnetismo:** Incipiente

**Efervescencia:** No presenta

**Minerales:**

Cuarzo, feldespatos potásicos, plagioclasas, biotita.



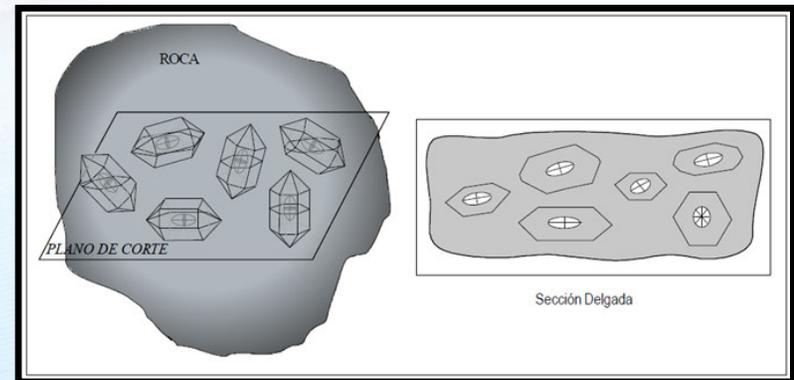
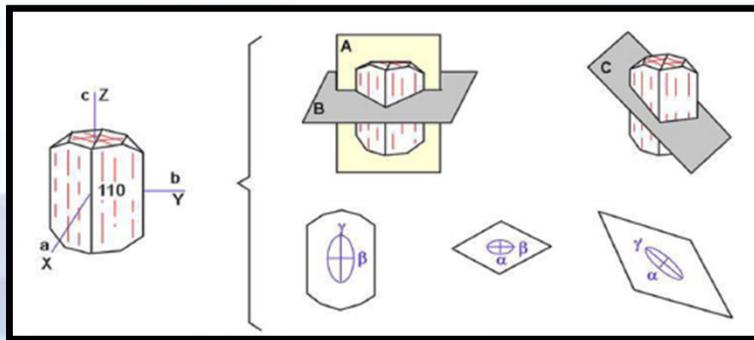
# Caracterización microscópica

## 3D a 2D



Si se hace un corte al cristal para preparar una sección delgada o pulida, se reducen aspectos morfológicos y ópticos de tres a dos dimensiones.

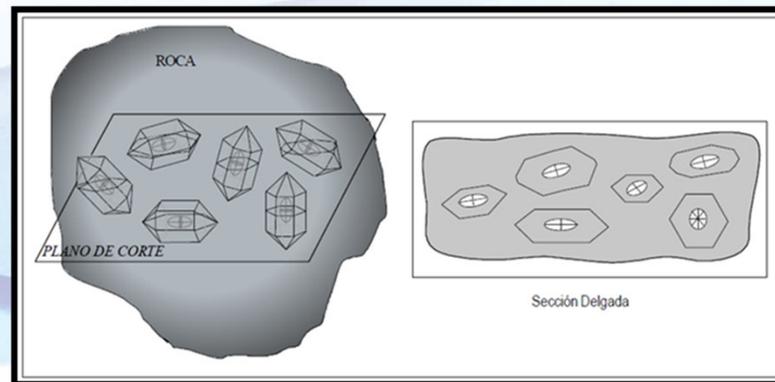
Ejm. Si cortamos un cubo, obtendremos superficies triangulares, cuadrangulares, pentagonales o hexagonales, según la orientación del corte, pasando de esa manera de un volumen a una superficie.



# Caracterización microscópica



3D a 2D



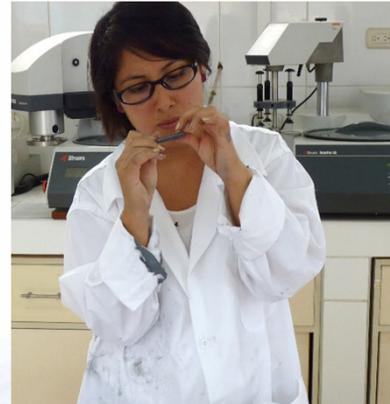


INGEMMET D.L. Laboratorio de Petromineralogía

5 mm

# Caracterización microscópica

Preparación de  
muestras para  
caracterización  
microscópica



# Microscopía óptica

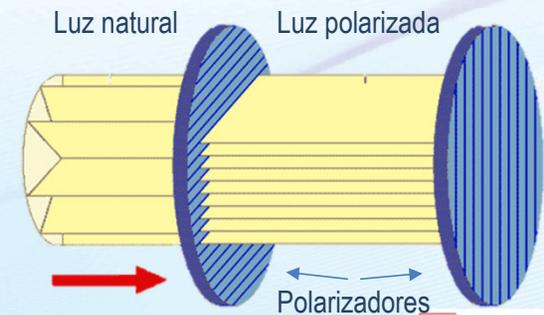
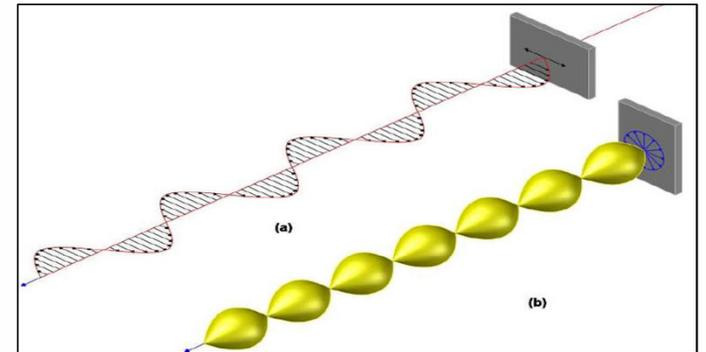
## Polarización

La luz natural está compuesta por infinitos rayos los cuales vibran en todas las direcciones perpendiculares a sus direcciones, sin embargo la luz cuyas vibraciones están restringidas a determinadas direcciones en el espacio se le denomina luz polarizada.

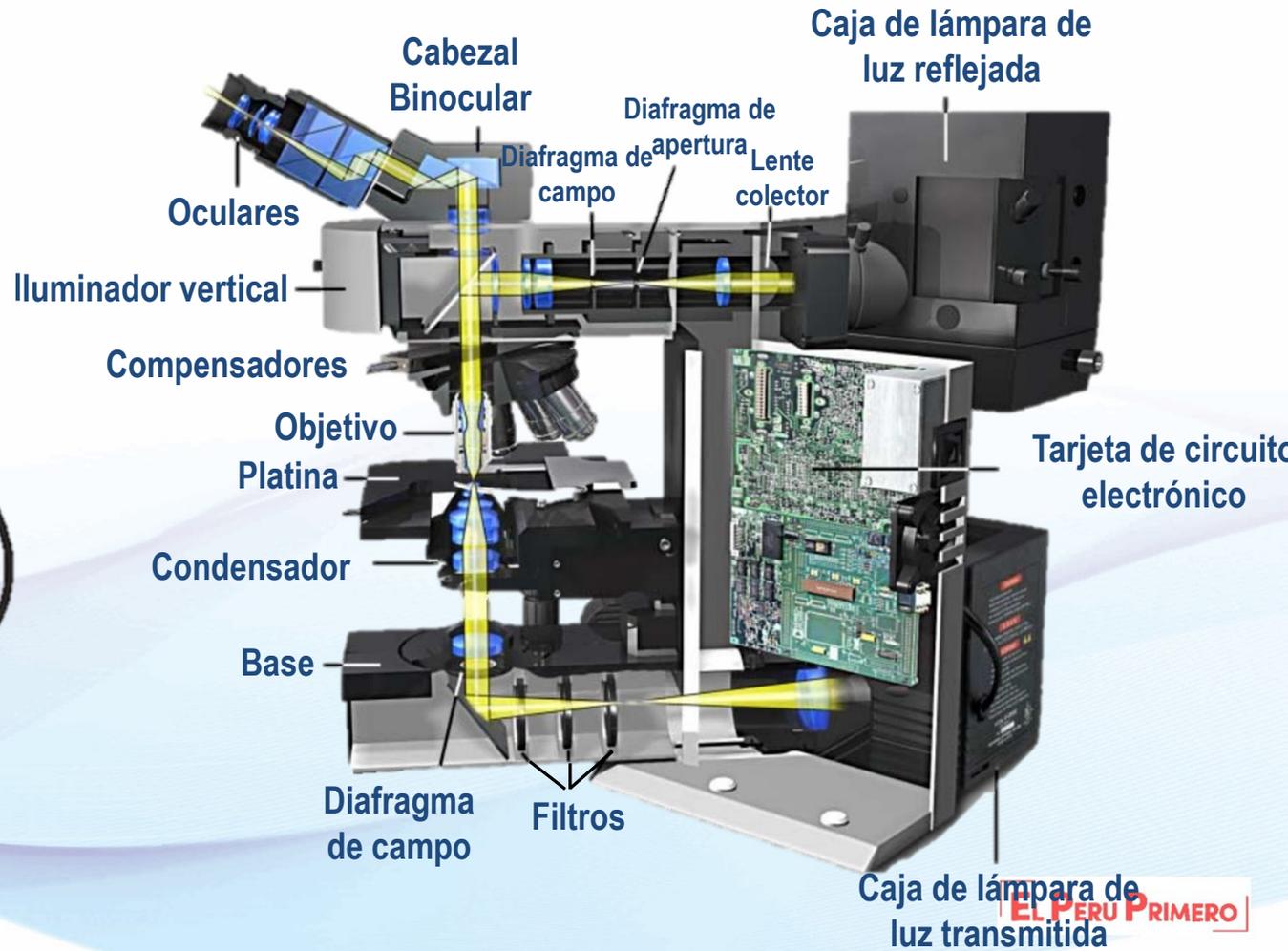
Existen diferentes tipos de luz polarizada: **lineal**, **elíptica** y **circular**.

A los materiales que convierten la luz blanca en luz linealmente polarizada se les denomina **polarizadores**.

