



GEOMODELING
TRAINING

MODULO 1

Introducción a la Geometalúrgia

Msc. Ing Jorge Sànchez Espinoza

GEOMETALURGIA

Tipos de minerales y especies mineralógicas

Minerales, sólidos orgánicos de origen natural, que presentan una composición química más o menos constante y una estructura cristalina definida.

- Es un sólido cristalino
- Está formado por procesos
- Es un material inorgánico
- Posee una estructura interna ordenada
- Posee una composición química definida

Pueden ser compuestos químicos o de un solo elemento químico (elemento nativo) regidos por la *regla del octeto*.

Los minerales se desarrollan por diversos procesos:

- Mediando solidificación de líquidos
- Precipitación a partir de soluciones
- Condensación de gases
- Recristalización en estado sólido

GEOMETALURGIA

Tipos de minerales y especies mineralógicas

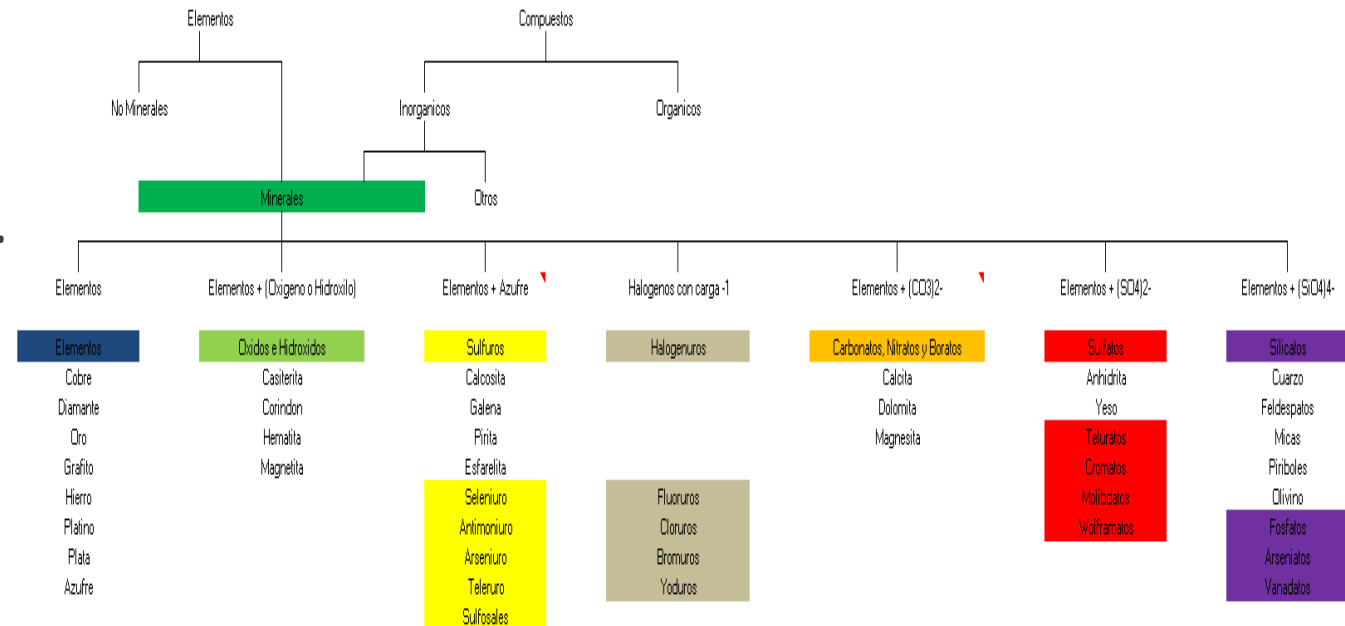
Corteza terrestre: 99% minerales, de los cuales 46.6% O₂, 28.2% Si, 8.2% Al, 5.6% Fe y 4.2% Ca; y en menor proporción Na, K, Mg, Ti y P.

Clasificación de minerales: químico, físico, genético, estructural y cristalquímico (el mas utilizado actualmente)

De acuerdo a un criterio estructural tenemos:

- **clases y subclases,**
- **grupos, series o familias,**
- **hasta llegar a la unidad fundamental: especie mineral.**

La especie mineral se puede presentar en variedades



GEOMETALURGIA

Tipos de minerales y especies mineralógicas

Tipos de minerales.

Elementos nativos: oro, platino, cobre, plata, mercurio, plomo, hierro, grafito, diamante y azufre

Sulfuros y sulfosales: sales de los iones sulfuro, seleniuro, antimoniuro, arseniuro y telururo

Halogenuros: sales de los elementos halógenos actuando con carga -1; es decir, los fluoruros, cloruros, bromuros y yoduros

Óxidos e hidróxidos: combinación de los cationes, generalmente metálicos, asociados al ion oxígeno o a grupos hidroxilos

Carbonatos, nitratos y boratos: la calcita (carbonato de calcio), los nitratos y los boratos, por su alta solubilidad solo pueden encontrarse en altas concentraciones en las regiones más áridas que se acumulan en las depresiones por evaporación de lagos efímeros

Sulfatos, teluratos, cromatos, molibdatos y wolframatos

Fosfatos, arseniats y vanadatos: se destaca el apatito (fosfato de calcio)

GEOMETALURGIA

Tipos de minerales y especies mineralógicas

Elementos minerales comunes.

Metal	Mena mineral	Composición	% de metal
Oro	Oro nativo	Au	100
	Calaverita	Te ₂ Au	39
	Silvanita	Te ₂ (Au,Ag)	--
Plata	Plata nativa	Ag	100
	Argentita	Ag ₂ S	87
	Cerargirita	AgCl	75
Hierro	Magnetita	Fe ₃ O ₄	72
	Hematita	Fe ₂ O ₃	70
	Limonita	Fe ₂ O ₃ -H ₂ O	60
	Siderita	FeCO ₃	48
Cobre	Cobre nativo	Cu	100
	Bornita	Cu ₅ FeS ₄	63
	Brochantita	CuSO ₄ -3Cu(OH) ₂	62
	Calcosita	Cu ₂ S	80
	Calcopirita	CuFeS ₂	34
	Covelina	CuS	66
	Cuprita	Cu ₂ O	89
	Enargita		48
	Malaquita	CuCO ₃ Cu(OH) ₂	57
	Azurita	2CuCO ₃ Cu(OH) ₂	55
	Crisocola	CuSiO ₃ 2H ₂ O	36

GEOMETALURGIA

Tipos de minerales y especies mineralógicas

Elementos minerales comunes.

Plomo	Galena	PbS	86
	Cerucita	PbCO ₃	77
	Anglesita	PbSO ₄	68
Zinc	Blenda	ZnS	67
	Smithsonita	ZnCO ₃	52
	Hemimorfita	ZnSiO ₅ H ₂	54
	Cincita	ZnO	80
Estaño	Casiterita	SnO ₂	78
	Estannita	Cu ₂ SFeSSnS ₂	27
Níquel	Pentlandita	(Fe, Ni)S	22
	Garnierita	(Ni, Mg)SiO ₃ H ₂ ·H ₂ O	—
Cromo	Cromita	Cr ₂ FeO ₄	68
Manganeso	Pirolusita	MnO ₂	63
	Psilomelana	Mn ₂ O ₃ ·xH ₂ O	45
Aluminio	Bauxita	Al ₂ O ₃ ·2H ₂ O	39
Antimonio	Estibina	Sb ₂ S ₃	71
Bismuto	Bismutita	Bi ₂ S ₃	81
Cobalto	Esmaltita	CoAs ₂	28
Mercurio	Cinabrio	HgS	86
Molibdeno	Molibdenita	MoS ₂	60
	Wulfenita	MoPbO ₄	39
Wolframio	Wolframita	WO ₄ (Fe, Mn)	76
	Huebnerita	WO ₄ Mn	76
	Scheelita	WO ₄ Ca	80

GEOMETALURGIA

Tipos de minerales y especies mineralógicas

Elementos gangas comunes.

Clase	Nombre	Composición
Oxidos	Cuarzo	SiO_2
	Bauxita	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
	Limonita	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Carbonatos	Calcita	CaCO_3
	Dolomita	$(\text{Ca}, \text{Mg})\text{CO}_3$
	Siderita	FeCO_3
	Rodocrosita	MnCO_3
Sulfatos	Baritina	BaSO_4
	Yeso	$\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

GEOMETALURGIA

Tipos de minerales y especies mineralógicas

Elementos gangas comunes.

Silicatos	Feldespato	
	Granate	
	Rodonita	MnSiO_3
	Clorita	
	Minerales arcillosos	
Varios	Fluorita	F_2Ca
	Apatita	$(\text{Fca})(\text{PO}_4)_3\text{Ca}_4$
	Pirita	FeS_2
	Marcasita	FeS_2
	Pirrotita	Fe_{1-x}S
	Arsenopirita	FeAsS

GEOMETALURGIA

Tipos de minerales y especies mineralógicas

Principales minerales en la corteza terrestre.

Grupo	Mineral	Fórmula
Silicatos	Cuarzo	SiO_2
	Olivina	$(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$
	Feldespato de K (ortoclasa)	$\text{KA1Si}_3\text{O}_8$
Oxidos	Corinoón	Al_2O_3
	Magnetita	Fe_3O_4
Carbonatos	Calcita	CaCO_3
	Dolomita	$\text{CaCO}_3\text{-MgCO}_3$
Sulfuros	Pirita	FeS_2
	Galena	FbS
Sulfatos	Yeso	$\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Haluros	Halita	NaCl
	Fluorita	CaF_2

GEOMETALURGIA

Características de los minerales

Principales características

- Dureza
- Peso específico
- Color
- Solubilidad
- Insolubilidad

Otras características

- Minerales magnéticos
- Minerales de alto y bajo punto de fusión
- Minerales de baja y alta ley
- Minerales de valor comercial
- Minerales estratégicos

GEOMETALURGIA

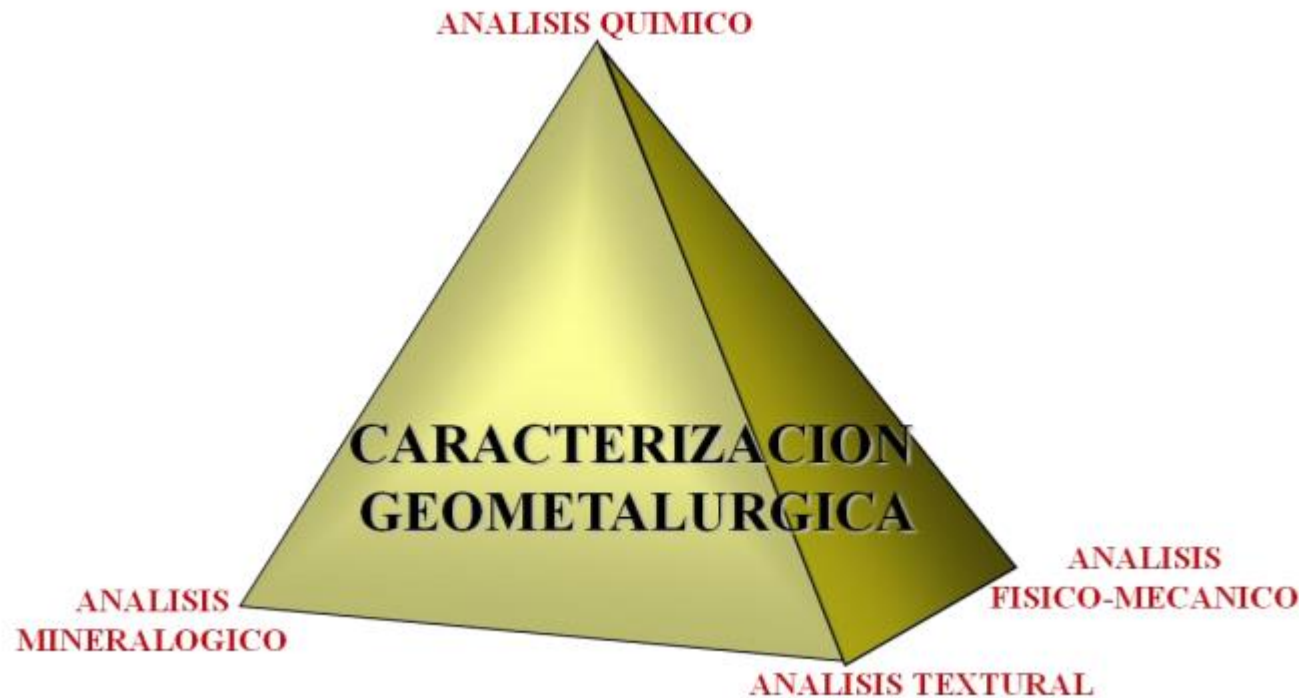
Procesos de concentración de minerales e iones disueltos

- Concentración magnética
- Concentración gravitacional
- Flotación
- Lixiviación
- Fusión
- Extracción por solventes
- Carbón activado
- Resinas de intercambio iónico

GEOMETALURGIA

Definición geo-metalúrgica

Un tipo o grupo de tipos de minerales que poseen un conjunto de propiedades similares en textura y composición desde el cual se pueden predecir su comportamiento metalúrgico



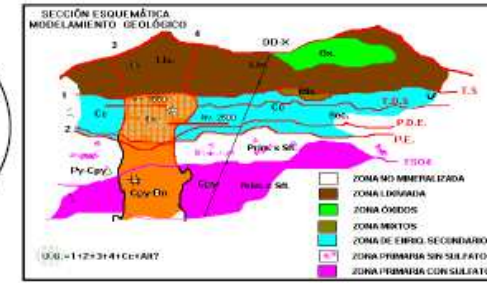
MODELAMIENTO GEO-MINERO-METALURGICO DE RECURSOS

MODELO DISTRITAL

- Definición de Nuevos Blancos
- Modelos Geológico-Genéticos
- Modelos de Exploración
- Concepto de Yacimientos anidados.

