

De la Exploración a la Operación de Faenas Mineras

Iván Cerda

Gerente General Fundación Tecnológica

Sociedad Nacional de Minería

Curso a Periodistas

Santiago, 23 de Noviembre de 2016



SONAMI

Sociedad Nacional de Minería

Referente y voz de la pequeña, mediana y gran minería privada en Chile desde 1883



Introducción



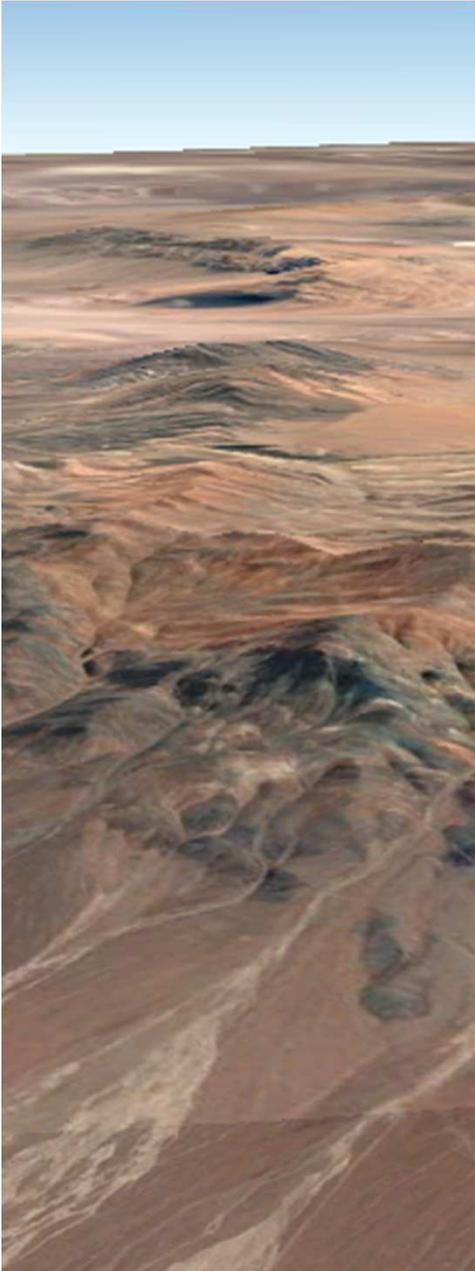
- Iniciar un operación minera es el resultado de un largo y caro proceso de estudios, que se inicia con la búsqueda en la corteza terrestre de una zona donde exista uno o más minerales en una concentración tal que permita su extracción y procesamiento generando un beneficio.
- El beneficio no es sólo el de tipo económico que perciben las empresas a cambio del riesgo de haber invertido en un proyecto minero. También existe un beneficio social por el hechos que la minería genera las materias primas que permiten elaborar los productos que la sociedad demanda para sus necesidades de vivienda, transporte, comunicaciones, salud, etc.



SONAMI



Introducción



- Afortunadamente, los minerales no están distribuidos de manera uniforme. Existen algunas zonas de la corteza terrestre donde las concentraciones son superiores a la concentración promedio, lo que permite desarrollar operaciones mineras técnica y económicamente viables.
- A modo de ejemplo, se estima que la concentración promedio de cobre en la corteza terrestre es de 0,005 %Cu. De esta manera, para desarrollar un proyecto minero (objetivo del orden de 0,5 %Cu), se necesita encontrar una zona que tenga una concentración de cobre equivalente a unas 100 veces la concentración promedio.



SONAMI



Etapas de un Proyecto Minero



Los proyectos mineros se desarrollan por etapas. El tiempo que transcurre entre el inicio de la búsqueda de un recurso y el inicio de la fase de construcción, puede llegar a ser de 10 o más años.

Buscando un Yacimiento

Curso a Periodistas
Santiago, 23 de Noviembre de 2016



SONAMI

Sociedad Nacional de Minería

Referente y voz de la pequeña, mediana y gran minería privada en Chile desde 1883



Búsqueda de un Yacimiento



¿Quién busca?

- Empresas productoras de gran minería que cuentan con recursos para realizar exploraciones (Major).
- Empresas de exploración de menor tamaño, con gran experiencia para realizar trabajos en regiones remotas y de mayores riesgos (Junior).

¿Dónde se busca?