## Luz natural vs. luz polarizada



# Microscopios de Polarización



# Minerales transparentes y minerales opacos

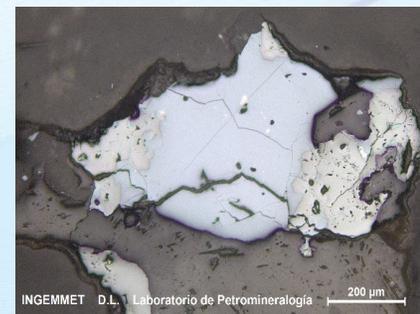
## Transparentes

- Dejan pasar la luz a un espesor de 30  $\mu\text{m}$
  - Coeficiente de absorción bajo
  - Reflectancia baja
  - **Índice de refracción bajo**  
( $1,4 < n < 2,4$ )
- Minerales formadores de rocas:  $1,4 < n < 2,2$



## Opacos

- **No** dejan pasar la luz con un espesor de 30  $\mu\text{m}$
- Absorción alta
- **Reflectancia alta**
- Índice de refracción  $> 2,4$



# Propiedades de los minerales al microscopio

## FÍSICAS

Forma y hábito

Clivaje y fractura

Reflexiones internas

Anisotropía

Reflectancia

Color

Pleocroismo

Dureza

Relieve

Zonación y Macla

Extinción

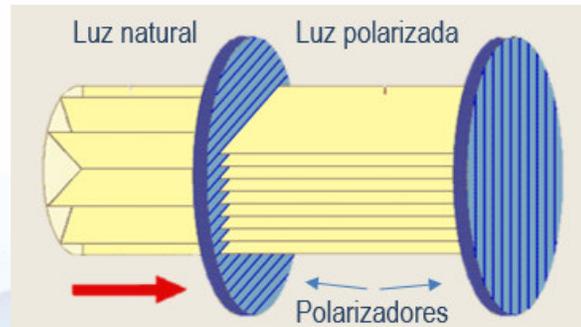
Figura y color de interferencia

**ÓPTICAS**  
EL PERÚ PRIMERO

# Propiedades de los minerales al microscopio

## NICOLES PARALELOS (N//s ó NPs)

Sin insertar el analizador



## NICOLES CRUZADOS (NXs)

Insertar el analizador

# Propiedades de los minerales al microscopio

Nícoles  
Paralelos  
(N//s)

Color

Pleocroismo

Relieve

Forma y  
hábito

Clivaje y  
fractura

Nícoles  
Cruzados  
(NXs)

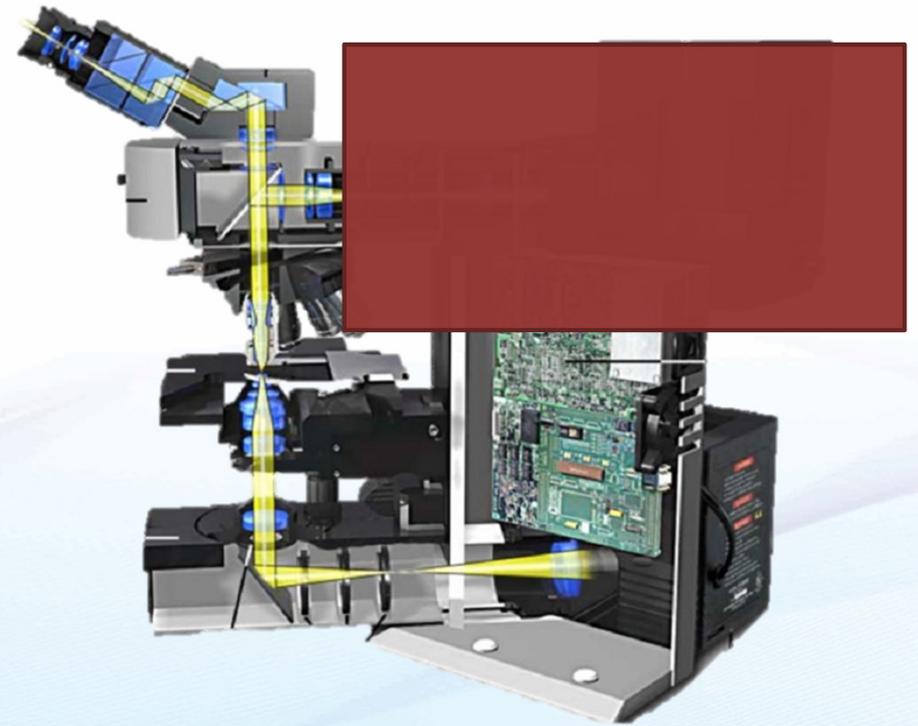
Colores de  
interferencia

Extinción

Figura de  
interferencia

Zonación

Macla

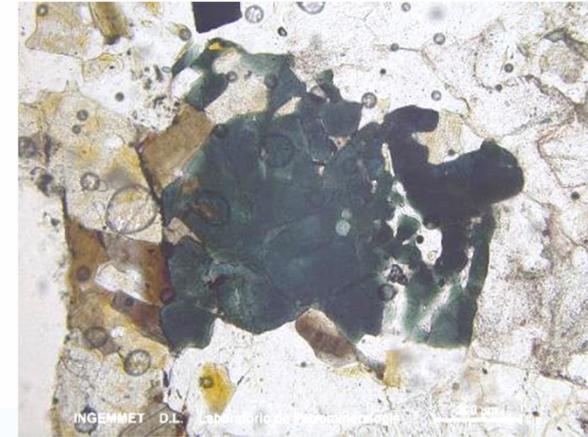
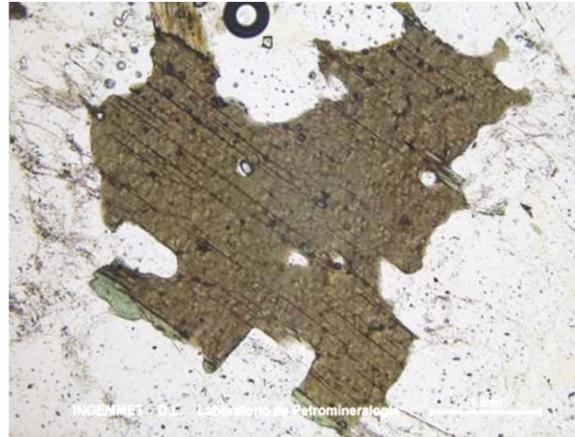


## Luz Transmitida

## Propiedades de los minerales al microscopio

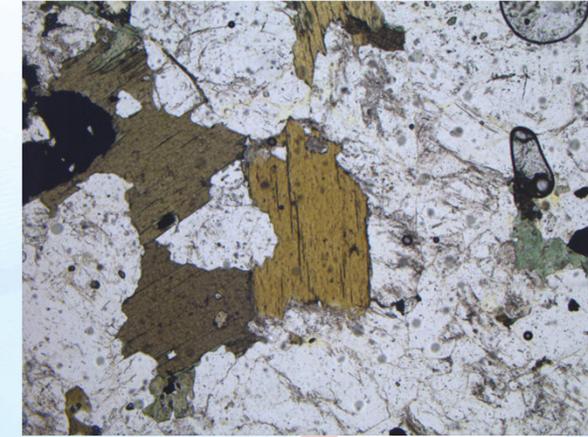
### Color

El color de un mineral en lámina delgada no presenta tantas variaciones como se verían macroscópicamente; esto se debe a que con un espesor de  $30\mu\text{m}$  el efecto de las impurezas es mínimo.



### Pleocroismo

Variación de color en función de la orientación del cristal respecto a la incidencia de la luz. Por tanto para saber si un cristal es o no pleocroico basta con girarlo en la platina del microscopio.

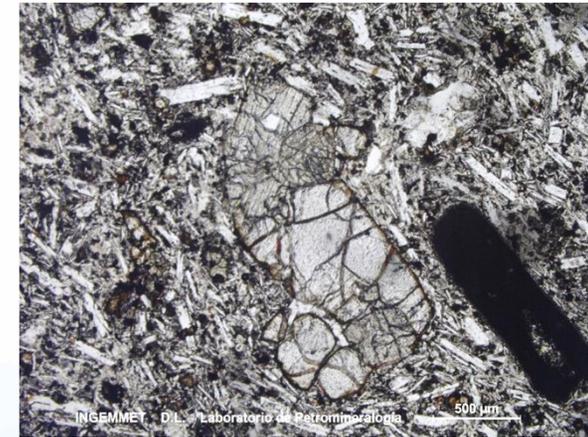
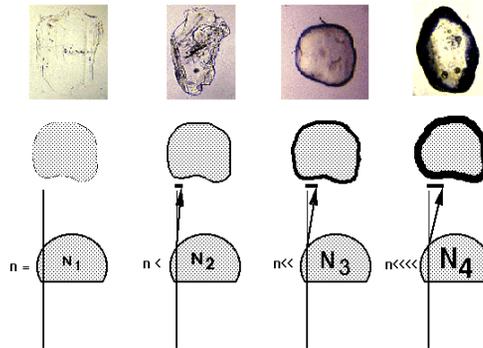


# Propiedades de los minerales al microscopio

## Relieve

Cuando observamos en un campo granos incoloros y transparentes de varios minerales, unos destacan más que otros, aunque su espesor es el mismo.

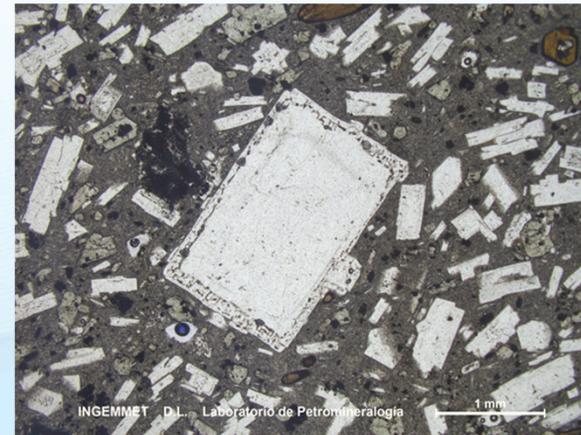
Diferencia del índice de refracción del mineral y del medio que lo envuelve.



## Forma y hábito

Los cristales pueden ser euhedrales, subhedrales o anhedrales.

El hábito describe la morfología externa del mineral.

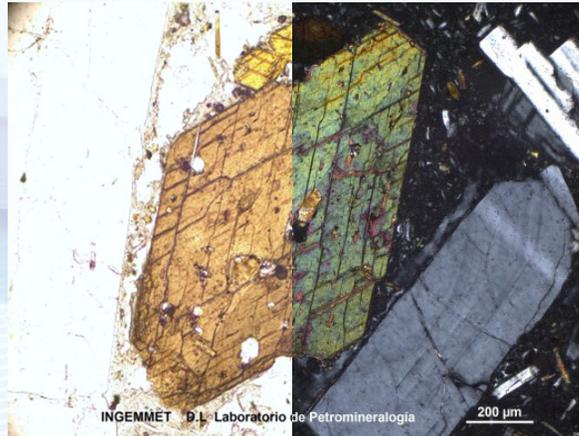


# Propiedades de los minerales al microscopio

## Clivaje y fractura

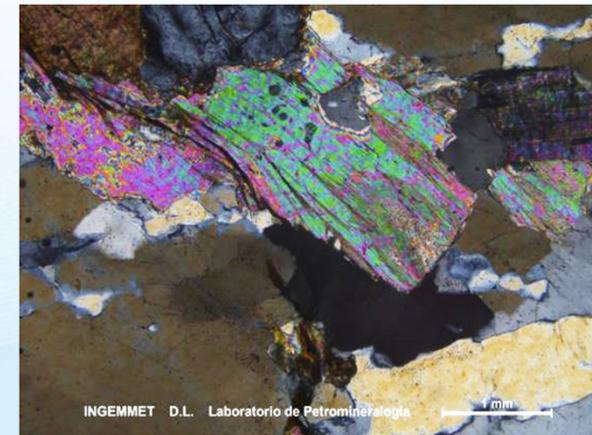
Es la tendencia que muestran los minerales de romperse según planos regulares (direcciones privilegiadas de la estructura cristalina).

Propiedad que se presenta cuando son expuestos a esfuerzos mecánicos externos o internos durante el enfriamiento rápido.