TOMA DE DATOS

- Muestreo, Protocolos
- Afloramientos, Sondajes,
- Canales, Zanjas
- Coord., Trayt, Densidades,
- Ensayes, Recuperaciones
- Duplicados, etc



MODELO GEOLÓGICO

- Conceptualización del Modelo por:
- Litología
 - Mineralogía, Mena, Ganga
 - Alteración, Mineralización
 - TSO4, P.E., T.S.
 - Estructuras, Fracturas, Fallas , etc

MODELO DE ESTIMACIÓN

- Definición de U. EST., por elemento
- Medias, Desviaciones
- Variografías, Varianzas, Alcances
- Bordes Duros de U.Est.

Cu T
Cu S
Au, Mo
As, Zn,

Define

RECURSOS
Modelo de Bloques

MODELO GEOMETALÚRGICO

- Definición U. Geo. Met., según proceso
- Pruebas Piloto, Representatividad
- W.I., Durezas
- Arcillas, Consumos, Extracciones
- Lamas, Ph, etc.

Define

Consum.
Extrac.
W.I.
Ph

Proceso Metalúrgico

MODELO DE RESERVAS

Proceso de Planificación Minera
Secuenciamiento

VALOR DEL NEGOCIO

MODELO GEOTECNICO

- Definición de U.Geo Mec.
- Clasificación Geomecánica
- RQD, FF, IRS
- Ensayes Uniaxiales, Triaxiales
- H₂O, TSO₄
- Fallas, Estructuras
- Angulo, Ø

RQD
FF
IRS
R M R

Define

Diseño Minero

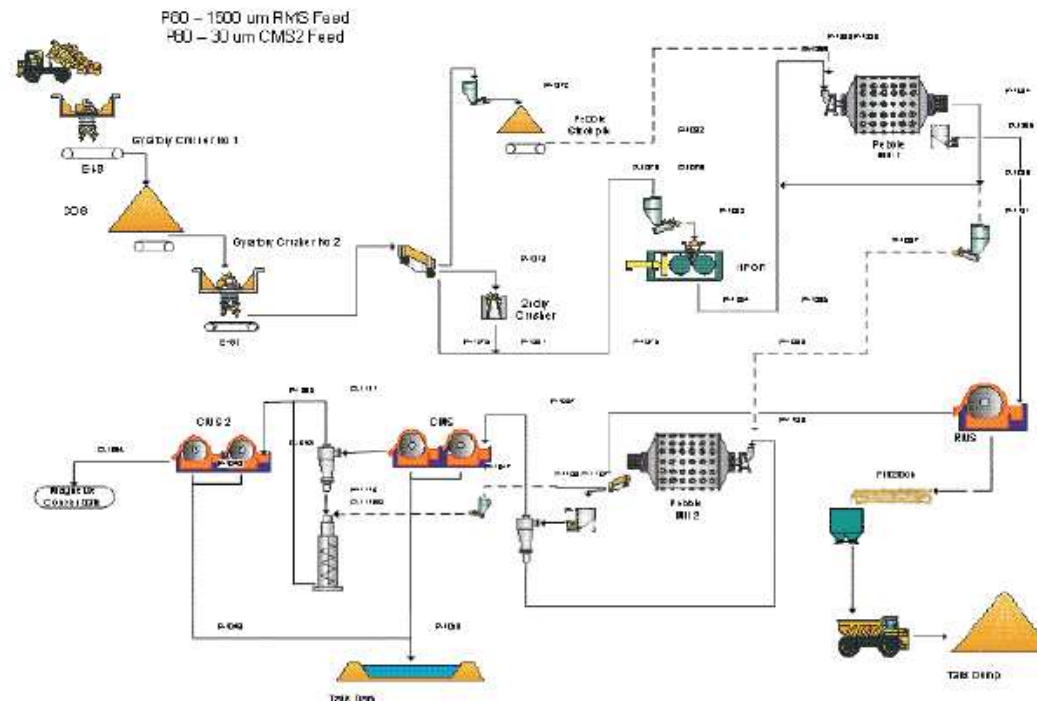
Cu T, Cu S
Mo, Au
Consumo
Extracción
W.I, Ph
R M R, etc.

RESERVAS
Explotables

GEOMETALURGIA

Que información aporta

- Poderosa fuente de información para apoyar a la mineralogía del proceso
- La variabilidad del yacimiento y su impacto en la recuperación metalúrgica puede cuantificarse
- Los riesgos metalúrgicos pueden ser identificados y mitigados
- Los criterios de diseño para plantas metalúrgicas pueden ser optimizados, lo cual representa un ahorro de costos en sobredimensionamiento de equipos.



GEOMETALURGIA

Beneficios

Reduce significativamente el impacto de incertidumbre espacial en el planeamiento de la mina, debido a que documenta la variabilidad en un deposito.



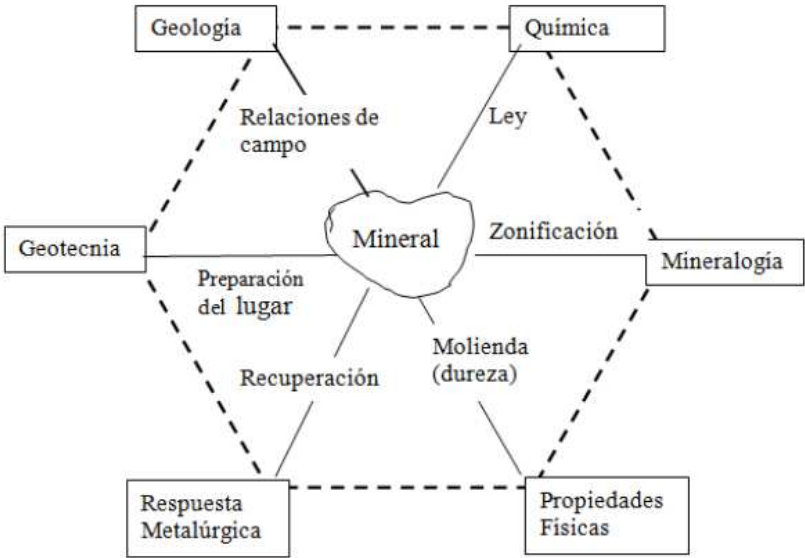
GEOMETALURGIA

Componentes

Consiste de diversas actividades

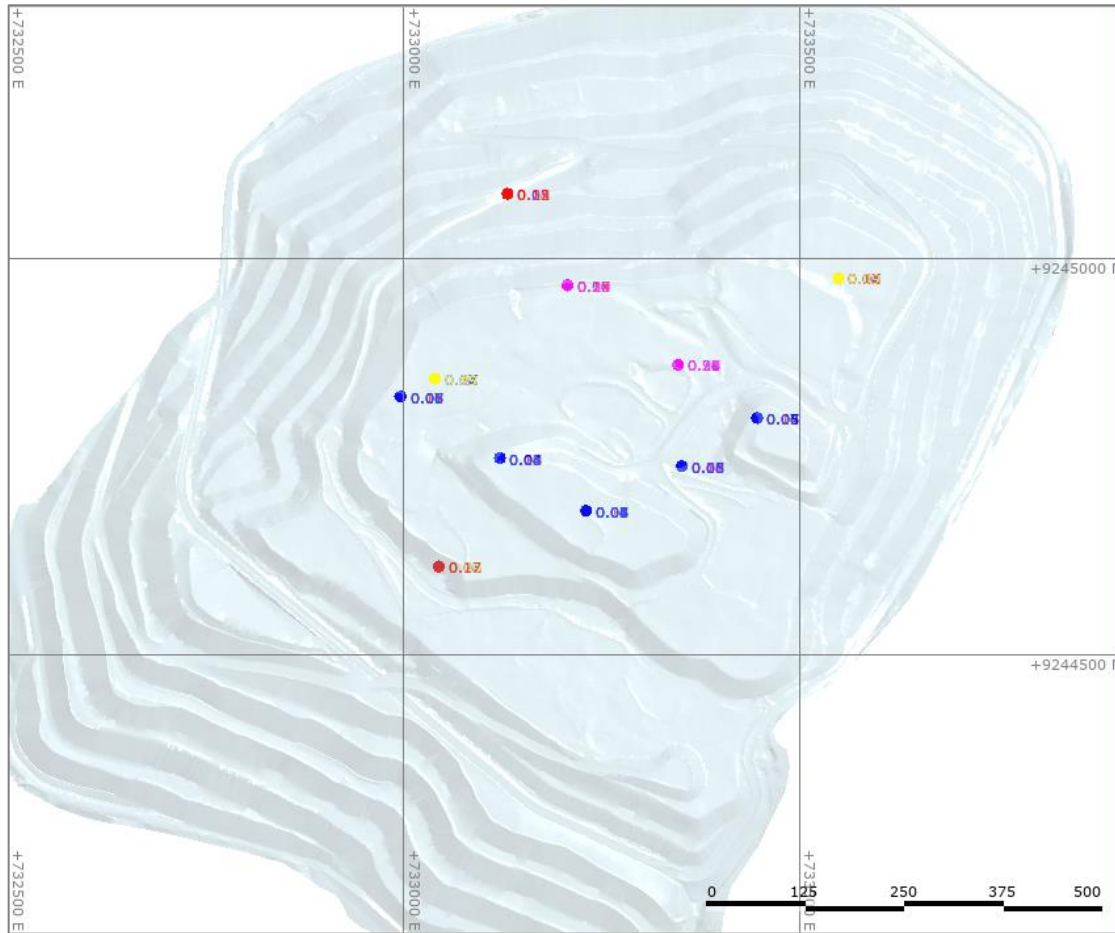
- **Muestreo**
- **Pruebas de variabilidad, usando pruebas estandarizadas de bajo costo que requieren un pequeño volumen de muestras**
- **Recolección de datos relacionados y correlaciones**
- **Adición de datos en un modelo de bloques o plan de mina**
- **Manejo geoestadístico de datos**
- **Modelamiento de los procesos**

Disciplina	Parámetro	Pruebas posibles
Geología	Relaciones de campo	Mapeo, perforación, inclinación
Química	Ley de mineral	Análisis
Mineralogía	Zonamiento	Identificación de los minerales, asociación, tamaño, textura e información de liberación, disponible vía Microscopía Electrónica.
Propiedades Físicas	Dureza - Molienda	Índices de Trabajo (Bond Work Index), la Prueba por Caída de Peso JK, ÍndiceSPI, prueba de molino de 18" MacPherson
Respuesta Metalúrgica	Recuperación	Cinética de flotación, pruebas por ciclos bloqueados, oro GRG, Pruebas de hundimiento/flotación, pruebas de lixiviación en botella.
Medidas Geotécnicas	Preparación del Sitio, Revisión del Medioambiente	Densidad de suelos, flujo de aguas freáticas, estabilidad de taludes