- En el entorno de operaciones mineras existentes, con fines de reposición o expansión de la capacidad productiva (exploraciones brownfield).
- En áreas nuevas donde se requeriría partir de cero para desarrollar un proyecto minero (exploraciones greenfield).

Búsqueda de un Yacimiento

¿Qué se busca?

❑ Según el tipo de recurso minero:

- Recursos de la minería metálica: cobre, oro, plata, hierro, plomo, cinc, aluminio, entre otros.
- Recursos de la minería no metálica: recursos salinos (nitratos, compuestos de boro, compuestos de litio, etc.), recursos silíceos, rocas fosfóricas, rocas ornamentales, etc.
- Recursos energéticos: petróleo, carbón, gas.

❑ Según el tamaño del recurso:

Tratándose de empresas de gran minería, normalmente existen objetivos de tamaños mínimos del recurso para considerarlo un yacimiento de interés.



Búsqueda de un Yacimiento

- La búsqueda de un yacimiento es un proceso sistemático. Se inicia con el análisis de información preliminar en grandes áreas, y en la medida que los resultados lo sugieren, evoluciona hacia el análisis de información más detallada en áreas más restringidas.
- **Exploración:** actividades conducentes al descubrimiento, caracterización, delimitación y estimación del potencial de una concentración de sustancias minerales, que eventualmente pudieren dar origen a un proyecto de desarrollo minero
- **Prospección:** actividades a desarrollar con posterioridad a las exploraciones mineras, conducentes a minimizar las incertidumbres geológicas asociadas a la concentración de sustancias minerales, con el fin de desarrollar la planificación de un proyecto de desarrollo minero.



SONAMI



Actividades de Exploración y Prospección

Exploración

- Mapas Geológicos
- Imágenes Satelitales
- Fotografías Aéreas
- Estudios Geofísicos
- Estudios Geoquímicos

Prospección

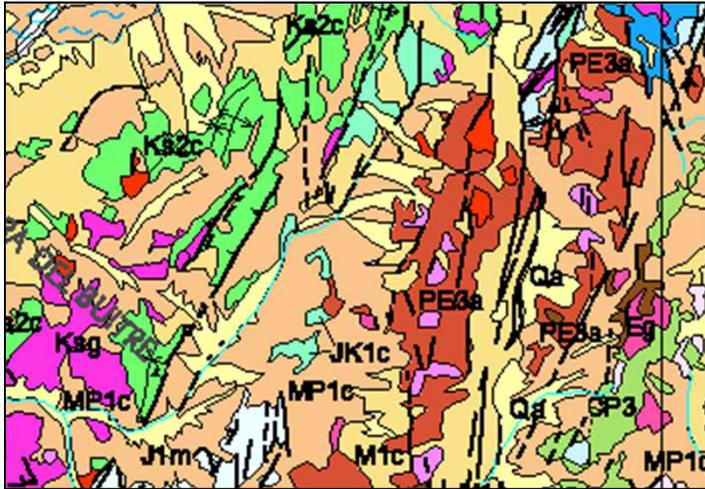
- Sondajes
- Túneles



SONAMI



Exploración



Mapa Geológico: representación de los diferentes tipos de rocas que afloran en la superficie terrestre y los tipos de contactos entre ellas. En un mapa geológico también se reflejan las estructuras tectónicas (pliegues, fallas, etc.), yacimientos fósiles, recursos minerales, etc



Fotografías Satelitales: las imágenes satelitales pueden captar información tanto en el espectro visible como en el infrarrojo, que es donde muchos elementos geológicos son más evidentes que a simple vista. Las fotografías satelitales cubren grandes áreas.