## Colores de interferencia

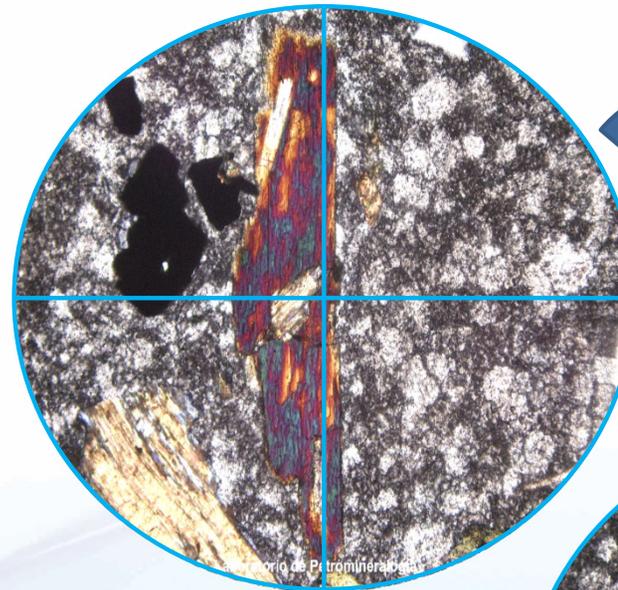
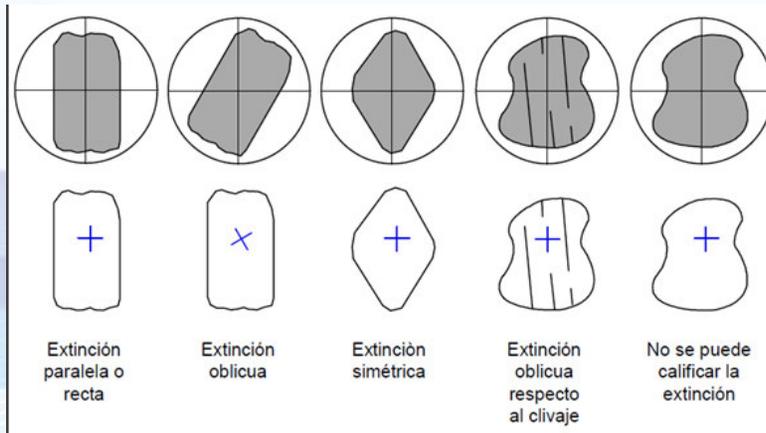
Es el color formado por la interferencia de los rayos desfasados al abandonar un medio anisótropo. El color de interferencia depende de la magnitud del desfase y ello depende a su vez de la birrefringencia del mineral y del espesor de la lámina.



# Propiedades de los minerales al microscopio

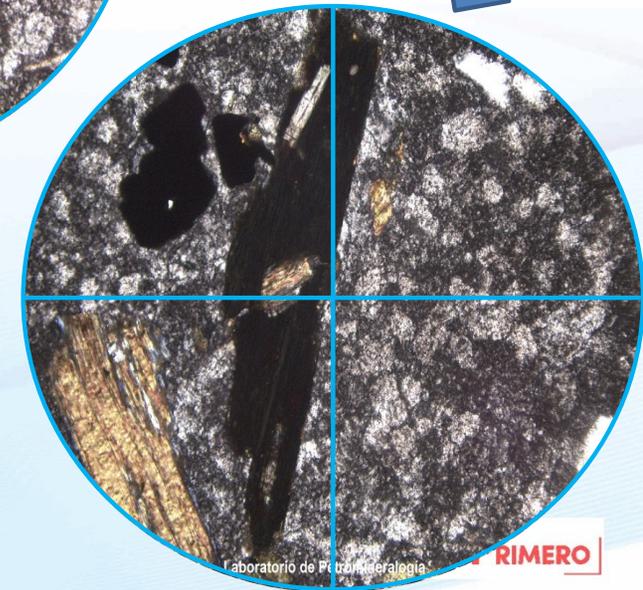
## Extinción

Cuando las direcciones privilegiadas del mineral y del microscopio coinciden, la dirección de vibración del rayo de luz linealmente polarizada, que incide en el mineral, no cambia al atravesarlo y en consecuencia no pasa luz a través del analizador



17°

## Extinción oblicua

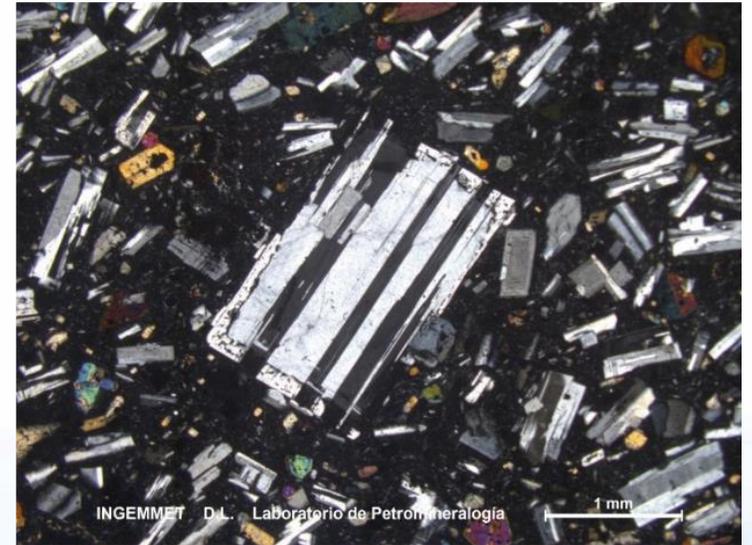
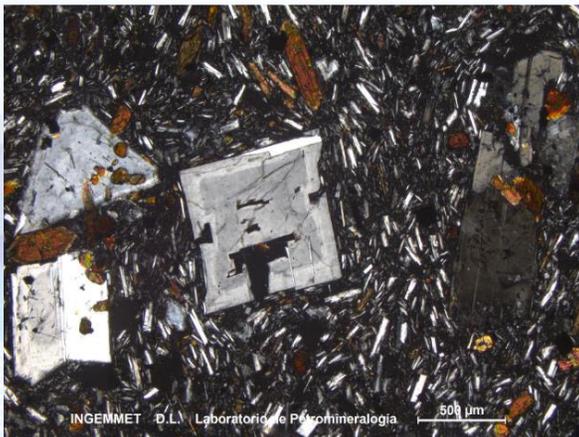


# Propiedades de los minerales al microscopio

## Macla

La macla es el agrupamiento regular de dos o más individuos de un mismo mineral con diferente orientación **y según alguna ley de simetría** (plano, eje o centro)

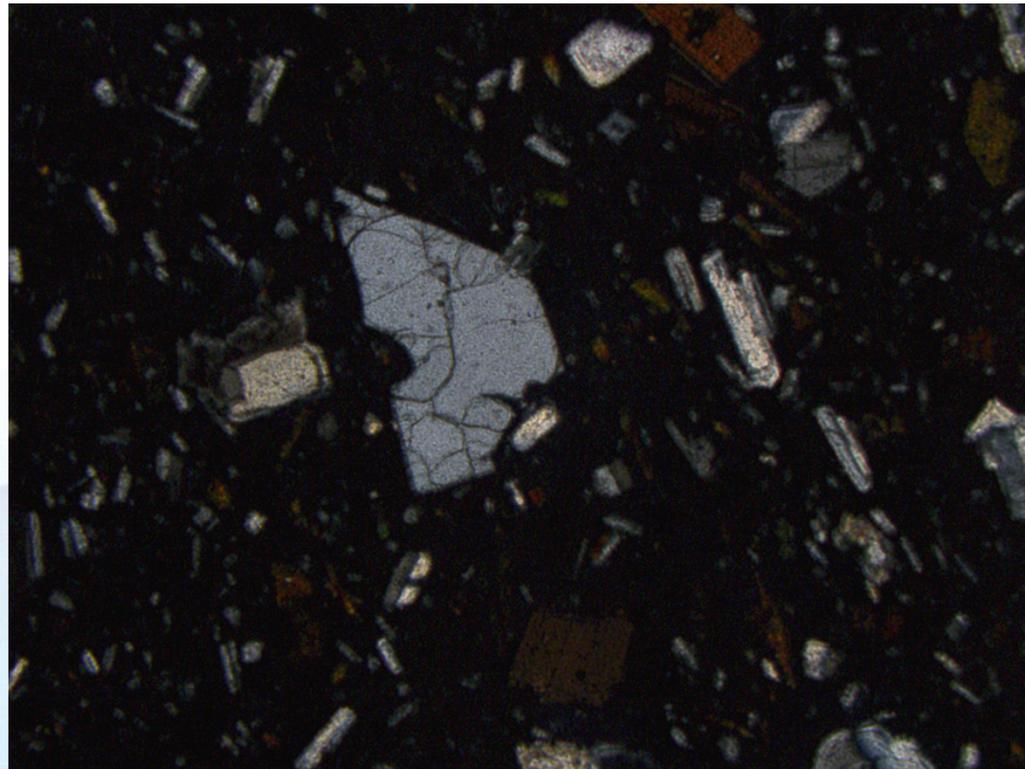
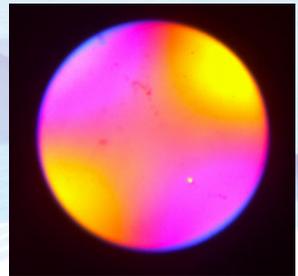
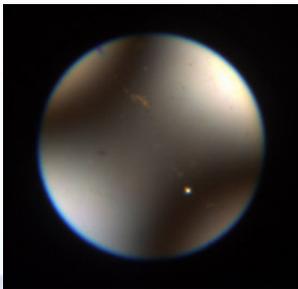
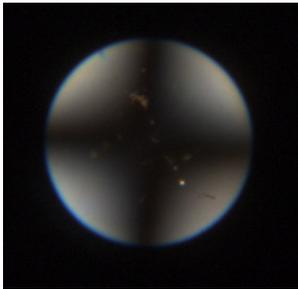
## Zonación



Durante el desarrollo de un cristal se presentan casos de variación de la composición, ya sea a nivel de elementos mayores (caso de las series isomórficas) o de elementos trazas.

# Propiedades de los minerales al microscopio

## Figura y signo óptico



# Propiedades de los minerales al microscopio

Nícoles Paralelos (N//s)

Color

Pleocroismo

Reflectancia y birreflectancia

Dureza

Forma y hábito

Clivaje y fractura

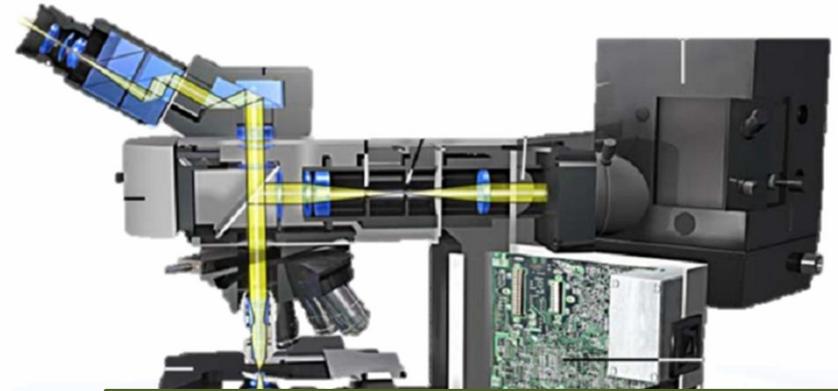
Nícoles Cruzados (NXs)

Anisotropía

Reflexiones internas

Zonación

Macla



## Luz Reflejada

## Propiedades de los minerales al microscopio

### Color

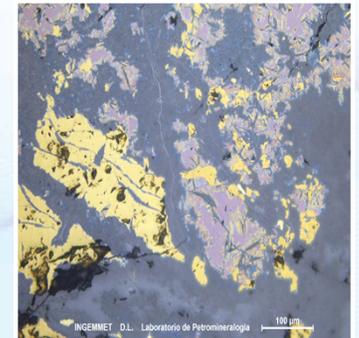
El color del mineral depende de la reflectividad diferencial de los minerales para las distintas longitudes de onda del espectro visible.