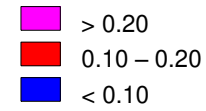


GEOMETALURGIA

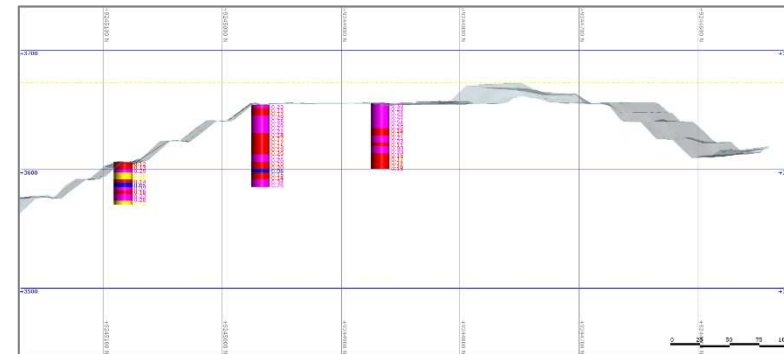
Ejemplo Practico



Leyenda Au/Ca g/t

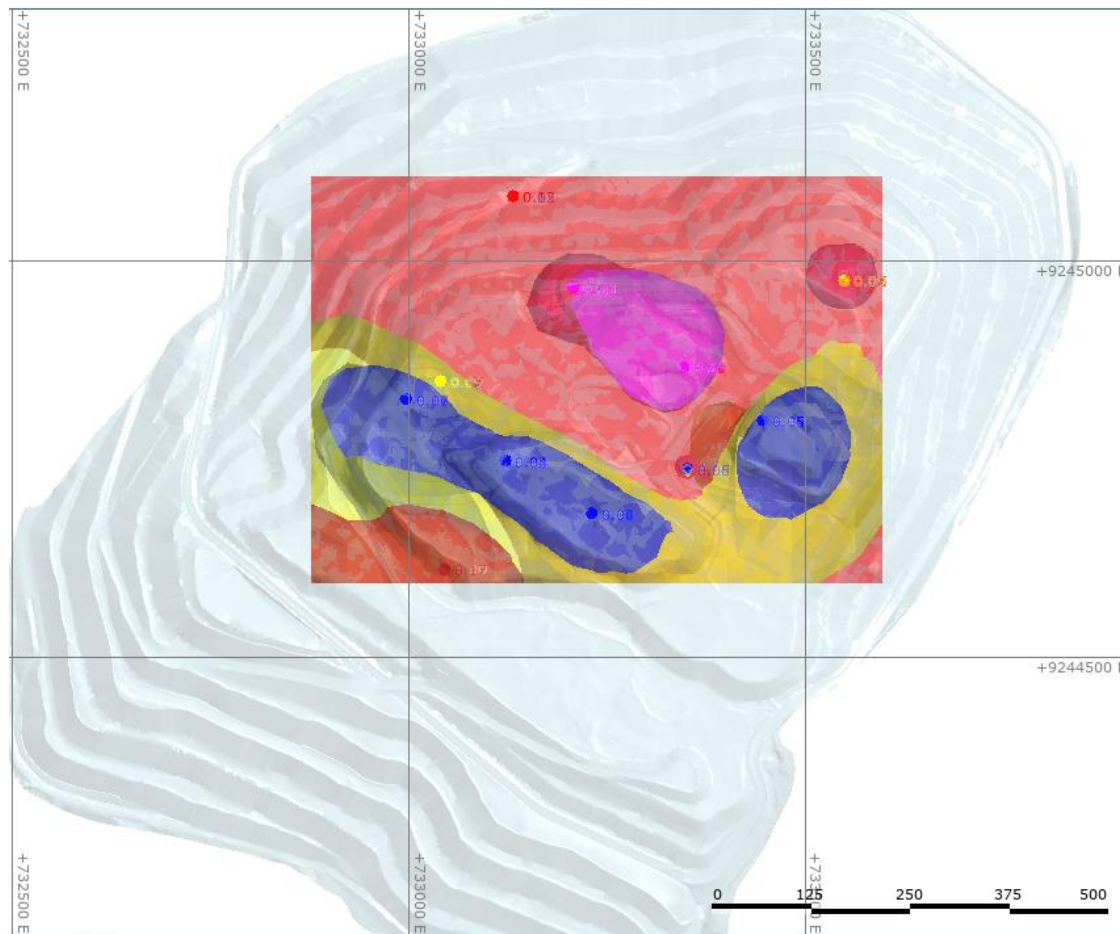


Sección A-A,
Mirando al NW

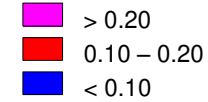


GEOMETALURGIA

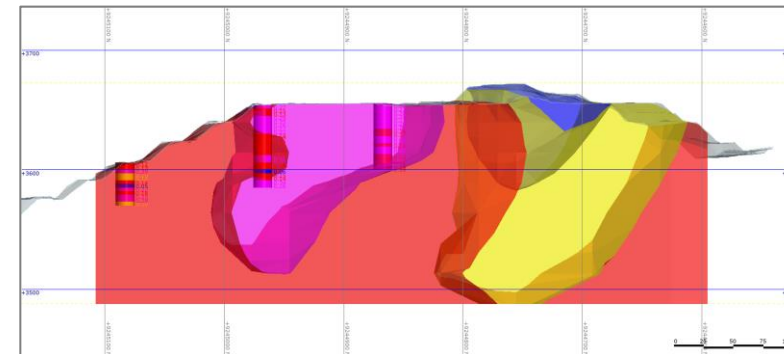
Ejemplo Practico



Leyenda AuCa g/t

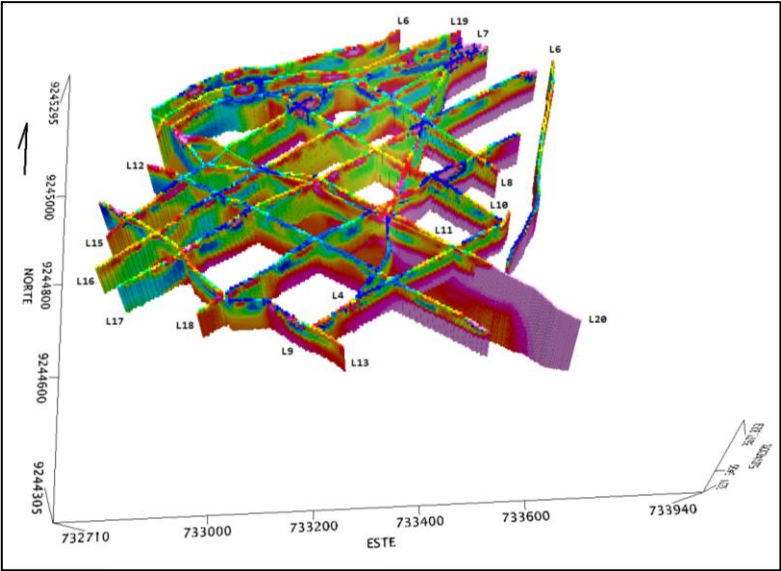


Sección A-A, Mirando al NW

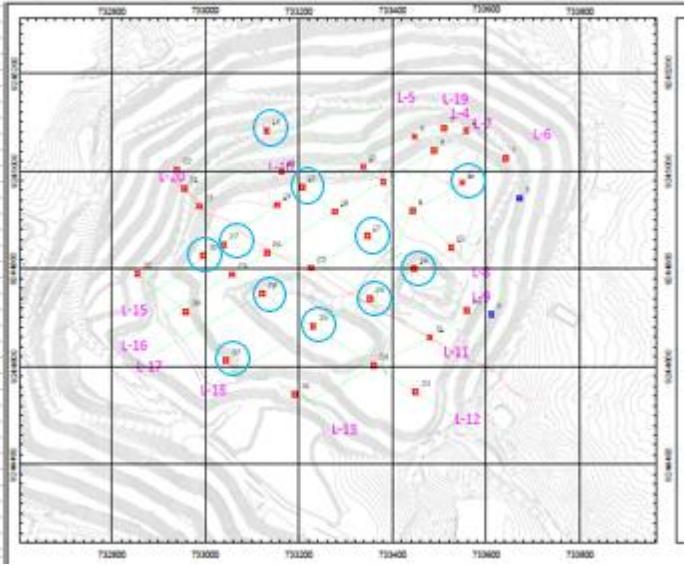


GEOMETALURGIA

Ejemplo Practico



Resistividad en Pad de Lixiviación



Proyecto de perforación

Muestra	Cabeza (g/t) *			Extracciones (%)		
	Au	Ag	Cu	%Au	%Ag	%Cu
Perforación N° 01	0.080	4.03	179.9	23.9	26.4	14.8
Perforación N° 02	0.077	4.69	141.2	29.0	29.4	13.1
Perforación N° 03	0.100	7.36	96.5	23.2	30.6	9.3
Perforación N° 04	0.112	6.14	175.8	27.9	28.3	13.2
Perforación N° 05	0.071	4.62	125.4	22.7	29.5	8.4
Perforación N° 06	0.199	5.36	112.0	50.8	33.2	11.1
Perforación N° 07	0.248	5.57	146.8	58.2	27.7	9.1
Perforación N° 08	0.132	17.34	197.3	33.7	39.4	11.2
Perforación N° 09	0.071	5.39	157.0	24.2	27.6	9.5
Perforación N° 10	0.110	4.72	123.6	26.9	23.5	13.7
Perforación N° 11	0.162	5.09	85.8	52.6	29.2	15.1
Resumen	0.122	6.32	145.6	38.8	31.4	11.7

*Cabeza Calculada= Residuo + Solución

Pruebas metalúrgicas

Programa de especialización en Geometalurgia en Minería

Fundamentos de los Procesos Metalúrgicos

Tema: Operaciones metalúrgicas

Docente: Mg. Ing. Jorge Sánchez

Operaciones metalúrgicas

CAMPO DE LA METALURGIA

La metalurgia puede dividirse en metalurgia extractiva y metalurgia física o adaptativa. La metalurgia extractiva se ocupa de la concentración de la mena y subsiguiente fusión, purificación y afino del metal obtenido y también de la recuperación de diversos subproductos, como los que contienen oro, plata, platino, arsénico y antimonio; la metalurgia física se ocupa de la fabricación, hechura y tratamiento de estos metales.

Por consiguiente, el campo de la metalurgia se puede dividir en los siguientes grupos:

1. Metalurgia extractiva

- a. Concentración de menas.
- b. Pirometalurgia.
- c. Hidrometalurgia
- d. Electrometalurgia.
 - Electrolítica
 - Electrotérmica

2. Metalurgia física o adaptativa

- a. Metalografía y tratamientos térmicos
- b. Análisis por Rayos X
- c. Ensayos físicos
- d. Recubrimientos protectores y corrosión
- e. Mecanizado

El beneficio de menas o concentración tiene por objeto separar la ganga, o material sin valor, de la mena bruta y convertir a ésta en un producto del que pueden obtenerse económicamente el metal o los metales que contiene.

La Pirometalurgia se ocupa de aquellos procesos que dependen del calor o de la acción de l calor o de la acción de los productos de la combust os productos de la combustión para conseguir ión para conseguir la reducción de los metales.

La Hidrometalurgia tiene por objeto estudiar el empleo de soluciones acuosas en la extracción del metal de la mena, y de la recuperación a partir de las mismas, por cementación o electrolisis, de dicho metal.

La Electrometalurgia utiliza la corriente eléctrica tanto para suministrar calor como para la electrólisis de disoluciones acuosas o en estado fundido.

APLICACIONES Y PROPIEDADES DE LOS METALES

Los metales se usan ampliamente con fines estructurales en edificios, coches, ferrocarriles, buques y aviación, gracias a sus propiedades mecánicas: resistencia, dureza, maleabilidad, etc.

- Estructuras en Construcción
- Vehículos
- Buques
- Ferrocarril
- Aeronaves

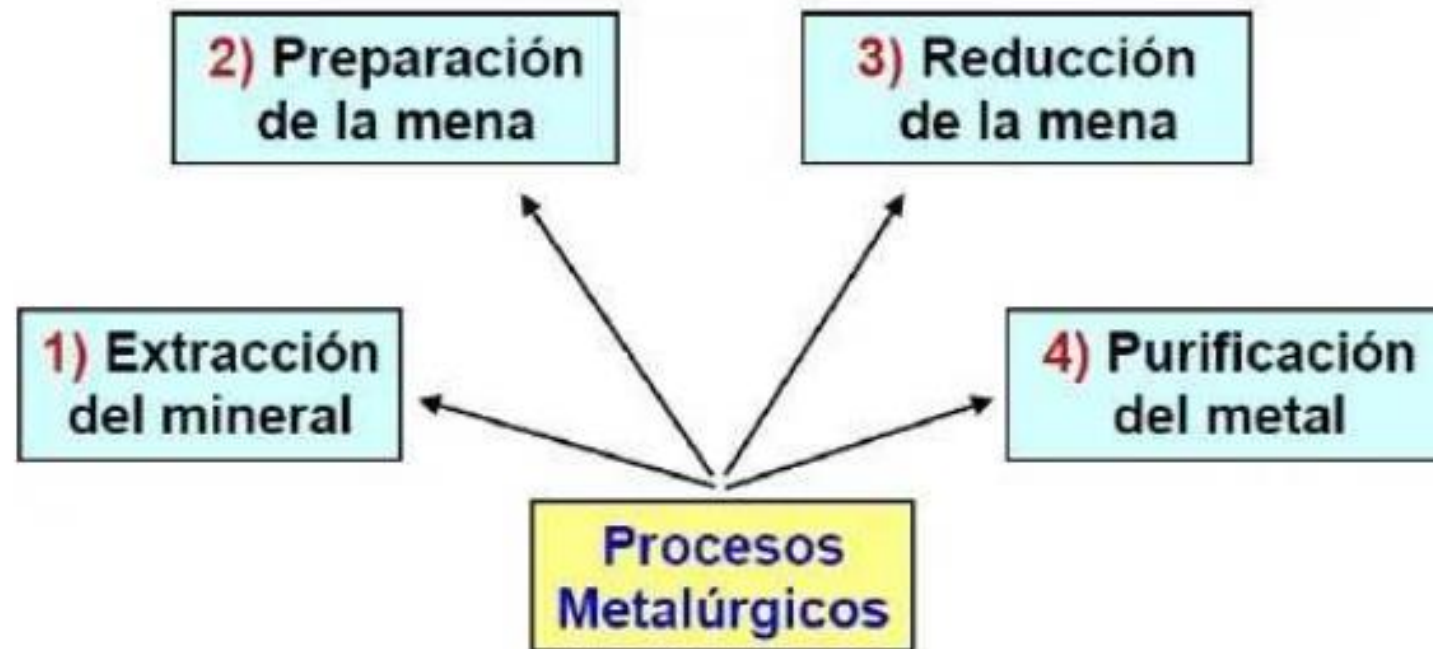
OPERACIONES FÍSICAS Y QUÍMICAS NECESARIAS PARA REALIZAR LA EXTRACCIÓN DEL METAL A PARTIR DE SUS MINERALES

Los Procesos Metalúrgicos

Metalurgia: es la ciencia y tecnología de la separación de los metales a partir de sus menas y de la preparación de aleaciones.

Aleación: es una disolución sólida de dos o más metales, o de un metal o metales con uno o más no metales. En metal o metales con uno o más no metales. En la tabla siguiente se da la siguiente se da la composición, a modo de ejemplo, de varios tipos de acero.

En general, los procesos metalúrgicos suelen seguir los siguientes pasos desde la extracción del mineral, hasta la obtención del metal puro.



La Extracción del Mineral

La extracción del mineral se puede llevar a cabo bien a cielo abierto, o bien de forma subterránea mediante galerías.



La Preparación de la Mena

- En las operaciones de minería, el mineral del que puede extraerse el metal deseado frecuentemente constituye solo un pequeño porcentaje del material de la mina.
- Es necesario, pues, separar la mena del resto del mineral (ganga), antes de proseguir con otras operaciones metalúrgicas.
- El mineral, después de triturado y molido, se somete a un proceso de separación de las partículas de mena de la ganga (arena y minerales silíceos) que siempre le acompaña.