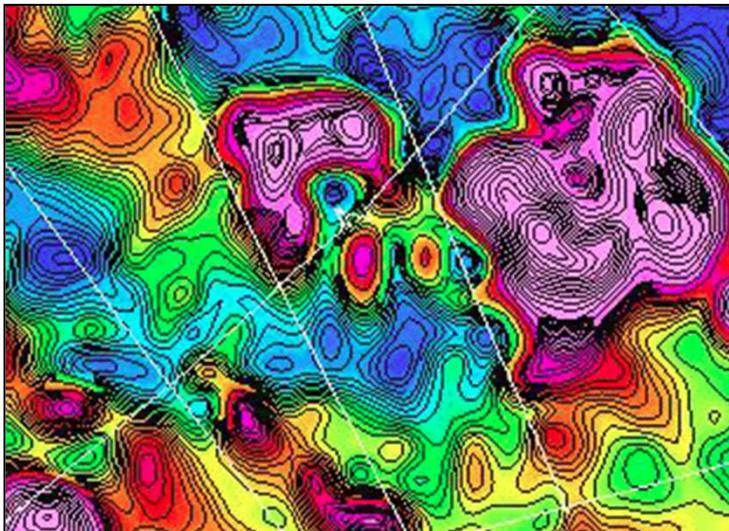
SONAMI



Exploración

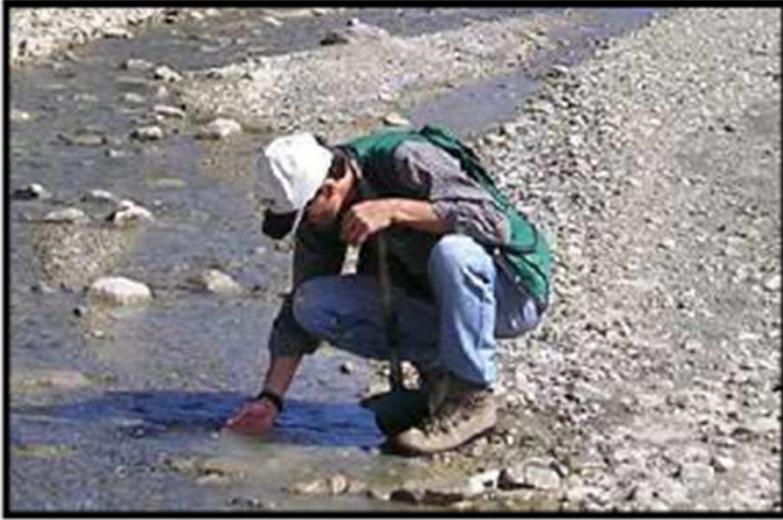


Fotografías Aéreas: permiten trabajar en áreas más pequeñas. Con la utilización de pares estereográficos se puede analizar la topografía, redes de drenaje y alineaciones como fallas, fracturas, contactos, etc.



Geofísica: estudio de variaciones de propiedades físicas en la corteza terrestre que indican de la presencia de determinados tipos de minerales. Abarca estudios magnéticos, gravimétricos, eléctricos, radiométricos y sísmicos, entre otros.

Exploración



- **Geoquímica:** Medición sistemática de concentraciones de elementos químicos, particularmente en rocas, suelos y sedimentos de quebradas.
- Con un estudio geoquímico se puede establecer diferencias entre una composición química normal (background) y una composición química anormal (anomalía). Esta última podría dar indicios sobre la existencia de un yacimiento minero.

Prospección

- ❑ Con la prospección se logra un conocimiento más detallado en un área más restringida identificada de interés en la etapa de exploración. Las técnicas de prospección más utilizadas son los **sondajes y túneles**.
- ❑ La prospección con sondajes y/o túneles es el último y obligatorio paso para evaluar la existencia de un eventual yacimiento mineral. Es la única forma de obtener directamente muestras representativas para caracterizar la composición mineralógica, textura, leyes, etc. del posible yacimiento a explotar.
- ❑ Dadas sus características, para realizar una campaña de prospección se debe contar con autorización ambiental (Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental).

Sondajes



Exploración con Sondajes



Análisis de Testigos

- ❑ Los sondajes son normalmente la actividad final para obtener información sobre la eventual existencia de un yacimiento.
- ❑ Según sea la modalidad del sondaje, la muestra se puede obtener como material molido, impulsado al exterior por un flujo de aire (sondaje por circulación reversa) o bien obteniendo testigos de roca (sondaje diamantina).

Resultados

- Una exploración será exitosa si finalmente se logra descubrir y cuantificar un cierto volumen de la corteza terrestre que cumple con las expectativas mínimas de la compañía en cuanto a cantidad y calidad del tipo de mineralización que busca.
- En otras palabras, se tiene éxito si se identifica una “anomalía geológica”, es decir una concentración de uno o más elementos que es superior a lo “habitual”.



SONAMI



Estudio de Factibilidad

**Curso a Periodistas
Santiago, 23 de Noviembre de 2016**



SONAMI

Sociedad Nacional de Minería

Referente y voz de la pequeña, mediana y gran minería privada en Chile desde 1883



Análisis de Factibilidad

- Los análisis de factibilidad son aquellos estudios de ingeniería que permiten determinar si el volumen mineralizado identificado en las etapas previas de exploración y prospección, puede ser explotado para obtener un producto comercial y sustentar el desarrollo de un proyecto minero.
- Los estudios de factibilidad incluyen:
 - Determinar el modelo geológico
 - Determinar el modelo de recursos
 - Determinación de las reservas (recursos económicamente explotables).