### No coloreados

Normalmente la mayoría de los minerales metálicos presenta colores blanquecinos a grisáceos ligeramente diferentes.

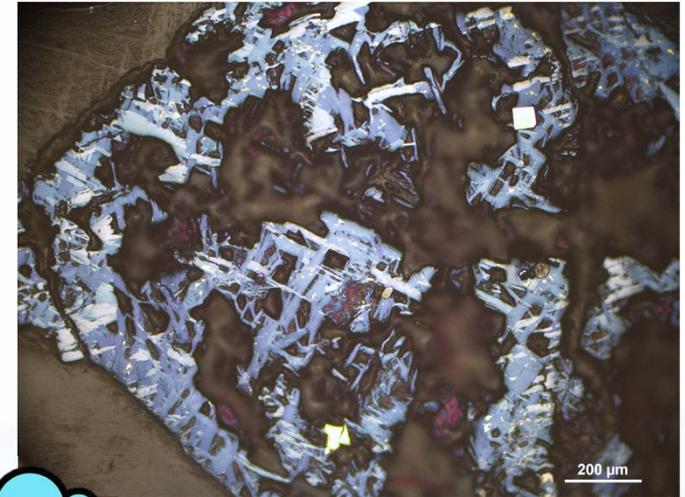
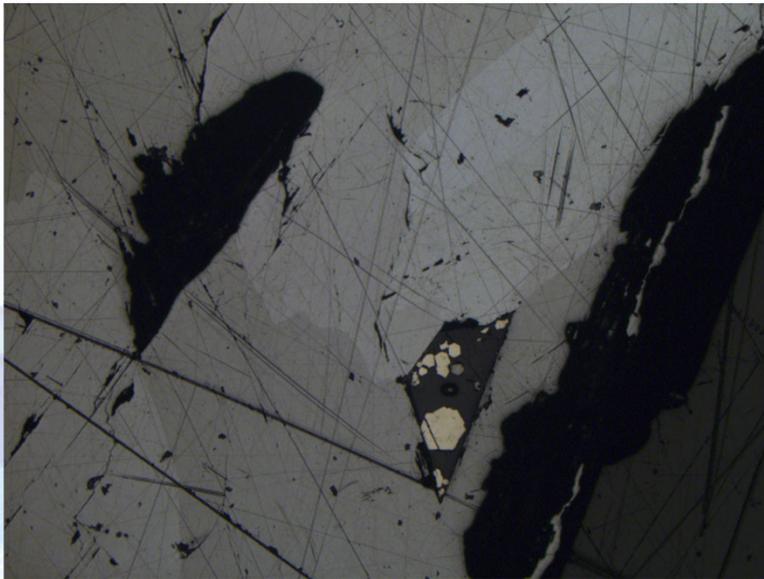
### Coloreados



# Propiedades de los minerales al microscopio

## Pleocroismo

Es el cambio del color o tonalidad de un mineral al variar su orientación. Se relaciona con la birrefracción para las distintas longitudes de onda de la luz blanca.



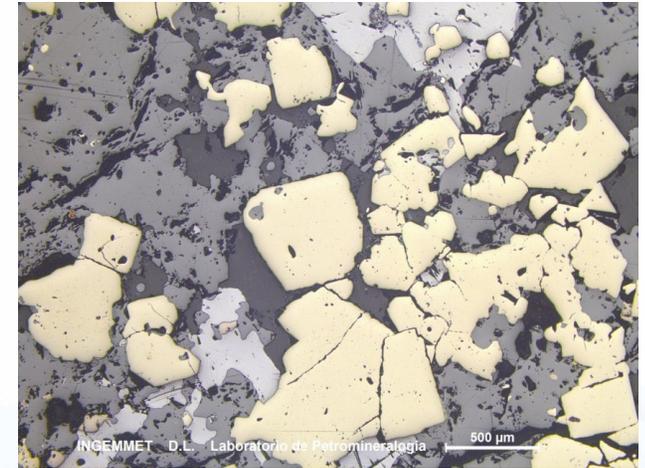
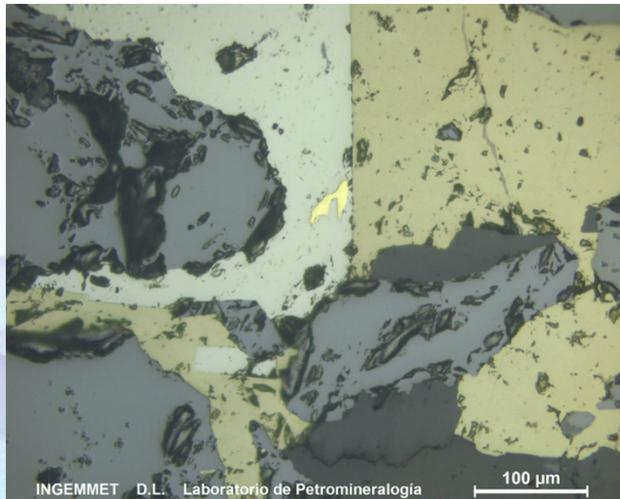
El pleocroísmo es el fenómeno análogo a la birrefracción para el caso de los minerales coloreados.

# Propiedades de los minerales al microscopio

## Reflectancia

Es la relación entre la intensidad de la luz reflejada por la superficie pulida del mineral y la intensidad de la luz incidente.

$$Reflectancia (R\%) = \frac{I.L \text{ reflejada}}{I.L \text{ incidente}} \times 100$$



Reflectividad	R %	Principales minerales
Muy bajo	< 10	Cuarzo, baritina y calcita.
Bajo	15 a 20	Esfalerita, magnetita y goethita.
Medio	30 a 40	Calcopirita, pirrotita y calcosina
Alta	50 a 70	Galena, pirita y oro nativo.

# Propiedades de los minerales al microscopio

## Birreflectancia

Es la variación en la reflectividad de un mineral según su orientación.

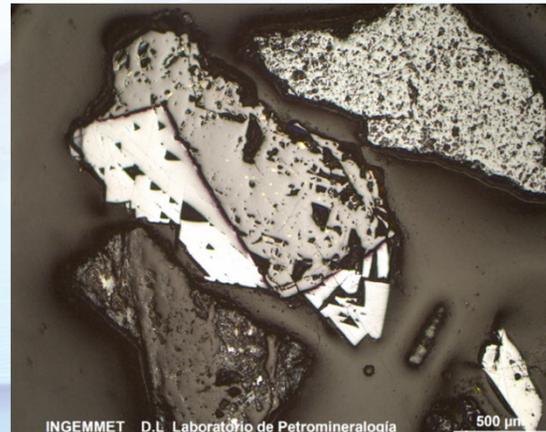
Birreflectancia	Minerales
Fuerte	molibdenita
Media	Estibina, marcasita, carbonatos.
Débil	Arsenopirita, hematita y millerita.



## Dureza

Es el grado de resistencia de los minerales frente a cualquier intento de alterar su superficie ya sea por medio de abrasión o presión.

Se puede estudiar de dos formas cualitativamente: *dureza de pulido* y cuantitativamente: *microdurómetro*.



# Propiedades de los minerales al microscopio

## Forma y hábito

Las formas pueden ser:

Euhedrales, subhedrales, anhedrales

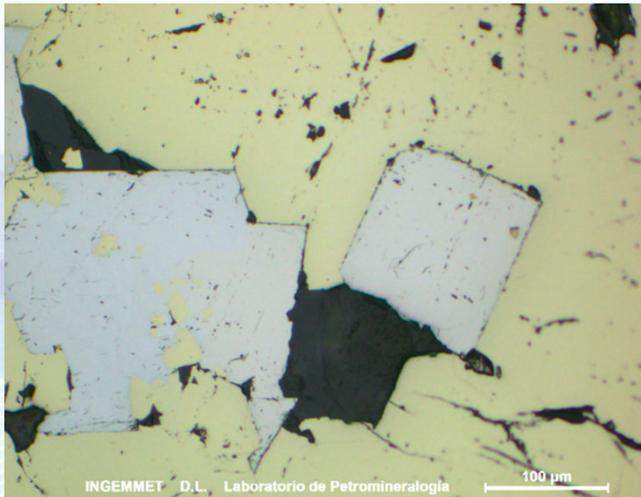
El hábito puede ser:

Aciculares: Estibina

Tabulares: molibdenita

Rómbico: Arsenopirita

Cúbico: Galena, pirita.

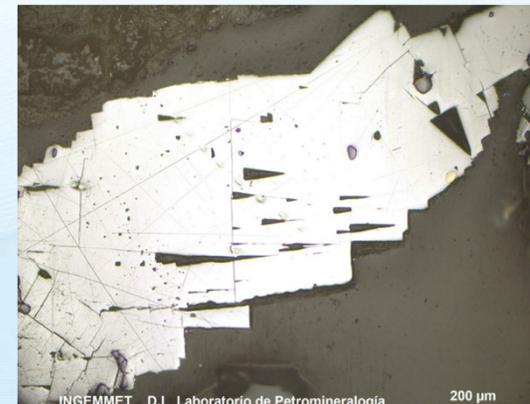


## Clivaje

Propiedad de ciertos minerales de romperse según sus planos preferenciales.

Puede existir más de un clivaje. Se pueden utilizar los siguientes términos:

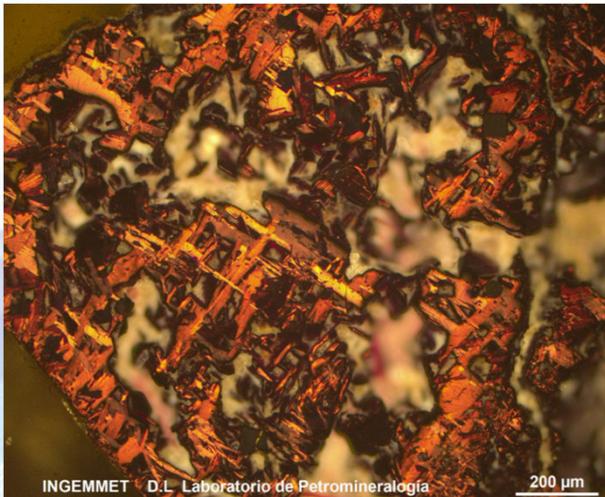
- Perfecto: Planos limitados por formas regulares, como cubos (galena).
- Bueno: planos menos visibles y no siempre perfectamente rectos.
- Imperfecto: planos con superficie irregular.