La Reducción de la Mena

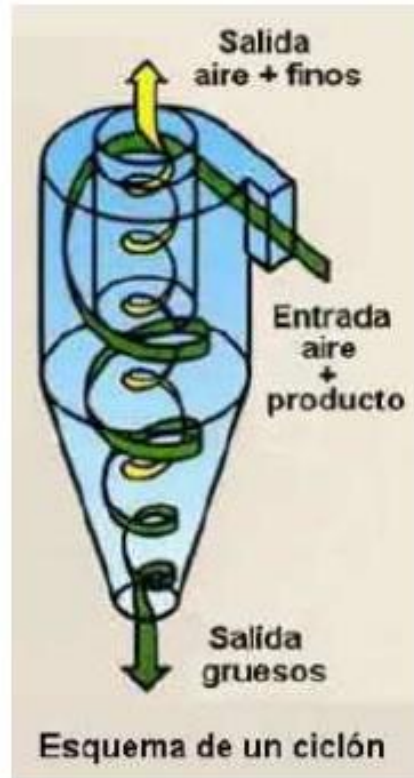
Esta separación se realiza frecuentemente mediante métodos físicos:

1. Por precipitación
2. Por flotación
3. Por separación electrostática
4. Por separación magnética en el caso de menas férreas.
5. Mediante amalgamas, en el caso de metales nobles.



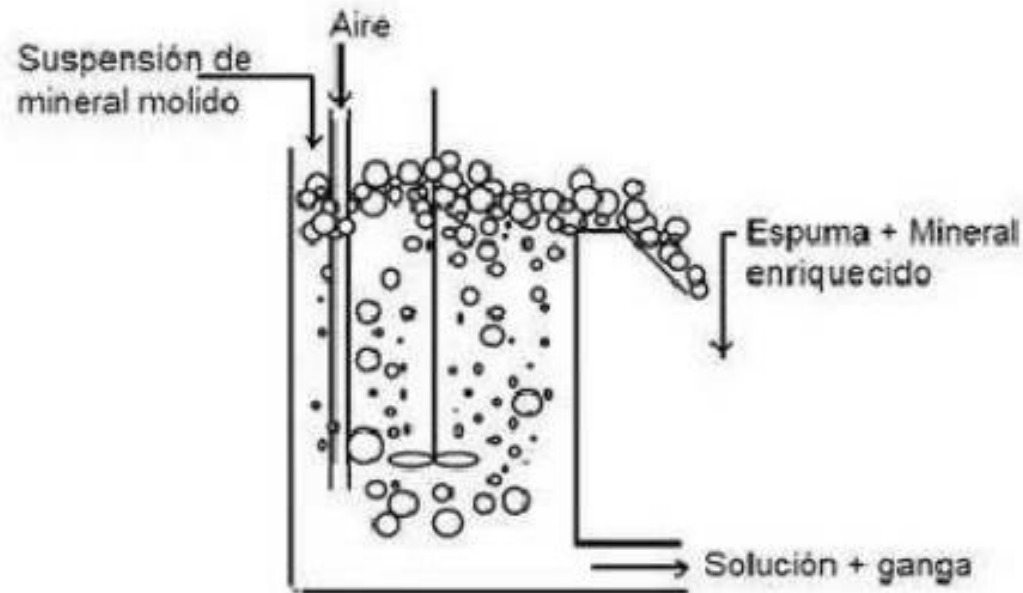
1) Por Precipitación (gravedad)

Se inyecta en el ciclón de la figura una suspensión acuosa de partículas de mena y ganga, que se separan por gravedad por la diferencia de densidades.



2) Por Flotación

Este método es aplicable a sulfuros, carbonatos y silicatos. El mineral se muele finamente y se vierte en agua con aceite y detergente. Se calienta la mezcla y se insufla aire para formar espumas que arrastran la mena. La ganga no se impregna de aceite y cae al fondo. El mineral se recupera de las espumas sobrenadantes.





3) Separación Electrostática

Se basa en las propiedades conductoras de muchas menas metálicas, en especial los sulfuros. El mineral finamente pulverizado y seco se carga eléctricamente en contacto con un electrodo ionizador.

Las partículas de mena cargadas son atraídas hacia un electrodo colector de carga opuesta, donde se recogen. Las partículas de ganga al no ser conductoras, no se cargan por lo que se separan aparte.

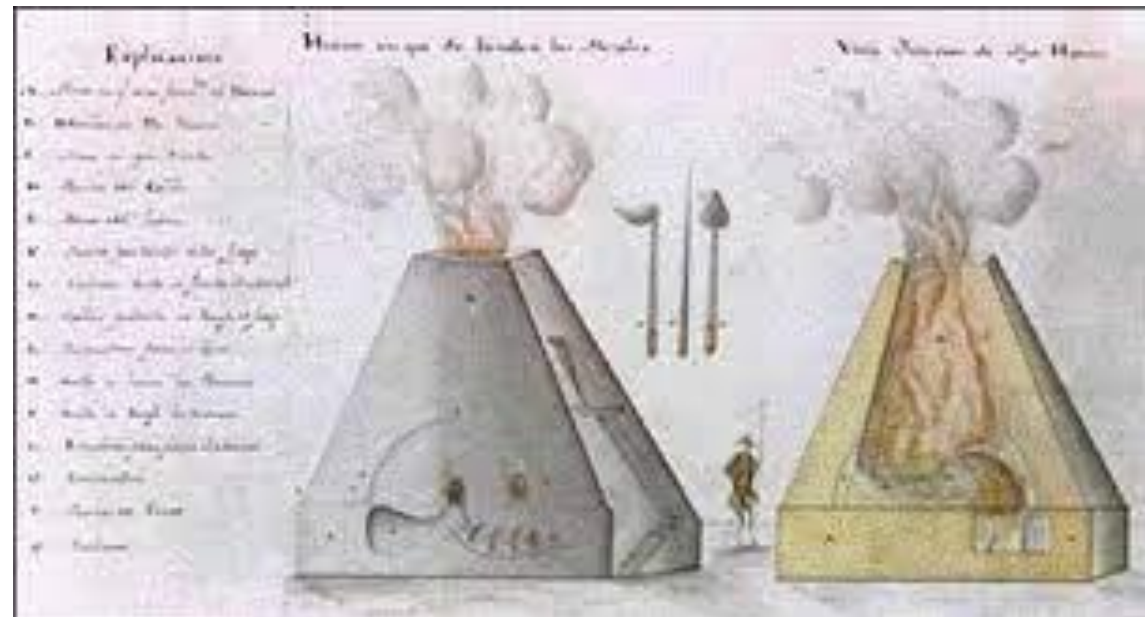
4) Mediante Electroimanes

Otro proceso de separación física aprovecha las propiedades magnéticas de ciertos minerales.

Ejemplo: la magnetita (Fe_3O_4) se puede separar de la ganga usando un potente electroimán. Las sustancias como el hierro y el cobalto, que son fuertemente atraídas por los imanes, se llaman ferromagnéticas

5) Mediante Amalgamas

El mercurio forma amalgamas con numerosos metales. Las amalgamas as amalgamas son aleaciones líquidas del mercurio con otro metal o metales. El mercurio disuelve la plata o el oro contenidos en una mena. Después, el oro o la plata se recuperan fácilmente por destilación del mercurio (es muy tóxico).



TRATAMIENTO QUIMICO

División de la metalurgia extractiva	
Via Seca o Pirometalurgia	Via húmeda o hidrometalurgia
-Calcinación	-Lixiviación
-Tostación	✓ Ácida
✓ Oxidante	✓ Básica
✓ Sulfatante	✓ Neutra
✓ Clorurante	-Purificación y/o concentración
✓ Aglomerante	✓ Métodos químicos convencionales
✓ Otras	✓ Cementación
-Fusión	✓ Resinas de intercambio de ión
✓ Reductora	✓ Extracción con disolventes
✓ Ultrareductora	-Precipitación
✓ Neutra	✓ Electrólisis
✓ Oxidante	✓ Cementación
-Volatilización	✓ Métodos Químicos
✓ Reductora	
✓ Oxidante	
✓ De haluros	
✓ De carbonilos	
-Electrólisis ignea	
-Metalotermia	

Pirometalurgia: Ventajas y Desventajas

Ventajas

- Velocidades de reacción muy grandes
- Altas producciones en reactores relativamente pequeños
- Apto para recibir alimentaciones de minerales complejos.
- Idónea para alimentaciones heterogeneas formadas por minerales de diversas procedencias.

Desventajas

- No apta para el tratamiento de minerales pobres
- Relativamente mala selectividad y poca eficacia en reacciones químicas de separación.
- Procesos que transcurren, a menudo, en varias etapas.
- Problemas medioambientales con los residuos gaseosos y el ruido.

Hidrometalurgia: Ventajas y desventajas

Ventajas

- Posibilidad de tratar minerales pobres e incluso marginales.
- Alta selectividad y alto grado de separación en las reacciones químicas.
- Alta pureza de los productos.
- Fácil control y optimización
- Ausencia de polución por gases.

Desventajas

- Velocidades de reacción lentas
- Poca producción por reactor
- Sensible a variaciones en la composición de la alimentación.
- Problemas en la eliminación y almacenamiento de los residuos sólidos generados.
- Problemas con las aguas residuales.

SECADO Y CALCINACIÓN

El secado es un proceso mediante el cual se elimina el agua contenida en sustancias como menas o coque, por evaporación.

Por el contrario, durante la calcinación se eliminan, agua, dióxido de carbono (CO_2) y otros gases, los cuales se encuentran enlazados químicamente en la forma de, por ejemplo, hidratos y carbonatos.

La calcinación al igual que el secado son procesos endotérmicos, por lo cual debe suministrarse calor a una temperatura relativamente elevada, dependiendo de la mena que se esté procesando.

Después de efectuada la calcinación se obtienen generalmente óxidos metálicos y la mena se encuentra lista para su posterior reducción.

En los hornos de calcinación se distinguen tres zonas:

- a) **Zona de precalentamiento:** en esta zona la carga sólida se precalienta a contracorriente con los gases calientes del horno.
- b) **Zona de reacción:** en esta zona tiene lugar la descomposición de los hidratos o carbonatos.
- c) **Zona de enfriamiento:** en esta zona los productos de calcinación se enfrían con aire a contra corriente.



El fin de la calcinación es eliminar del mineral la materia estéril de naturaleza gaseosa, facilitando la posterior reducción o su asimilación por baños fundidos. El CO_2 y el H_2O de composición, por su elevada capacidad calorífica y capacidad oxidante, enfrían la carga, queman carbón y diluyendo los gases de reacción aumentando el caudal a depurar.

La calcinación admite dos formas de ejecución: caustica y a muerte.

La calcinación caustica, deriva de la causticidad o afinidad de los óxidos nacientes por el agua, se realiza a temperaturas próximas a las de equilibrio de descomposición, a presión ambiental, y con tiempos de residencia en el reactor ajustados a los necesarios.

La calcinación a muerte, se lleva acabo con temperaturas y tiempos de residencia superiores.

Ambos sistemas afectan de manera diferente a la estructura cristalina de calcinado que, en el primer caso, queda amorfo o finamente granado y, en el segundo, gruesamente granado siendo el desarrollo de los cristales tanto mayor cuanto más alta haya sido la temperatura y el tiempo de exposición al calor.

APLICACIONES

La calcinación caustica se aplica fundamentalmente con fines metalúrgicos, y la calcinación a muerte para preparar refractarios de magnesia y dolomía. La materia caustificada es poco coherente y se degrada por manipulación, y, como en el caso de la cal, se hidrata espontáneamente por absorción de la humedad ambiente, lo que dificulta su almacenamiento y transporte y aconseja uso lo más inmediato posible.

BIBLIOGRAFÍA

https://1library.co/document/zlvj55gy-operaciones-y-procesos-metalurgicos-1.html?utm_source=seo_title_list

<https://es.scribd.com/document/408653051/01-INTRODUCCION-A-LAS-OPERACIONES-METALURGICAS-docx>

<https://geomodelingtraining.com/category/geometalurgia/>

Programa de especialización en Geometalurgia en Minería

Fundamentos de los Procesos Metalúrgicos

Tema: Metalurgia Extractiva

Docente: Mg. Ing. Jorge Sánchez

INTRODUCCIÓN

Los metales se usan ampliamente con fines estructurales en edificios, coches, ferrocarriles, buques y aviación, gracias a sus propiedades mecánicas: resistencia, dureza, maleabilidad, etc.



*Estructuras en
Construcción*



Vehículos



INTRODUCCIÓN



Buques



Ferrocarril



Aeronaves

INTRODUCCIÓN

Como son buenos conductores del calor y la electricidad se utilizan para fabricar equipos para la industria (intercambiadores de calor, calderas, ...) o en los tendidos eléctricos (cableado de cobre).



Intercambiadores de Calor



Tendidos Eléctricos

LOS METALES EN LA NATURALEZA

Los metales se encuentran:



En forma nativa: Au, Ag, Cu, ...
(son escasos)



En forma de minerales (la mayoría, por su tendencia a reaccionar y formar compuestos)

Mineral: es una sustancia inorgánica sólida, que se forma en la naturaleza y que tiene una estructura cristalina definida.

Mena: es una roca o mineral del cual se puede extraer de manera económicamente rentable un metal o un no metal.

LOS METALES EN LA NATURALEZA

Algunos minerales son:



Dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$)



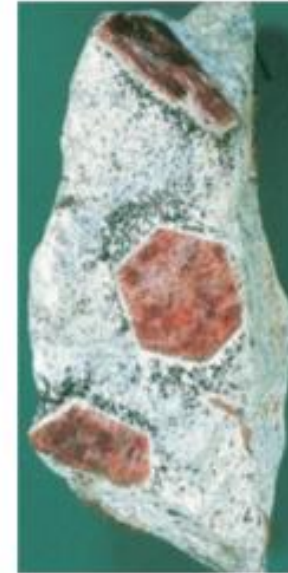
Pirita (FeS_2)



Fluorita (CaF_2)



Halita (NaCl)



Corindón (Al_2O_3)

LOS METALES EN LA NATURALEZA

Los metales también se encuentran en el agua del mar, formando sales y en los lechos oceánicos



Nódulos de manganeso en la plataforma oceánica

Salinas

PROCESOS METALÚRGICOS

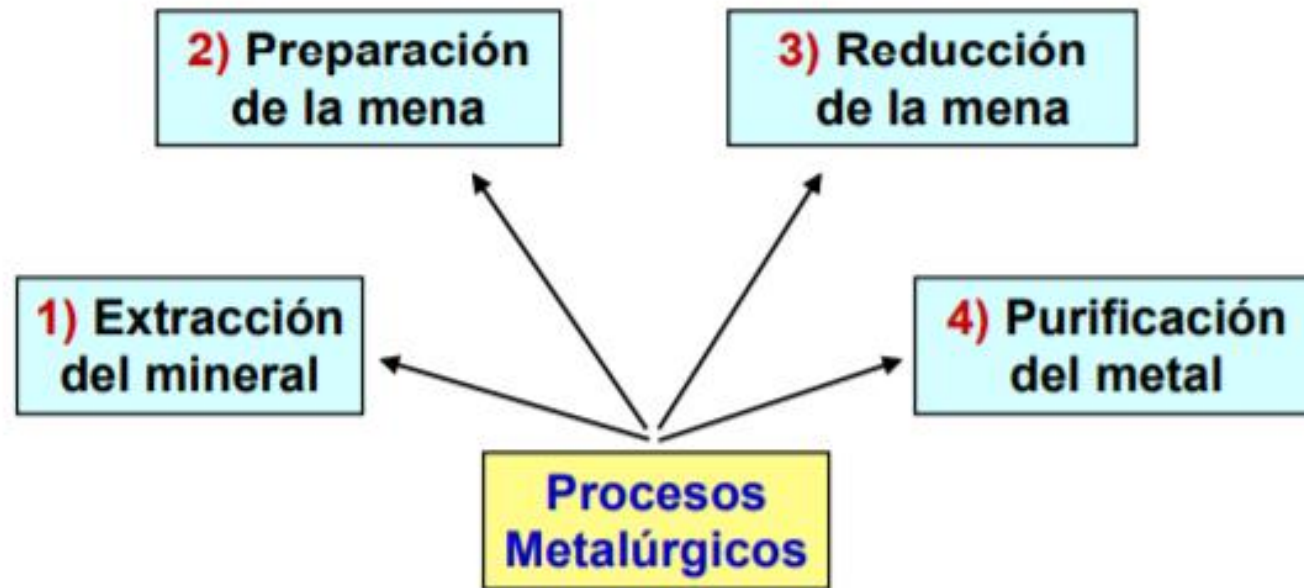
Metalurgia: es la ciencia y tecnología de la separación de los metales a partir de sus menas y de la preparación de aleaciones.

Aleación: es una disolución sólida de dos o más metales, o de un metal o metales con uno o más no metales. En la tabla siguiente se da la composición, a modo de ejemplo, de varios tipos de acero.

Type	Composition (Percent by Mass)*								Uses
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Others	
Plain	1.35	1.65	0.04	0.05	0.06	—	—	Cu (0.2–0.6)	Sheet products, tools
High-strength	0.25	1.65	0.04	0.05	0.15–0.9	0.4–1.0	0.3–1.3	Cu (0.01–0.08)	Construction, steam turbines
Stainless	0.03–1.2	1.0–10	0.04–0.06	0.03	1–3	1–22	4.0–27	—	Kitchen utensils, razor blades

PROCESOS METALÚRGICOS

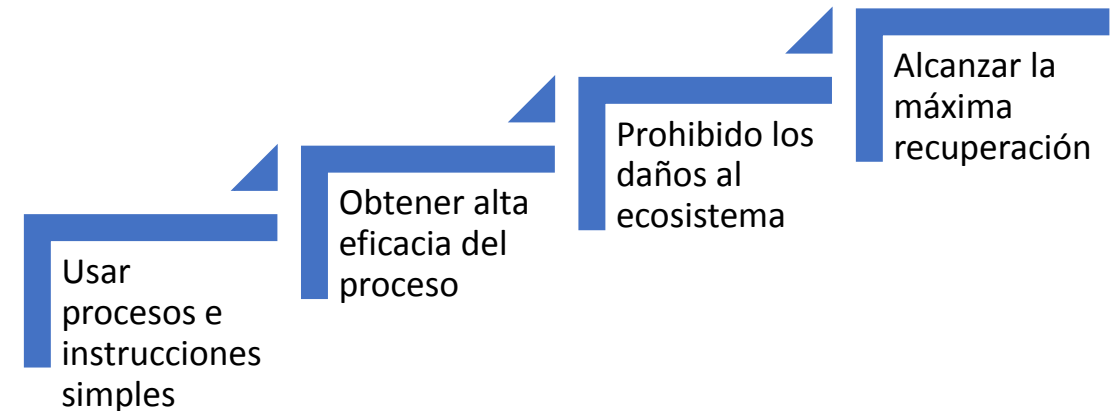
En general, los procesos metalúrgicos suelen seguir los siguientes pasos desde la extracción del mineral, hasta la obtención del metal puro.



METALURGIA EXTRACTIVA

PROPÓSITOS

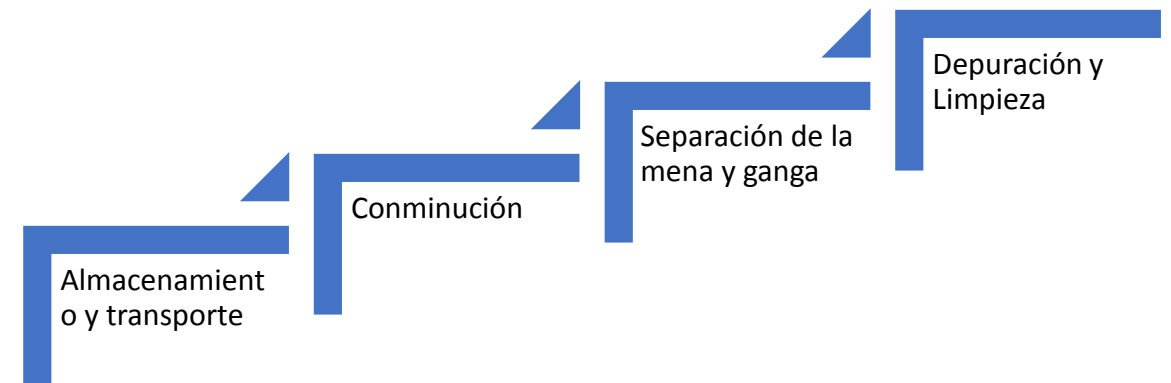
La **metalurgia extractiva** corresponde al conjunto de procesos que se llevan a cabo para separar selectivamente las especies de interés de aquellas sin valor. Dentro del área de **metalurgia extractiva** se encuentran aquellas de hidrometalurgia, pirometalurgia y electrometalurgia.



METALURGIA EXTRACTIVA

FASES

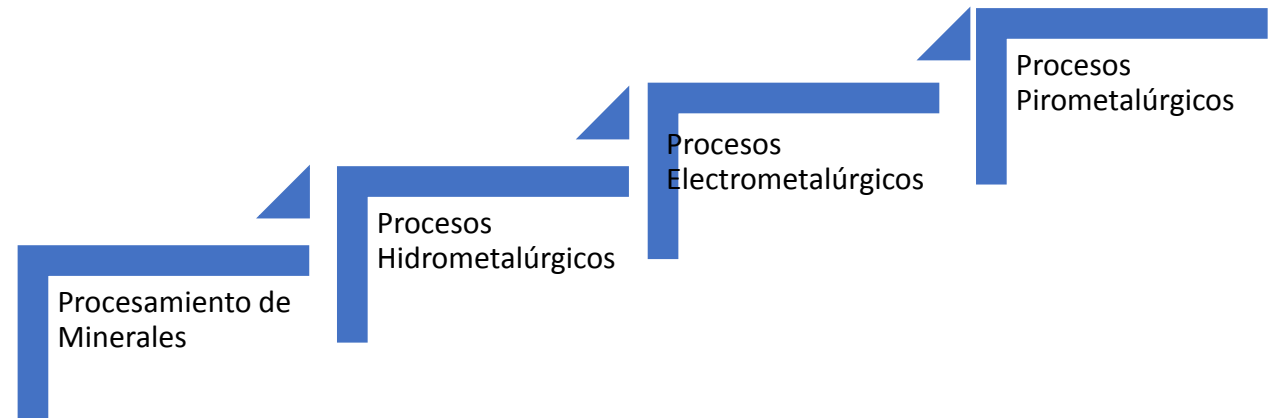
Los minerales extraídos en un procedimiento minero están constituidos por diferentes especies teniendo un valor comercial frecuentemente las que menos se producen y otras que no tienen valor alguno.



METALURGIA EXTRACTIVA

ÁREAS

La metalurgia extractiva pertenece al grupo de procesos que se realizan para apartar selectivamente las especies de utilidad de aquellas sin valor. Generalmente, se subdivide en cuatro áreas:



METALURGIA EXTRACTIVA

1A	2A												3A	4A	5A	6A	7A	8A
Li	Be												Al					
Na	Mg	3B	4B	5B	6B	7B	8B	1B	2B									
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga						
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn					
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi				

						
Chlorides	Silicates	Carbonates	Phosphates	Oxides	Free metals	Sulfides

CLASIFICACIÓN DE LAS MENAS METÁLICAS

Tipos de combinación	Ejemplos	Observaciones
Metales nativos	Au, Grupo Pt	También Ag, Bi, Hg y Cu aunque de importancia secundaria
Sulfuros	Calcopirita CuFeS_2 Calcosina Cu_2S Esfalerita ZnS Galena PbS Pirita de hierro FeS_2 Cinabrio HgS Molibdenita MoS_2 Estibina Sb_2S_3	
Óxidos	Magnetita Fe_3O_4 Hematites Fe_2O_3 Ilmenita FeTiO_3 Bauxita Al_2O_3 Casiterita SnO_2 Periclasa MgO Cuarzo SiO_2	Menas típicas de Fe, Al, Ti, Cr, Mn, Sn, W, Si, Nb, Ta, U, Th, Lántanidos

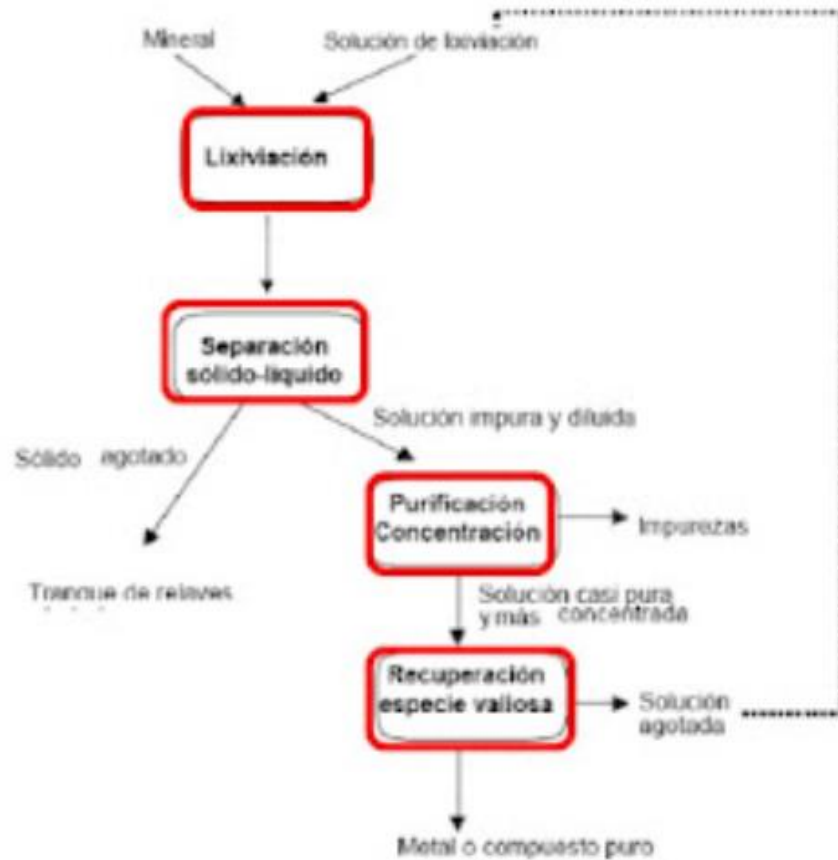
CLASIFICACIÓN DE LAS MENAS METÁLICAS

Haluros	Alcalinos y alcalinoterreos de depósitos salinos y aguas marinas Sal gema NaCl; silvinita KCl carnalita KCl.MgCl ₂ fluorita CaF ₂ ; Criolita AlF ₃ .3NaF	Importancia en la metalurgia del magnesio
Oxisales	Silicatos Berilio Be ₃ Al ₂ Si ₄ O ₁₁ ; Zircón ZrSiO ₄ Caolinita Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄ espodumen LiAl(SiO ₂) ₂	Metalurgias del Be, Li, Zr y Lantánidos
	Fosfatos Monacita CePO ₄ Autunita Ca(UO ₂) ₂ (PO ₄) ₂	Metalurgias del U y lantánidos
	Carbonatos Siderita FeCO ₃ ; Cerusita PbCO ₃ Smithsonita ZnCO ₃ ; Malaquita Cu ₂ (CO ₃)(OH) ₂ dolomita MgCO ₃ .CaCO ₃ ; Caliza CaCO ₃ Magnesita MgCO ₃	
	Sulfatos Yeso CaSO ₄ .2H ₂ O; Epsomita MgSO ₄ .7H ₂ O Barita BaSO ₄ ; Anglesita PbSO ₄	

CLASIFICACIÓN DE LAS MENAS METÁLICAS

División de la metalurgia extrativa	
Via Seca o Pirometalurgia	Via húmeda o hidrometalurgia
-Calcinación	-Lixiviación
-Tostación	✓ Ácida
✓ Oxidante	✓ Básica
✓ Sulfatante	✓ Neutra
✓ Clorurante	-Purificación y/o concentración
✓ Aglomerante	✓ Métodos químicos convencionales
✓ Otras	✓ Cementación
-Fusión	✓ Resinas de intercambio de ión
✓ Reductora	✓ Extracción con disolventes
✓ Ultrareductora	-Precipitación
✓ Neutra	✓ Electrólisis
✓ Oxidante	✓ Cementación
-Volatilización	✓ Métodos Químicos
✓ Reductora	
✓ Oxidante	
✓ De haluros	
✓ De carbonilos	
-Electrólisis ignea	
-Metalotermia	

HIDROMETALURGIA



Por HIDROMETALURGIA se entiende los procesos de *lixiviación selectiva* de los componentes valiosas de las menas y su posterior recuperación de la solución por diferentes métodos.