## Propiedades de los minerales al microscopio

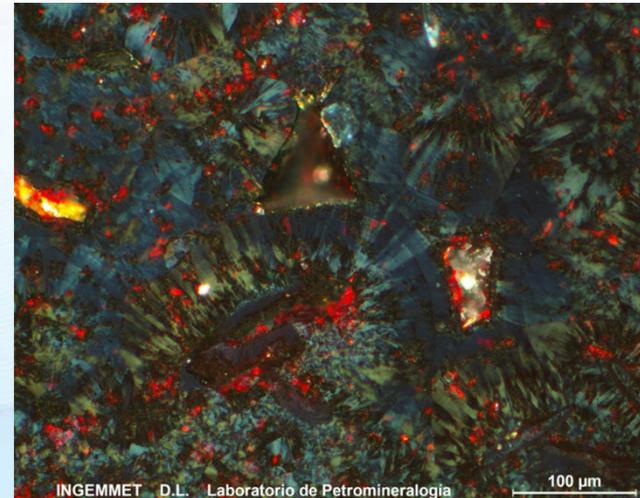
### Anisotropía

Esta propiedad presentan aquellos minerales que cristalizan en sistemas diferentes al cúbico y presentan un cambio en intensidad de color y/o iluminación a medida que giramos la platina del microscopio.



### Reflexiones Internas

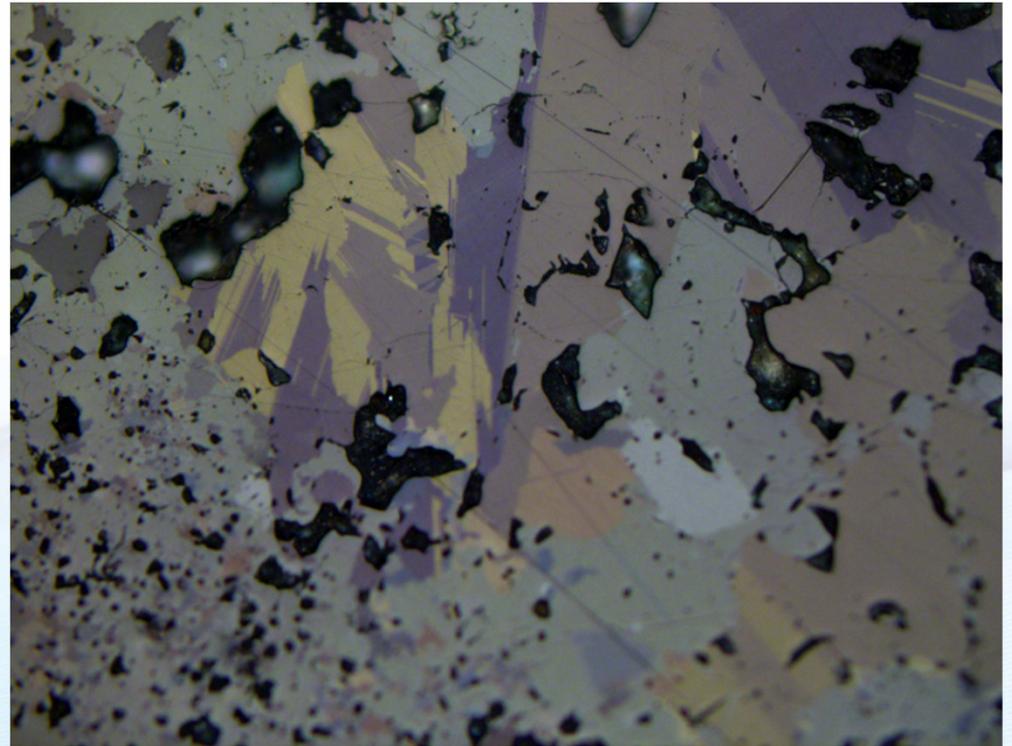
Esta propiedad se observa cuando la luz penetra en mineral translucido y este se refleja por los contactos, planos de clivaje, entre otros, de tal manera que la superficie del mineral se vea iluminada con un color característico.



## Propiedades de los minerales al microscopio

### Macla

Se trata de un agregado monomineral formado por cristales que han crecido compartiendo una parte de sus estructura y definiendo elementos de simetría en conjunto



## Tipos de estudio y análisis para la clasificación de rocas e identificación de minerales

### CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA

Estudio petrográfico

### CLASIFICACIÓN MINERALÓGICA

Estudios mineragráficos

Análisis de espectros minerales

Análisis mineralógico de material suelto

Fluorescencia de minerales

Radiactividad

Tinción de feldespatos

Difracción de rayos X

### CLASIFICACIÓN ELEMENTAL

Fluorescencia de rayos X

Análisis químico

### ESTUDIOS APLICADOS

Estudio petromineragráfico

Estudio de inclusiones fluidas

Estudio de inclusiones fundidas

Análisis mineralógico de grado de liberación

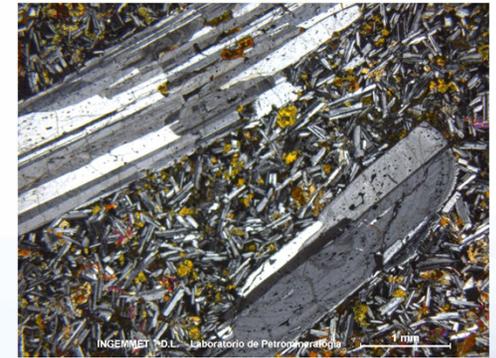
Microscopía electrónica de barrido

## Estudios Petrográficos

Consiste en la identificación, descripción de minerales y texturas, para realizar una **clasificación modal de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.**

### APLICACIÓN:

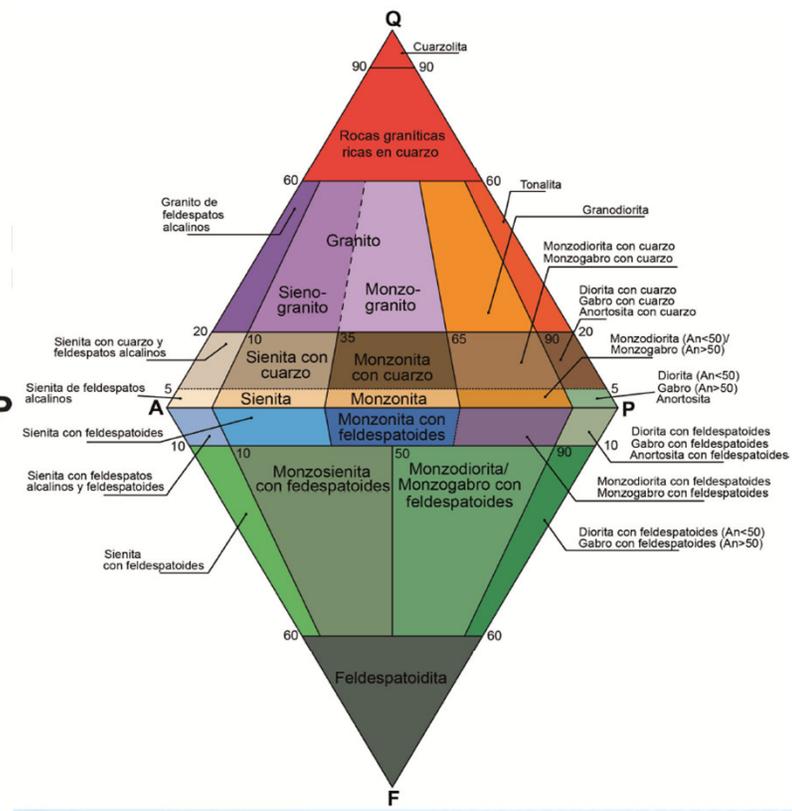
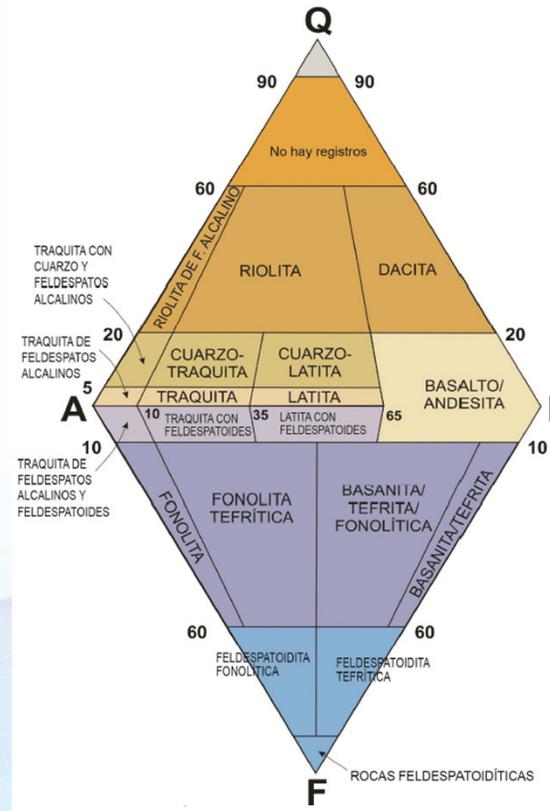
- Caracterización litológica de unidades litoestratigráficas.
- Rasgos texturales relevantes.
- Caracterización de ensamble mineralógico de alteraciones.
- Identificación de microestructuras, porosidad.



# Estudios Petrográficos

## Limitaciones:

- Las rocas volcánicas que contienen vidrio mayor al 20%, se debe realizar análisis químico para su clasificación.
- Los minerales que tienen tamaños menores a 4µm, no pueden ser determinadas mediante la óptica, para su caracterización se deberá optar por otras técnicas analíticas (DRX, MEB, TERRASPEC).

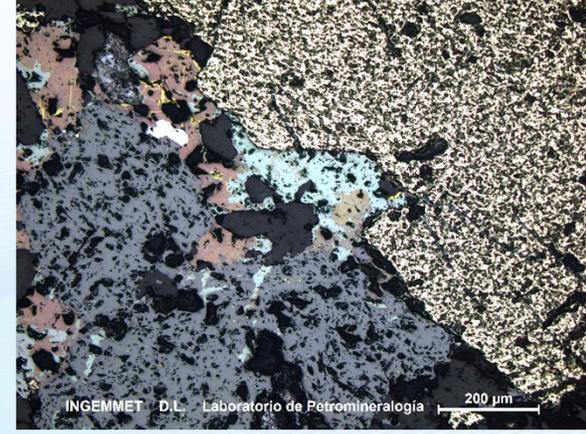
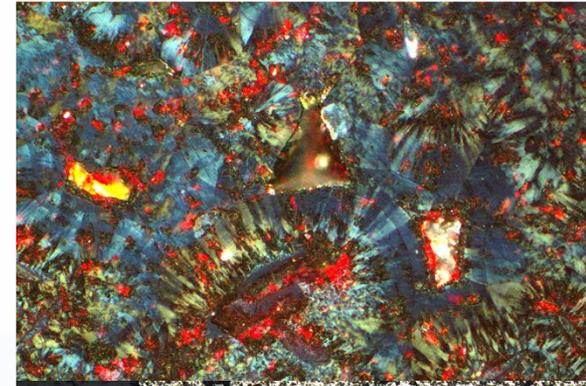


## Estudios Minerográficos

Consiste en la identificación de los minerales de mena libres y asociados, tipos de intercrecimientos, texturas y secuencia de formación probable.