ETAPAS

- (1) Disolución del componente
- (2) Concentración y/o purificación de la solución obtenida
- (3) Precipitación del metal deseado o sus compuestos

HIDROMETALURGIA

Hidrometalurgia: Ventajas y desventajas	
Ventajas	Desventajas
• Posibilidad de tratar minerales pobres e incluso marginales. • Alta selectividad y alto grado de separación en las reacciones químicas. • Alta pureza de los productos. • Fácil control y optimización • Ausencia de polución por gases.	• Velocidades de reacción lentas • Poca producción por reactor • Sensible a variaciones en la composición de la alimentación. • Problemas en la eliminación y almacenamiento de los residuos sólidos generados. • Problemas con las aguas residuales.

ELECTROMETALURGIA

- Esta rama emplea **energía eléctrica para producir y tratar los metales**. La convierte en calor para generar la temperatura adecuada para el proceso o bien para ayudar a descomponer un compuesto por acción electrolítica —cuando el calor utilizado es bajo— o bien por electrólisis —cuando es mayor—. Se puede aplicar en soluciones acuosas o en sales fundidas. En el primer caso se utiliza sobre todo para cobre, zinc, níquel, cobalto, plomo, plata, oro y otros metales como cadmio, cromo, manganeso, galio, titanio o telurio. En el segundo, para [aluminio](#), litio, magnesio, sodio y potasio, así como para tierras raras.

Procesos Electrometalúrgicos

Precipitación de Minerales

- Procedimiento más sencillo para recuperar oro y plata
- Coste operacional ajustado cuanto menos impurezas tienen las soluciones
- Permite refinar el cobre obteniendo cátodos de alta pureza
- Es usada para evitar la corrosión de los metales

Electrorefinación

- La electrorrefinación se realiza en celdas electrolíticas donde, de forma alternada, se ubican ánodos (provenientes de Fundición) y cátodos (que son planchas muy delgadas de cobre puro previamente elaboradas para el proceso) sobre una solución de sulfato de cobre denominada electrolito. El proceso que permite liberar el cobre anódico hacia cátodos de alta pureza también genera elementos que no se disuelven y que se depositan en el fondo de las celdas, formando lo que se conoce como barro anódico. Éste es tratado en una planta especial para extraer el contenido metálico (generalmente oro, plata, selenio, platino y paladio).

Galvanoplastia

- Se trata de una técnica basada en los principios electroquímicos, en donde se aplica una o varias capas de un metal seleccionado sobre un objeto receptor, por lo general, también metálico.
- Permite aplicar a un objeto metálico una capa fina, no mayor a 20 μm , para dar características anti corrosivas o simplemente para hacer más resistente el objeto a proteger.

PIROMETALURGIA

- Es una rama de la metalurgia extractiva centrada en obtener y refinar los metales a través del calor. Así, se extrae el metal del mineral separando la ganga —el material que se descarta al extraer la mena del yacimiento— para purificarlo. Las principales operaciones de la pirometalurgia son el secado, la calcinación, la tostación, la fusión y el refinado.
- En los procesos pirometalúrgicos se manejan temperaturas muy altas, que rondan los 950°. La energía se obtiene principalmente del carbón. Un ejemplo es la fundición de hierro en hornos.

PIROMETALURGIA

- Entre las ventajas de la pirometalurgia encontramos que permite procesar cantidades muy grandes de mineral, que las velocidades de reacción son muy altas y que es un proceso fácil de controlar con el equipo adecuado. Además, la pirometalurgia es el tratamiento más indicado para aquellas materias primas más complejas y heterogéneas.
- Sin embargo, esa reacción tan rápida tiene como consecuencia materiales impuros, por lo que en ocasiones es necesario repetir el proceso, lo que redundaría en un mayor gasto de energía. Como consecuencia de este elevado consumo, la pirometalurgia resulta muy contaminante, generando grandes cantidades de CO₂ y sulfuros. Por esta razón se suele utilizar sólo para minerales de alta ley.

EXTRACCIÓN DEL MINERAL

La extracción del mineral se puede llevar a cabo bien a cielo abierto, o bien de forma subterránea mediante galerías.



Minería a cielo abierto



EXTRACCIÓN DEL MINERAL



Minería subterránea (galerías)



*Extracción de carbón en una
mina de Asturias*

PREPARACIÓN DE LA MENA

- En las operaciones de minería, el mineral del que puede extraerse el metal deseado frecuentemente constituye sólo un pequeño porcentaje del material de la mina.
- Es necesario, pues, separar la **mena** del resto del mineral (ganga), antes de proseguir con otras operaciones metalúrgicas.
- El mineral, después de triturado y molido, se somete a un proceso de separación de las partículas de mena de la **ganga** (arena y minerales silíceos) que siempre le acompaña.

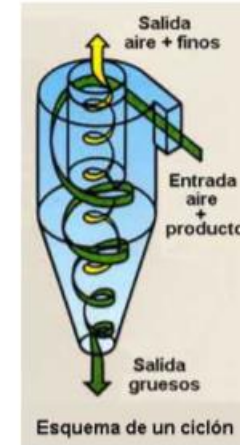
PREPARACIÓN DE LA MENA

Esta separación se realiza frecuentemente mediante **métodos físicos**:

- 1) Por precipitación
- 2) Por flotación
- 3) Por separación electrostática
- 4) Por separación magnética en el caso de menas férreas o
- 5) Mediante amalgamas, en el caso de metales nobles.

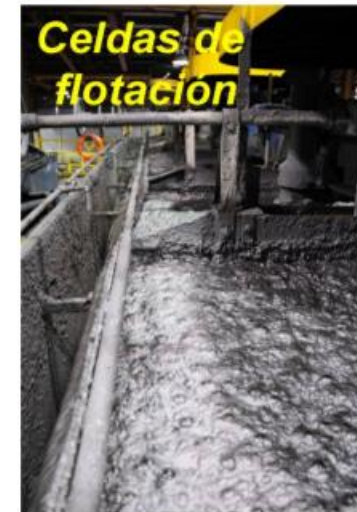
1) Por Precipitación (gravedad)

Se inyecta en el ciclón de la figura una suspensión acuosa de partículas de mena y ganga, que se separan por gravedad por la diferencia de densidades.



2) Por Flotación

Este método es aplicable a sulfuros, carbonatos y silicatos. El mineral se muele finamente y se vierte en agua con **aceite** y **detergente**. Se calienta la mezcla y se insufla aire para formar espumas que arrastran la mena. La ganga no se impregna de aceite y cae al fondo. El mineral se recupera de las espumas sobrenadantes.



PREPARACIÓN DE LA MENA

3) Separación Electrostática

- Se basa en las **propiedades conductoras** de muchas menas metálicas, en especial los sulfuros. El mineral finamente pulverizado y seco se carga eléctricamente en contacto con un electrodo ionizador.
- Las partículas de mena cargadas son atraídas hacia un electrodo colector de carga opuesta, donde se recogen. Las partículas de ganga al no ser conductoras, no se cargan por lo que se separan aparte.

4) Mediante Electroimanes

- Otro proceso de separación física aprovecha las **propiedades magnéticas** de ciertos minerales.
- Ejemplo: la magnetita (Fe_3O_4) se puede separar de la ganga usando un potente electroimán. Las sustancias como el hierro y el cobalto, que son fuertemente atraídas por los imanes, se llaman **ferromagnéticas**.

5) Mediante Amalgamas

- El **mercurio** forma amalgamas con numerosos metales. Las amalgamas son **aleaciones líquidas** del mercurio con otro metal o metales. El mercurio disuelve la plata o el oro contenidos en una mena. Después, el oro o la plata se recuperan fácilmente por destilación del mercurio (es muy tóxico).

Bibliografia

- <https://oscarjaimerestrepobaena.blogspot.com/2019/12/curso-de-metalurgia-extractiva.html>
- <https://www.ccm.cl/refinacion-electrolitica/#:~:text=La%20electrorrefinaci%C3%B3n%20se%20realiza%20en,sulfato%20de%20cobre%20denominada%20electrolito.>
- <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2021/06/que-es-la-galvanoplastia.html>
- <https://slideplayer.es/slide/1080440/>
- https://ocw.ehu.eus/file.php/55/TEMA_10._METALURGIA_EXTRACTIVA/METALURGIA_PILAR_OCW.pdf
- <https://geomodelingtraining.com/category/geometalurgia/>

Programa de especialización en Geometalurgia en Operaciones Mineras

Mòdulo 1: Fundamentos de los procesos metalùrgicos

Temas:

- Conceptos teòricos bàsicos de la Geometalurgia**
- Paràmetros importantes**

Docente: Mg. Ing. Jorge Sànchez

La **GEOMETALURGIA** es una disciplina emergente que llena la brecha disciplinaria entre geología y metalurgia.

El propósito de la **GEOMETALURGIA** es definir y cuantificar todas las propiedades del mineral (mineralógicas, físicas, químicas) que pueden tener un impacto sobre la minería y el procesamiento del mineral en la vida útil de la mina.

Se refiere a la relación existente entre el comportamiento metalúrgico del mineral que es tratado en la planta de beneficio y las características geológicas que afectan dicho comportamiento, tales como las especies mineralógicas presentes, la dureza, el grado de fracturamiento, entre otros.

El desarrollo de proyectos mineros, la explotación de nuevos depósitos de minerales y el diseño de plantas metalúrgicas sobre la base de un modelo de **planificación geometalúrgica** se aplica en países con avanzado nivel de tecnología.

La fase de exploración en un depósito de minerales con frecuencia no es suficientemente validada por pruebas metalúrgicas que apoyen la toma de decisiones respecto a la conveniencia económica de su posterior fase de explotación. Por esta razón, las compañías mineras, especialmente las dedicadas a la exploración, realizan pruebas metalúrgicas que complementan la información de caracterización de los yacimientos a ser explotados.

La exploración y descubrimiento de nuevos yacimientos minerales de valor económico es una etapa de la actividad minera que no garantiza alcanzar el éxito. El razonable riesgo asociado a esta etapa exige que el nuevo depósito sea desarrollado siguiendo una adecuada **planificación geometalúrgica**.

Un **modelo GEOMETALURGICO** está basado en una robusta base de datos.

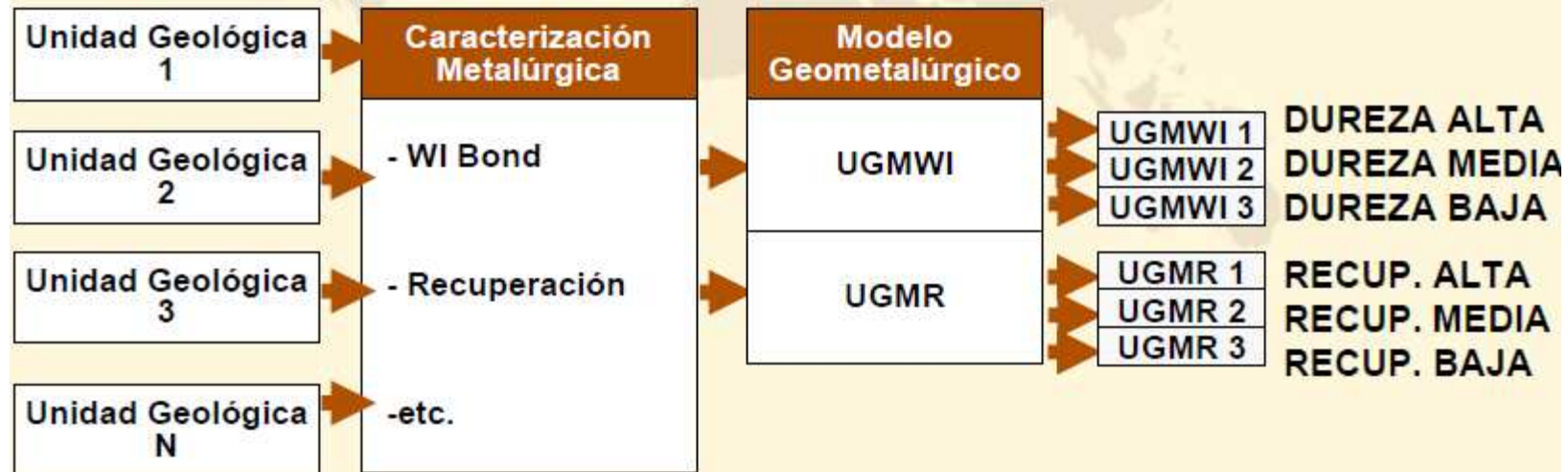
La base de un buen **modelo geometalúrgico** es una adecuada toma de muestras a través de los depósitos para asegurar que todos los posibles tipos de minerales sean testeados.

Estas pruebas entregan información para predecir el comportamiento del mineral, en términos de recuperación metalúrgica y consumo de ácido, así como también, de las características físicas dentro del proceso.

La información mineralógica y metalúrgica se utiliza junto al plan de producción minero para proyectar la eficiencia de la planta y asegurar que el proceso se encuentra operando en condiciones óptimas.

CONCEPTO MODELACION GEOMETALURGICA

GEOMETALURGIA	CONOCIMIENTO E INFORMACION DE LA VARIABILIDAD METALURGICA DE LOS RECURSOS MINERALES IN SITU.
MODELOS GEOMETALURGICOS	REPRESENTACION Y CATEGORIZACION DEL COMPORTAMIENTO METALURGICO DE LOS DISTINTOS SECTORES DEL YACIMIENTO O UNIDADES GEOLOGICAS
APLICACION MODELOS	PREDECIR EL IMPACTO DEL COMPORTAMIENTO METALURGICO EN LA PLANIFICACION ESTRATEGICA DEL NEGOCIO A CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO.



Geometalurgia: Parámetros importantes

DUREZA DEL MATERIAL

Legend

Hardness_bench 3840

Dureza



Dureza 1 (R1 1 - 5 Mpa)



Dureza 2 (R2 5 - 25 Mpa)



Dureza 3 (R3 25 - 50 Mpa)



Dureza 4 (R4 50 - 100 Mpa)



Dureza 5 (R5 100 - 250 Mpa)

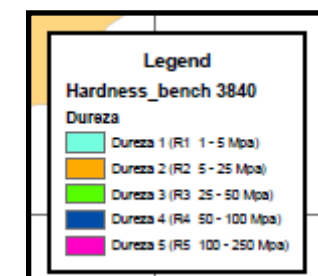
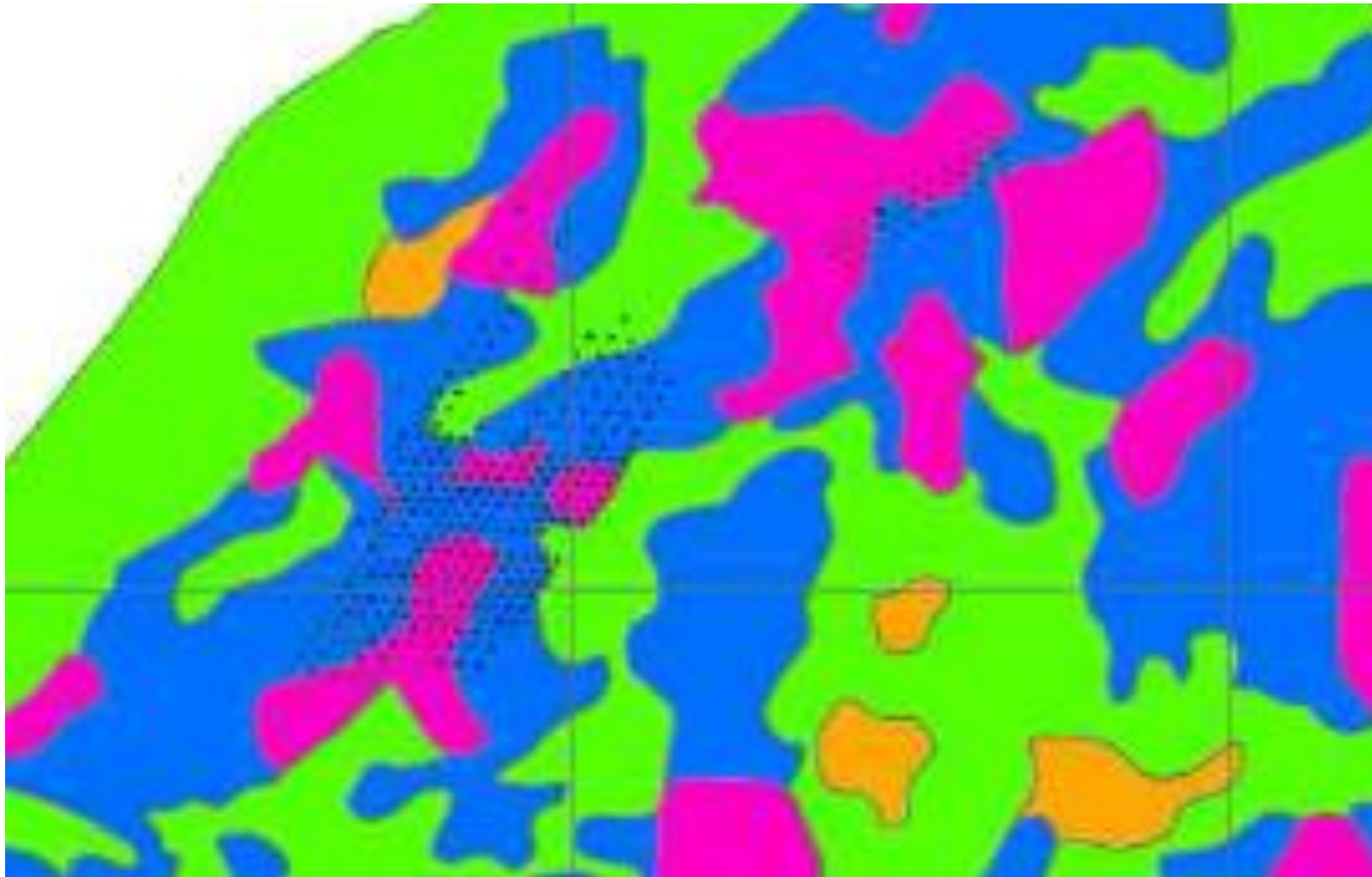


UNIVERSIDAD DE
MURCIA

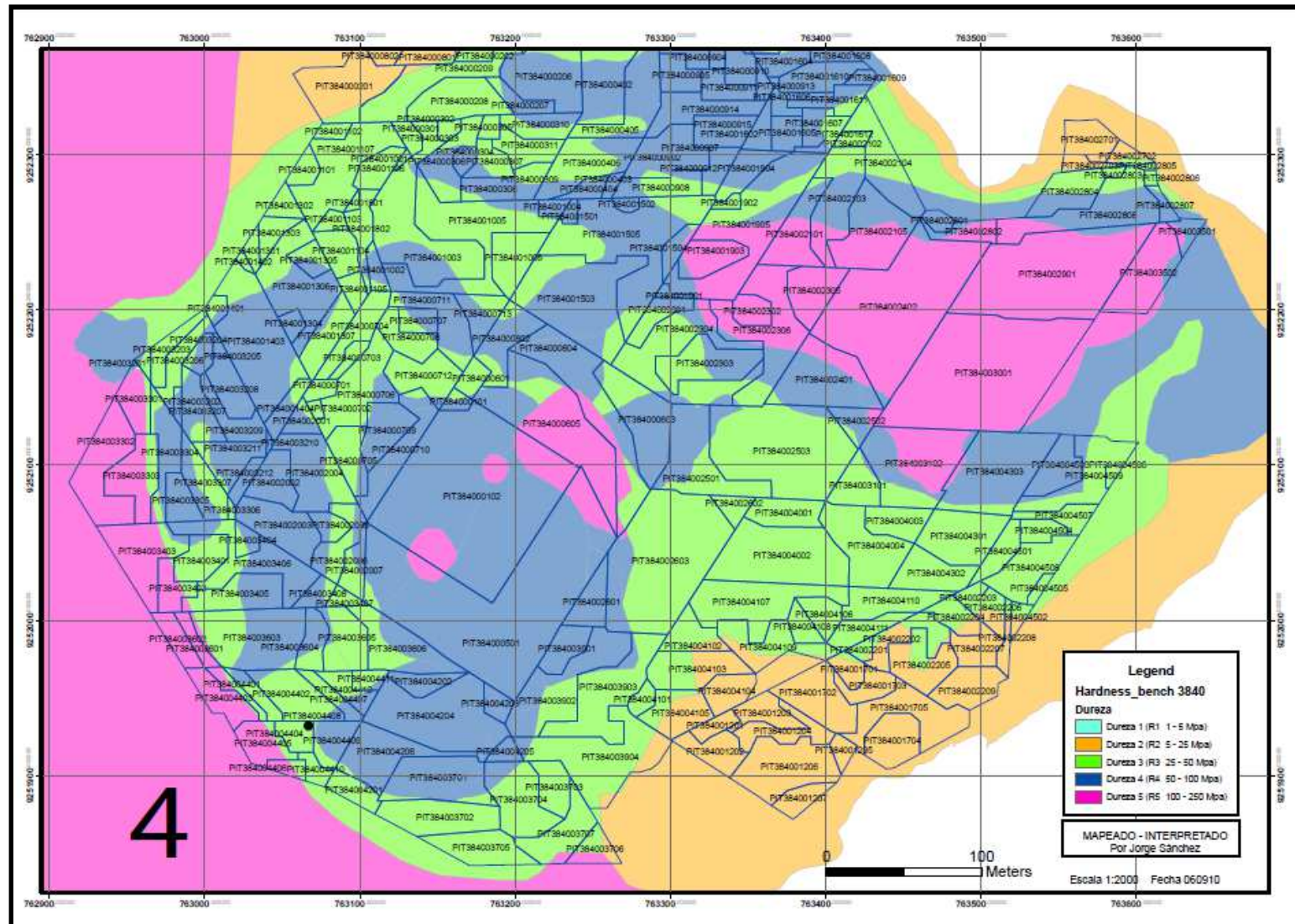
Ensayo Mohs:

- Consiste en practicar una serie de rayas sobre el mineral objeto de ensayo con el filo de una serie de cuerpos de durezas diferentes.
- En la escala, cada mineral raya a los anteriores a él y es rayado por los que le siguen.
- El valor asignado está comprendido por el inmediato anterior y posterior

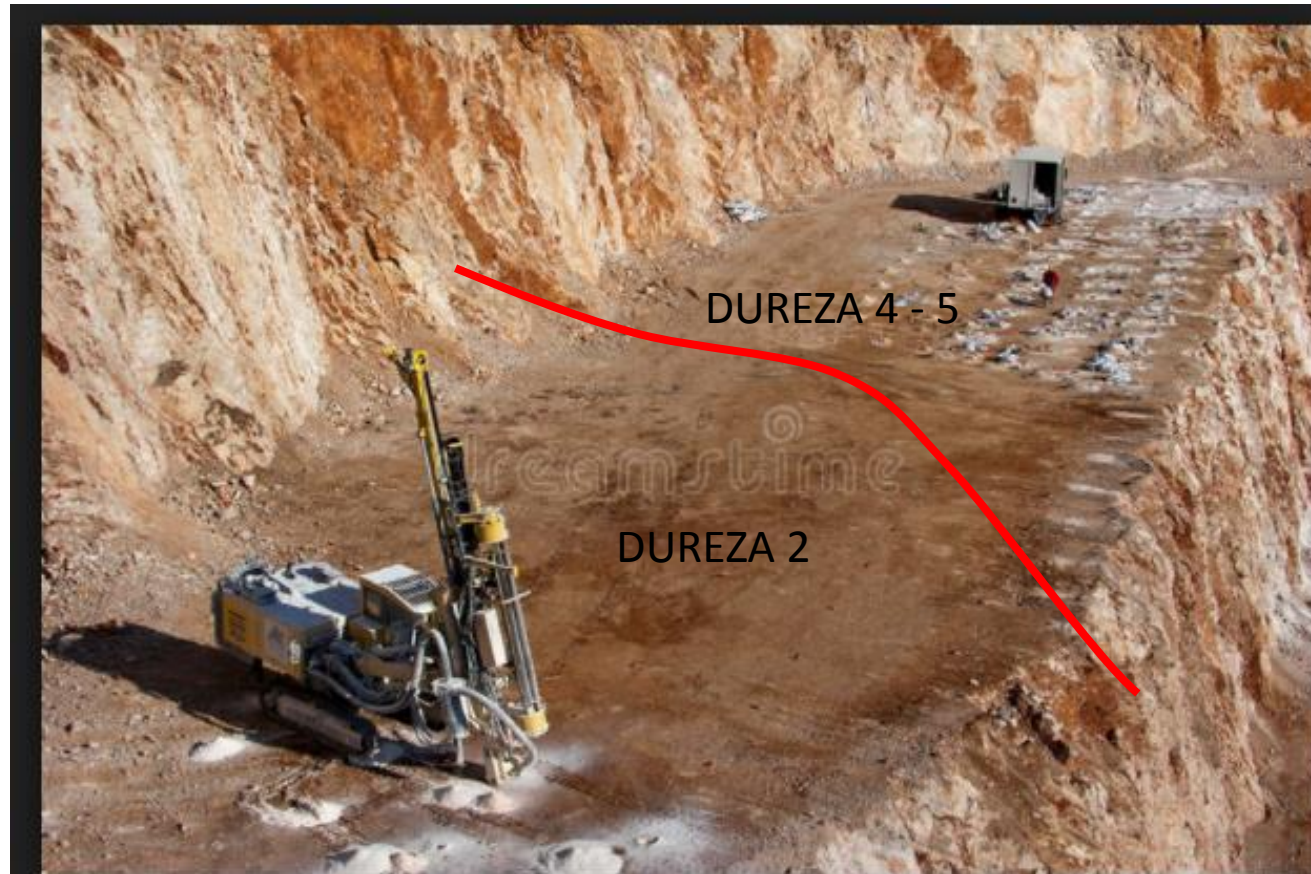
Escala de Mohs	
Dureza	Mineral
1	Talco
2	Yeso
3	Calcita
4	Fluorita
5	Apatita
6	Ortoclasa
7	Cuarzo
8	Topacio
9	Corindón
10	Diamante