### APLICACIÓN:

- Identificación de minerales y ensambles mineralógicos de los diferentes depósitos.
- Identificar tipos de intercrecimientos de los minerales de mena.
- Secuencia paragénetica de minerales de mena.

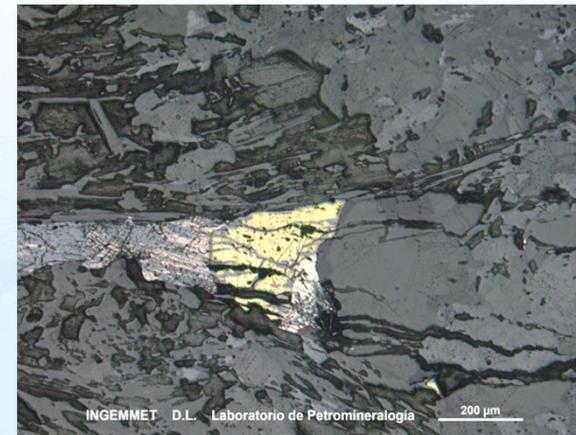
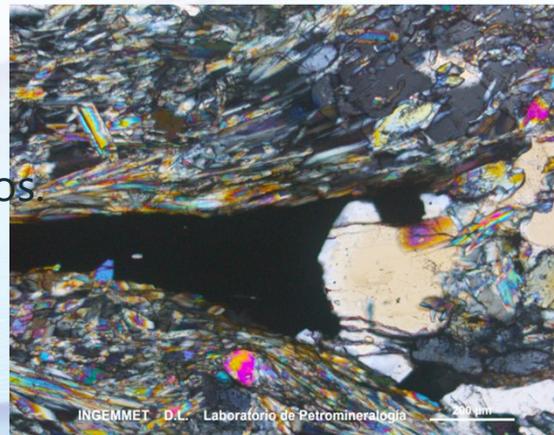
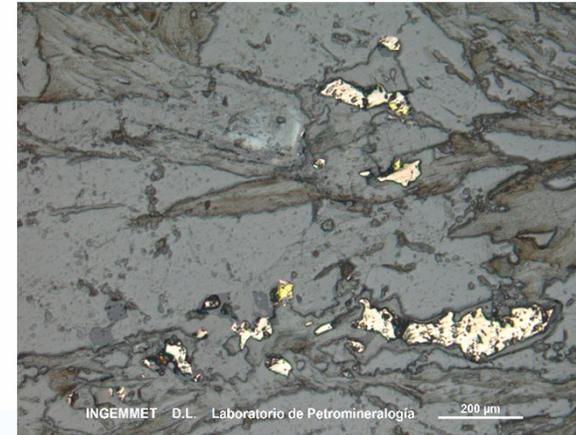
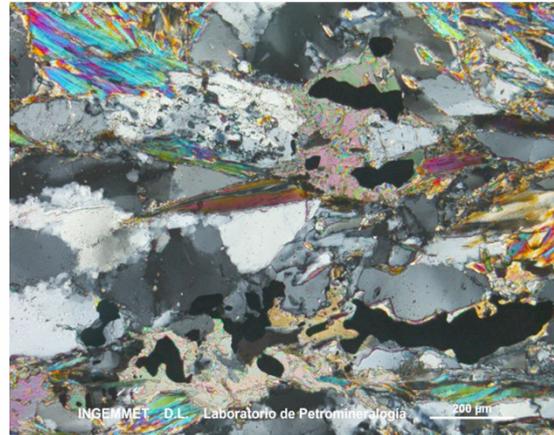


## Estudios Petrominerográficos

Combinación de estudio petrográfico y minerográfico en una sola sección, que sirve para relacionar los minerales de mena con ganga.

### APLICACIÓN:

- Caracterización litológica relacionada con minerales de mena en los diferentes depósitos
- Ocurrencia mineralógica de las menas.

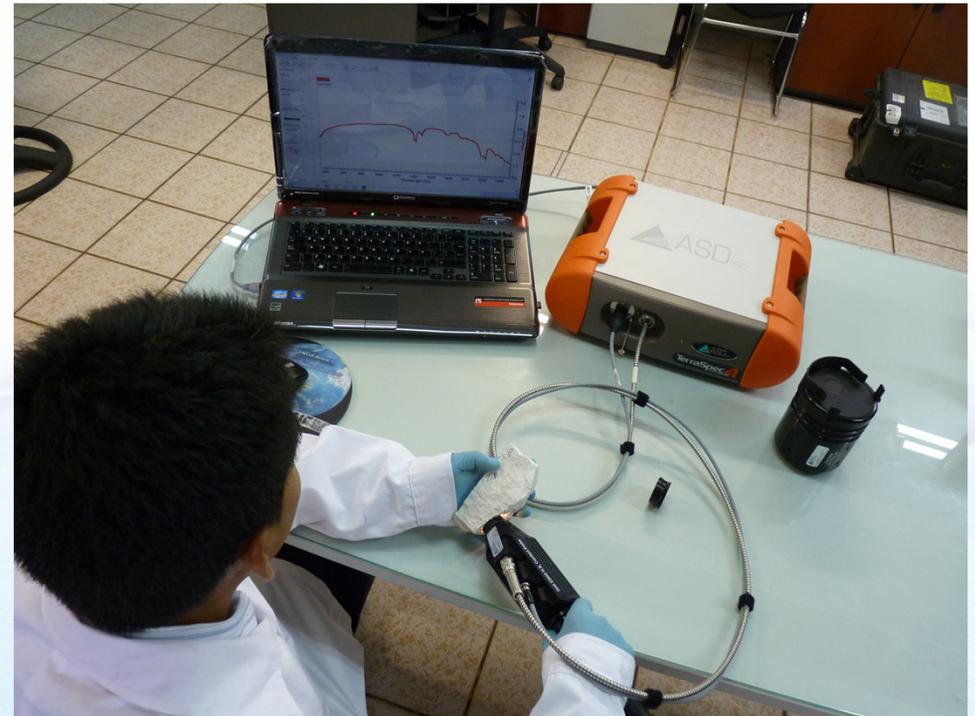


## Análisis de espectros de minerales

Consiste en el análisis de muestras alteradas de rocas y suelos, a través de la medición de los rasgos espectrales. Este estudio permite identificar la mineralogía, grados de cristalinidad, variaciones por reemplazamiento en la composición molecular y asociaciones minerales.

### APLICACIÓN:

- Caracterización de minerales de alteración de un depósito.
- Mapas de alteración
- Relaciona la alteración con la mineralización en el área de un proyecto.



## Análisis mineralógico de material suelto

Permite identificar la mineralogía de los granos, formas y sus asociaciones de granos mixtos.

### APLICACIÓN:

- Proveniencia de los sedimentos.
- Identificación de los minerales metálicos en material suelto.

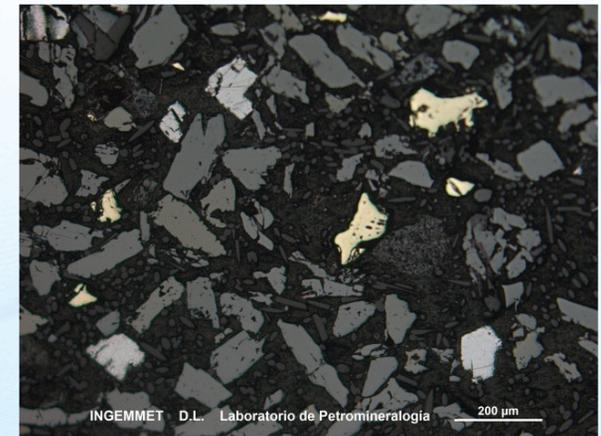


## Análisis mineralógico de grado de liberación

Permite la identificación mineralógica de los granos presentes, conteo de granos libres y mixtos, texturas de intercrecimientos, registrados en fotomicrografías.

### APLICACIÓN:

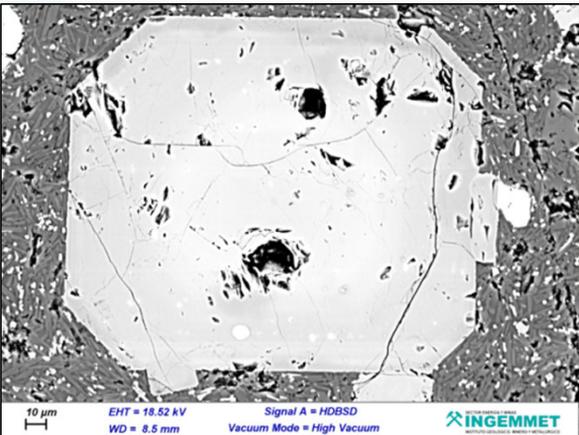
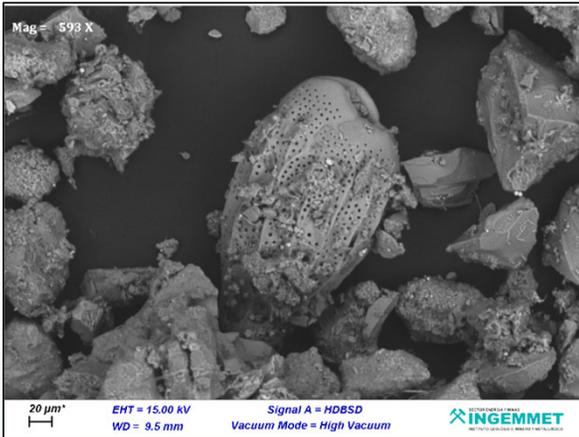
- Permite evaluar el material de cabeza para las pruebas metalúrgicas.
- Permite controlar los procesos metalúrgicos.
- Permite caracterizar los relaves.



## Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

Resolución: 2 nm

Magnificación: 10X a 1'000,000 X



### APLICACIÓN:

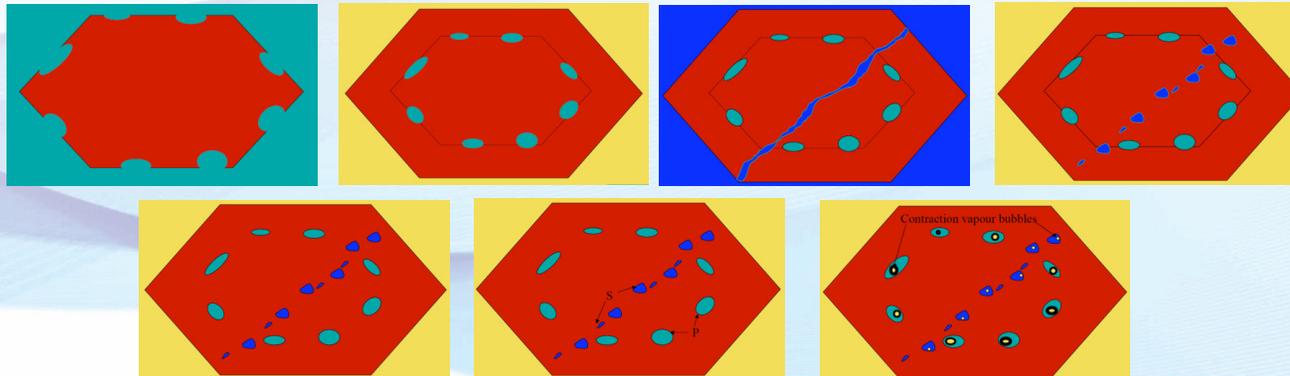
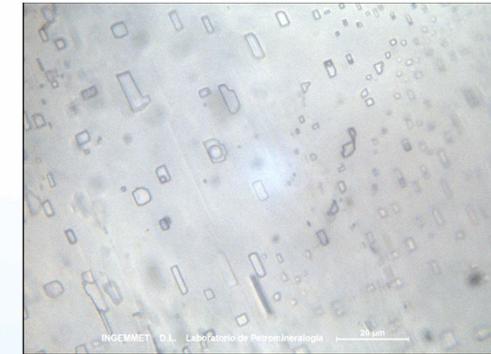
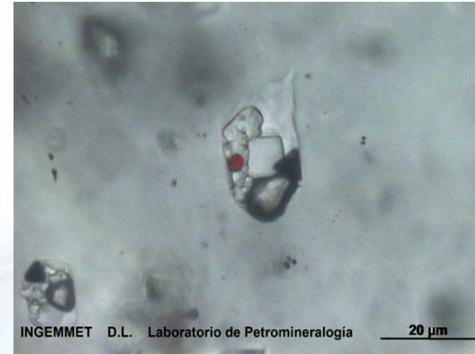
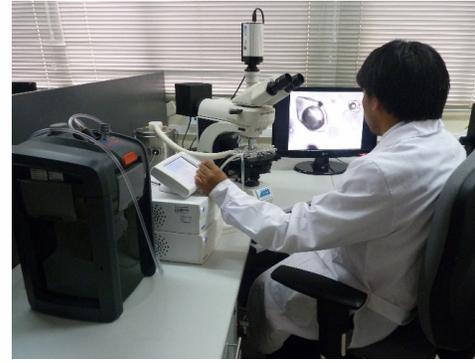
Investigaciones cristalográficas, mineralógicas y petrográficas. Estudio morfológico y estructural de las muestras. Identificación de microfósiles. Textura de rocas y minerales. Aplicaciones geometalúrgicas.



## Estudio de inclusiones fluidas (IF)

Define la temperatura de homogeneización ( $T^{\circ}$  min de atrapamiento de las IF) y salinidad de los fluidos mineralizantes.

Consiste en la identificación de las inclusiones fluidas mediante la petrografía, el análisis microtermométrico, basado en la medida de las temperaturas producto el cambio de las fases en las inclusiones cuando se congelan y calientan de forma controlada.



# Estudio de inclusiones fluidas (IF)

## APLICACIÓN:

- Permite evaluar el rango de temperatura y presión de formación de un yacimiento.
- Permite evaluar la capacidad de transporte de ciertos metales por los fluidos.
- Permite evaluar los mecanismos de precipitación mineral.
- Permite caracterizar eventos hidrotermales relacionado con la mineralización económica.

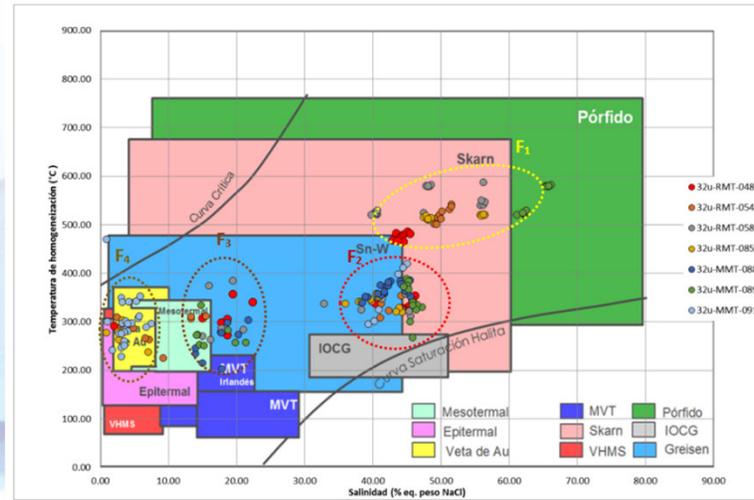
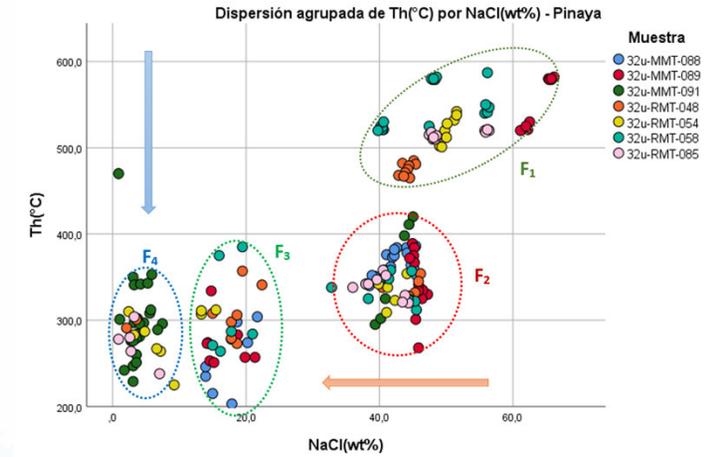
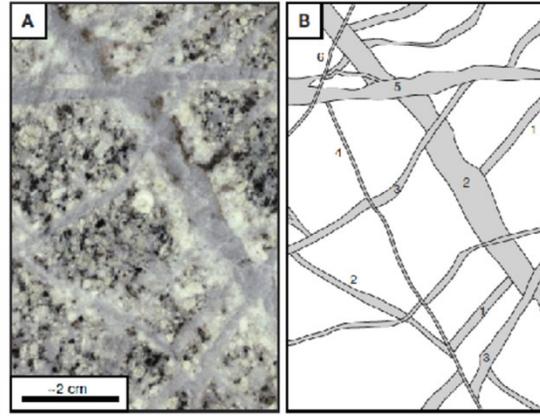
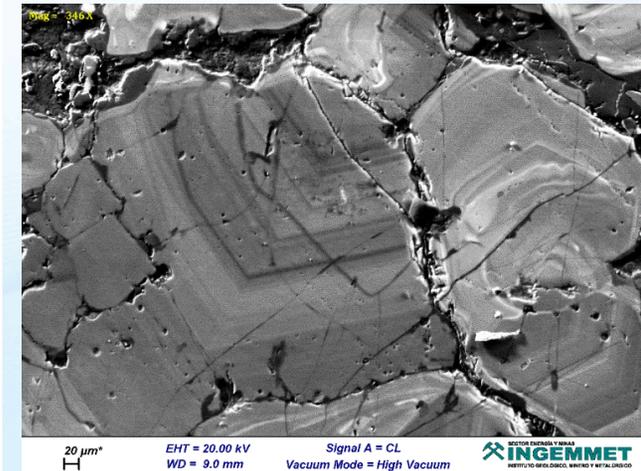


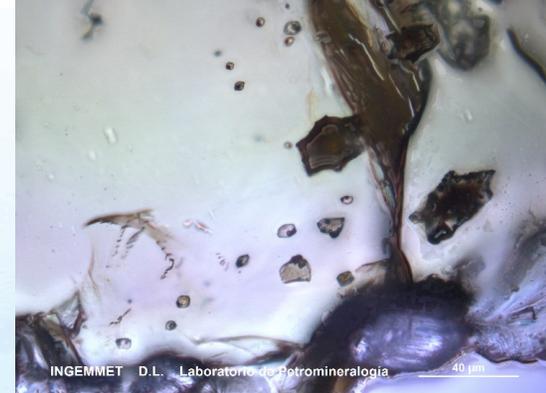
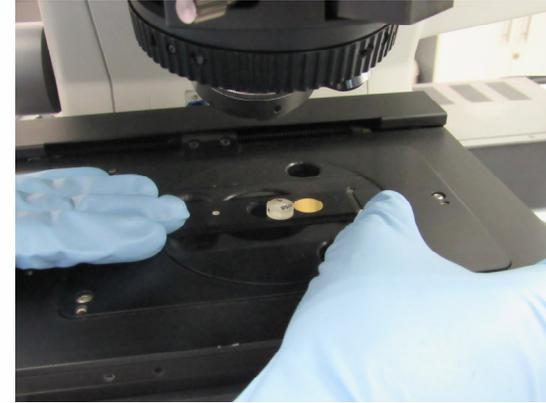
Diagrama de Temperatura de homogeneización vs. Salinidad, modificado de Wilkinson (2001).



## Estudio de inclusiones fundidas (MI)

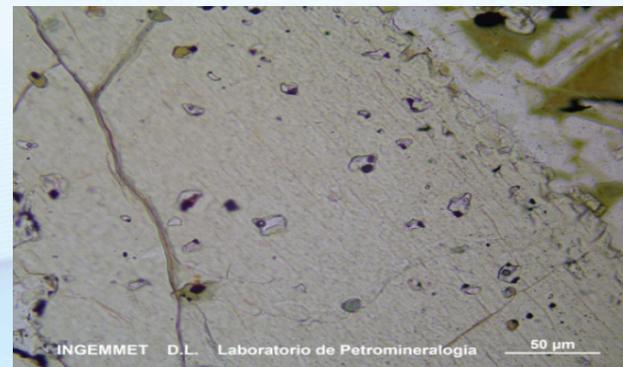
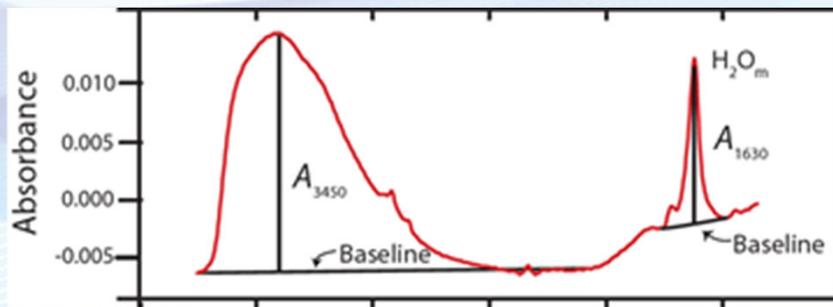
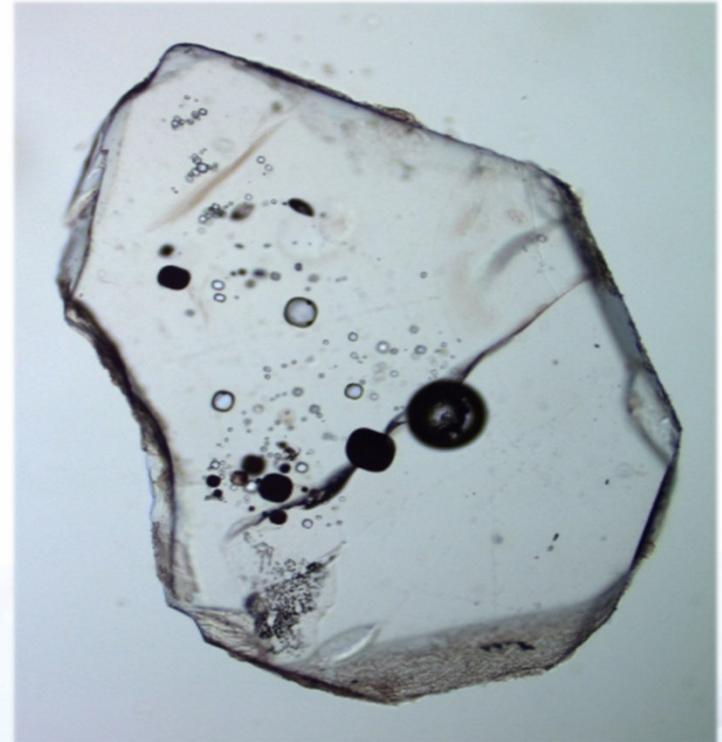
Registra la historia de la evolución del magma mediante la composición de los volátiles ( $H_2O - CO_2$ ).