Plano de durezas – malla de perforación 035 - 3840



Plano de durezas – banco 3840



Contacto entre dos tipos de durezas en un banco de minado –Tajo Abierto



Influencia de los materiales duros y blandos en la Voladura – Tajo Abierto



DUREZA 2

Foto N 01.- Montmorillonita con coloración amarillenta en el poligono HYL - 384002503

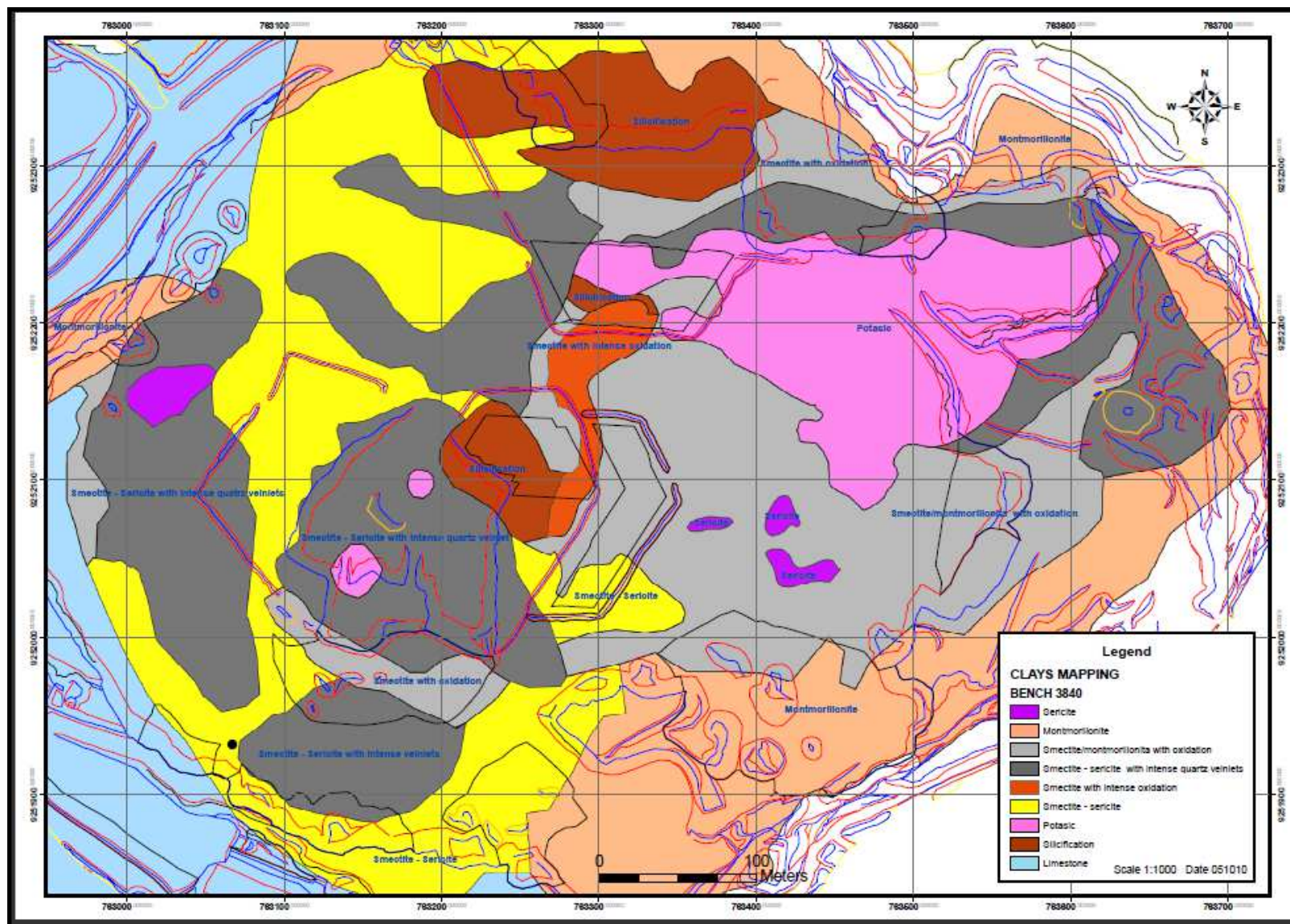


DUREZA 4 - 5

DUREZA 2

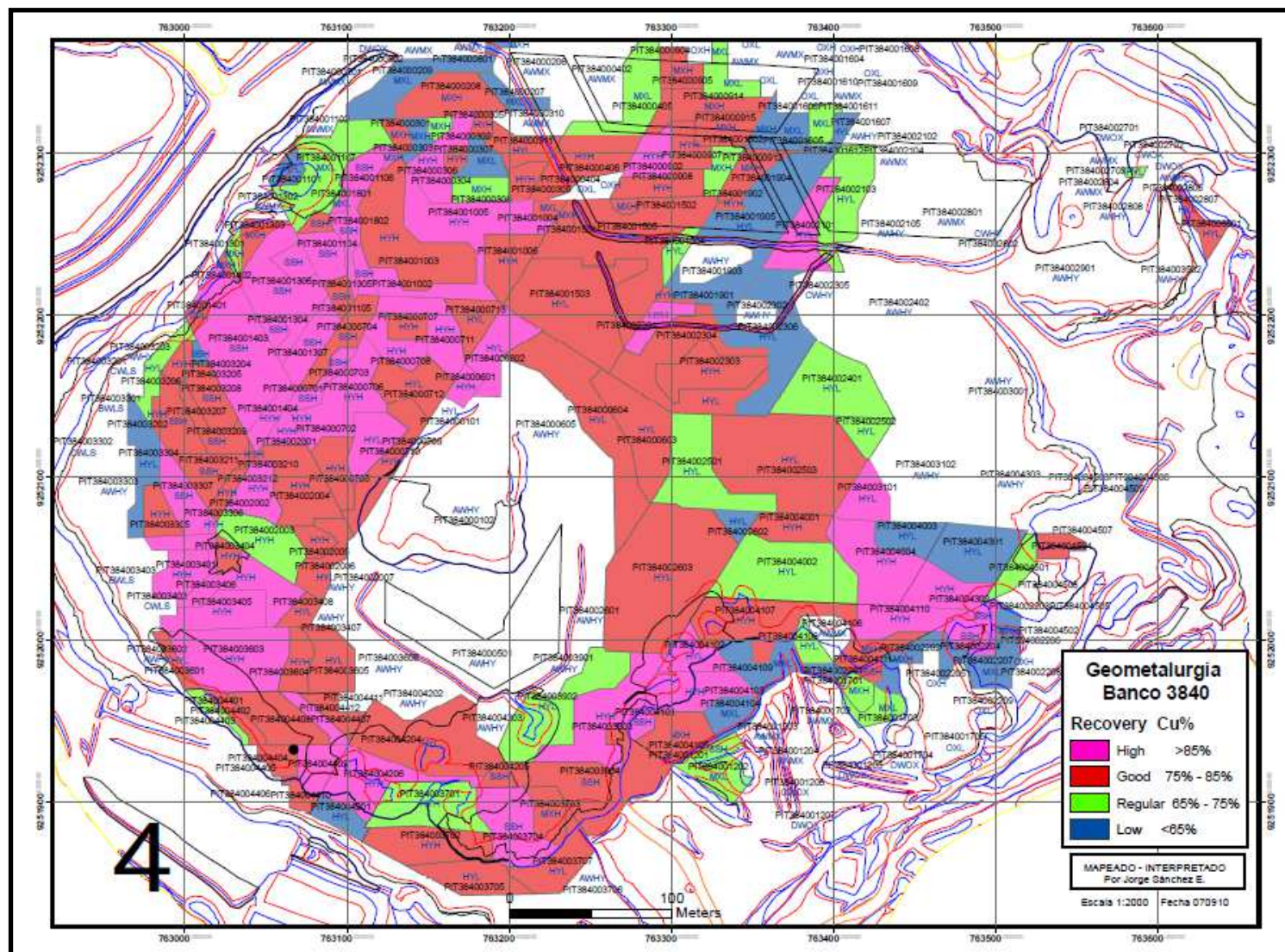
Foto N 02.- Contacto entre la zona potàsica en coloraciòn griz y la montmorillonita en coloraciòn amarillenta , poligono HYL - 384002306

PRESENCIA DE ARCILLAS



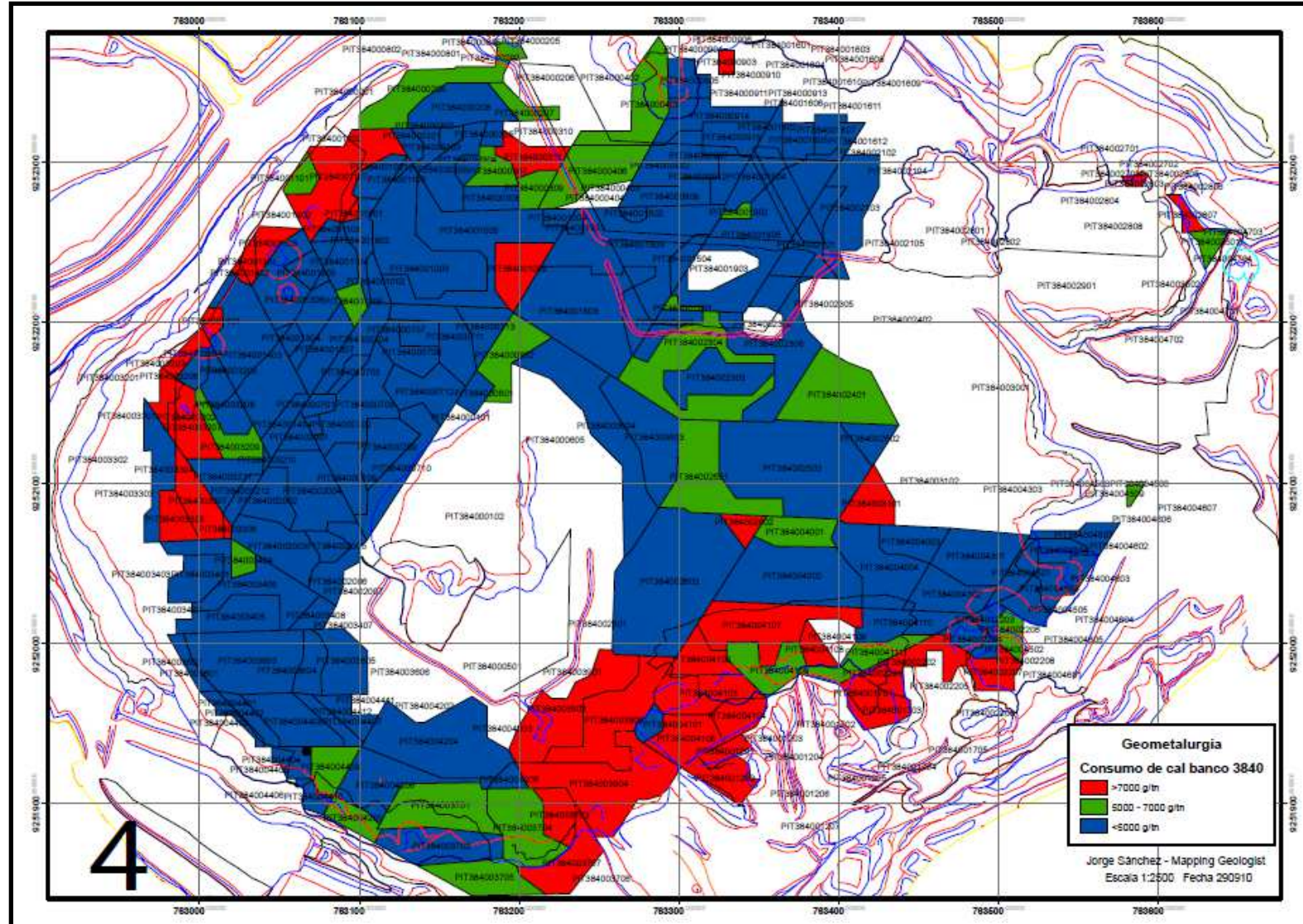
Plano de delimitación de arcillas – banco 3840

RECUPERACION DE AU - CU



Plano de delimitación de Recuperación de Cu por polígonos – banco 3840

CONSUMO DE CAL



Plano de delimitación de consumo de cal por polígonos – banco 3840

PREGUNTAS???



GRACIAS