Consiste en la identificación de las inclusiones fundidas mediante la petrografía, la rehomogeneización de las MI y la identificación de los volátiles ( $H_2O - CO_2$ ).



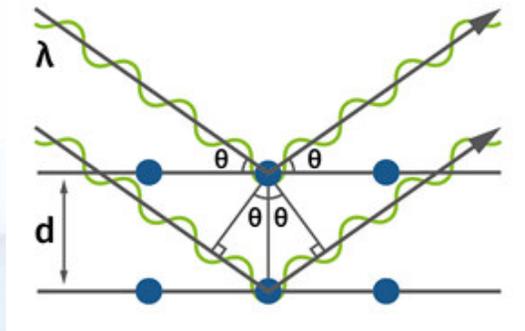
## APLICACIÓN:

- **Reconstrucción de ascensos de magmas.**
- Transferencia de vapor de magmas más profundos a más someros.
- Presencia de fluidos disueltos en la cámara magmática antes de la erupción.
- Evolución de la presión del magma antes de la erupción.
- Cuantificación de la fugacidad de S y especiación de éste en el magma.
- Concentración de menas metálicas disueltas en el magma previo a la desgasificación.



## Análisis mineralógico por DRX

Permite identificar fases cristalinas (minerales, no amorfos) presentes en una muestra mediante la correspondencia de los picos de difracción de la estructura cristalina de las fases con la respectiva base de datos (PDF-4+).



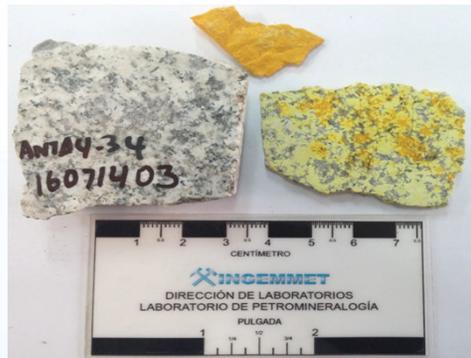
### APLICACIÓN:

- Identificación de fases cristalinas.
- Cuantificar fases cristalinas en una muestra.

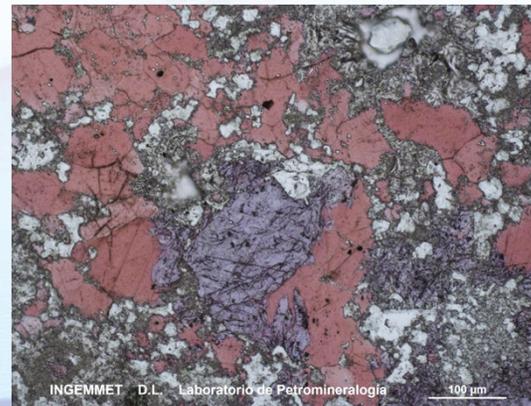


## Tinción de Minerales

Prueba química para la **identificación de minerales** como feldespatos, carbonatos y minerales con contenido de zinc.



INGEMMET D.L. Laboratorio de Petromineralogía



## Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X portátil

Técnica no destructiva que nos permite analizar los elementos químicos para su cuantificación, a través de un espectrómetro de fluorescencia de rayos X, el cual posee la capacidad de cuantificar y cualificar los elementos de los minerales.

### APLICACIÓN:

- Permite un análisis elemental rápido de muestras de minerales y rocas.



## Fluorescencia de minerales (FM)

Prueba física que representa la propiedad de algunos minerales de absorber la luz no visible y convertirlo en luz visible, para ello se utiliza la lámpara ultravioleta, la cual emite rayos UV de onda corta (254 nm) y de onda larga (350-370 nm).

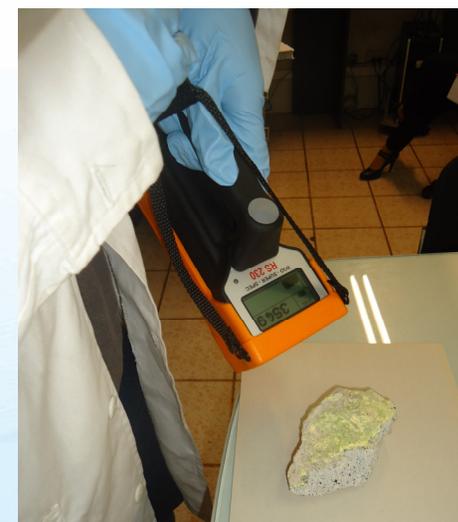


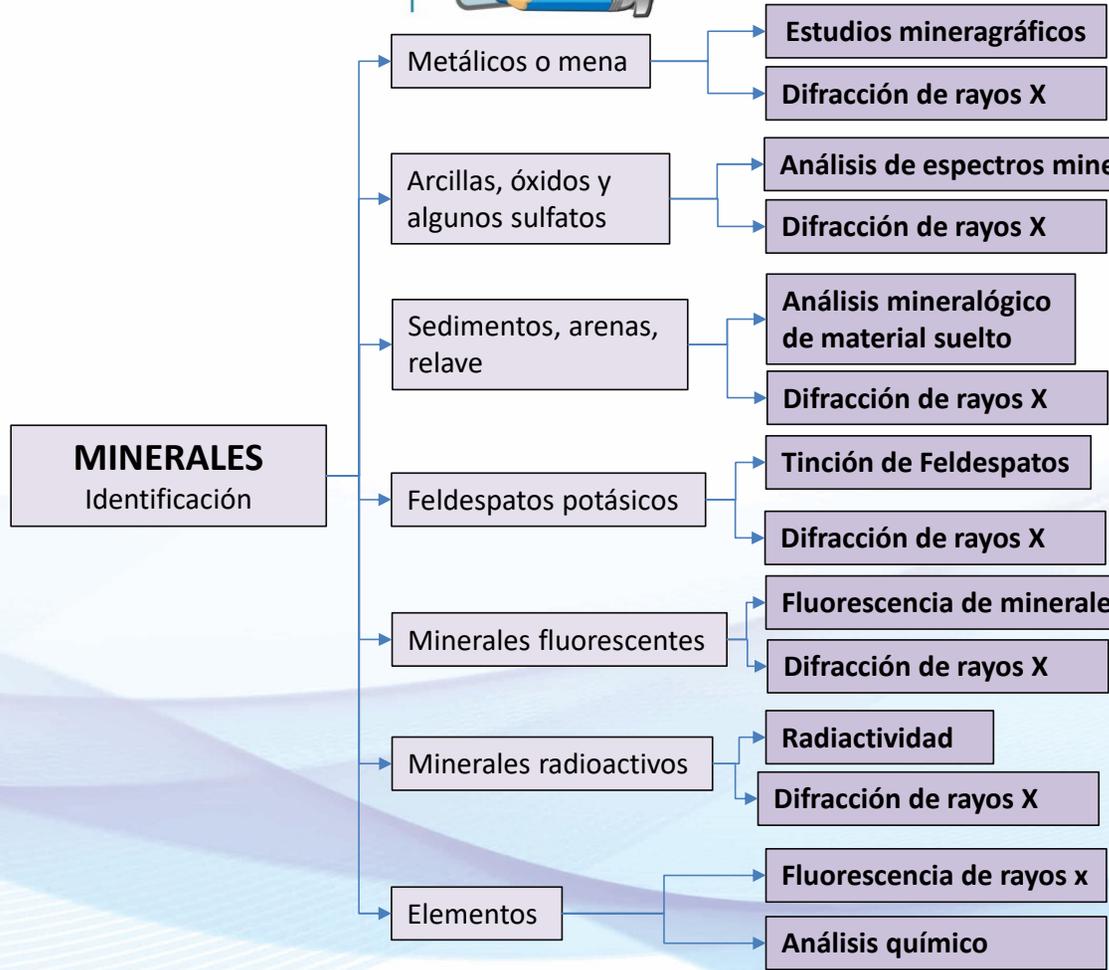
## Medición de la radiactividad (MR)

Consiste en medir la radiación de una muestra a través de un espectrómetro de rayos gamma, cuyo modo de ensayo proporciona concentraciones de K (%), U (ppm) y Th (ppm), donde se puede seleccionar el tiempo de muestra deseado.

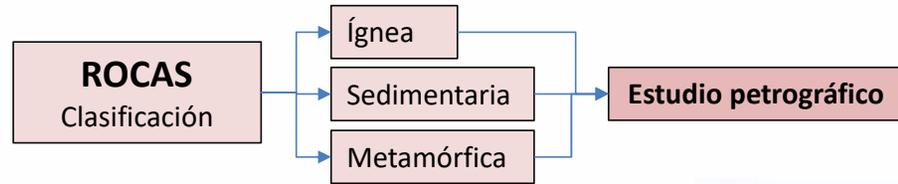
### Limitaciones:

- FM: Solo identifica minerales que presenten fluorescencia.
- MR: Solo cuantifica los elementos de U-K-Th.





## Conclusión





# Estudios disponibles en el GEOCATMIN

	<b>FORMATO</b>			Código : DL-F-157
	<b>ESTUDIO MINERAGRÁFICO</b>			Versión : 03
				Fecha aprob.: 08/09/2015
				Página : 14 de 238

**I. DATOS GENERALES:**

Código de la Muestra	Cuadrángulo	Sistema de Coordenadas			Localidad y/o Paraje
		Norte	Este	Zona	
22k-MMT-011	22k	8830466	366622	18S	Atacocha

<b>RESPONSABLE DEL ESTUDIO</b>	FIRMA
IRVIN DANIEL ZUMARÁN ALAYZA	

**II. INFORMACIÓN MINERAGRÁFICA:**

1. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:

Estructura mineralizada compacta de color gris oscuro conformada por galena esfalerita y pirita, con cuarzo y calcita como gangas. Hacia un



SECTOR ENERGÍA Y MINAS  
**INGEMMET**  
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO



**¡Muchas gracias por su atención!**

 INGEMMET Perú

 @INGEMMET

 @IngemmetPeru

 @INGEMMET

 @Ingemmet Perú

[www.ingemmet.gob.pe](http://www.ingemmet.gob.pe)