SONAMI



Análisis de Factibilidad

(continuación):

- Selección del método de explotación y procesamiento.
- Selección del tamaño de la operación (mina y planta).
- Plan Minero (secuencia de extracción y procesamiento).
- Determinación de equipamiento e infraestructura.
- Determinación de inversiones.
- Determinación de costos de operación y comercialización.
- Determinación de flujo de caja y rentabilidad del proyecto.
- Aspectos legales
- Estudio de impacto ambiental



SONAMI



Fase de Construcción

Curso a Periodistas
Santiago, 23 de Noviembre de 2016



SONAMI

Sociedad Nacional de Minería

Referente y voz de la pequeña, mediana y gran minería privada en Chile desde 1883



Fase de Construcción

- ❑ Desarrollo de toda la infraestructura necesaria para poner en marcha el proyecto

- ❑ Para la Futura Mina
 - Desarrollo de los trabajos necesarios para alcanzar el cuerpo mineralizado.

 - Para minería a cielo abierto se realiza el denominado prestripping (extracción de material estéril sobre el cuerpo mineralizado), y para minería subterránea se realizan las labores de acceso y de servicio correspondiente.



SONAMI



Fase de Construcción

□ Además:

- Infraestructura de transporte (caminos, vías férreas, puerto).
- Infraestructura para el suministro de agua y energía.
- Construcción de la planta de procesos.
- Habilitación de áreas para la disposición de residuos mineros.
- Construcción de instalaciones generales de servicio (talleres, bodegas, tratamiento de agua, etc.).
- Construcción de instalaciones de campamento.



SONAMI



Fase de Construcción



Prestripping minería a cielo abierto.



Labores iniciales minería subterránea



Caminos de Acceso



Construcción Planta



Fase de Construcción



Suministro de Agua

Suministro de Energía



Fase de Operación: Minería

Curso a Periodistas
Santiago, 23 de Noviembre de 2016



SONAMI

Sociedad Nacional de Minería

Referente y voz de la pequeña, mediana y gran minería privada en Chile desde 1883

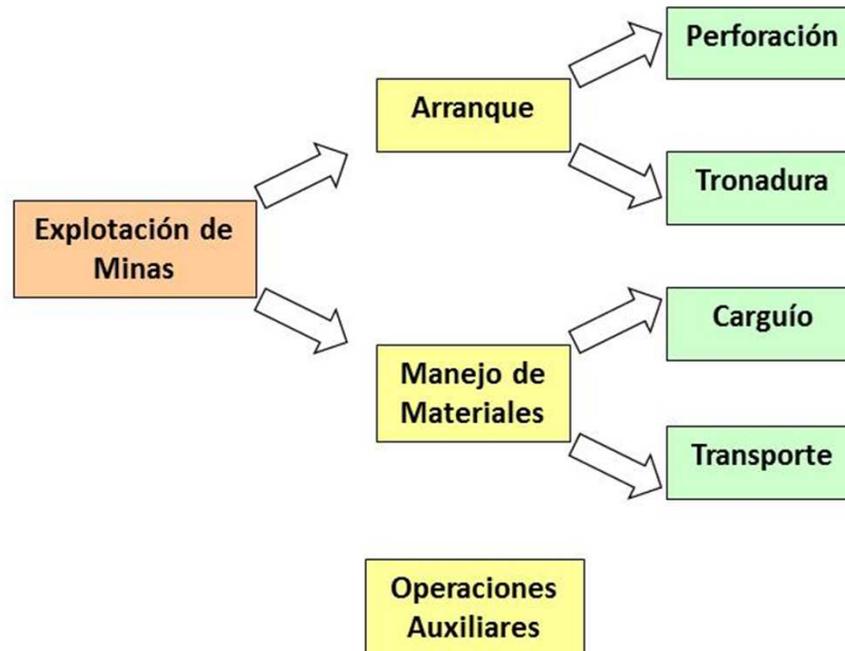


Tipos de Minería - Operaciones

❑ Tipos de Minería

- Minería a Cielo Abierto
- Minería Subterránea

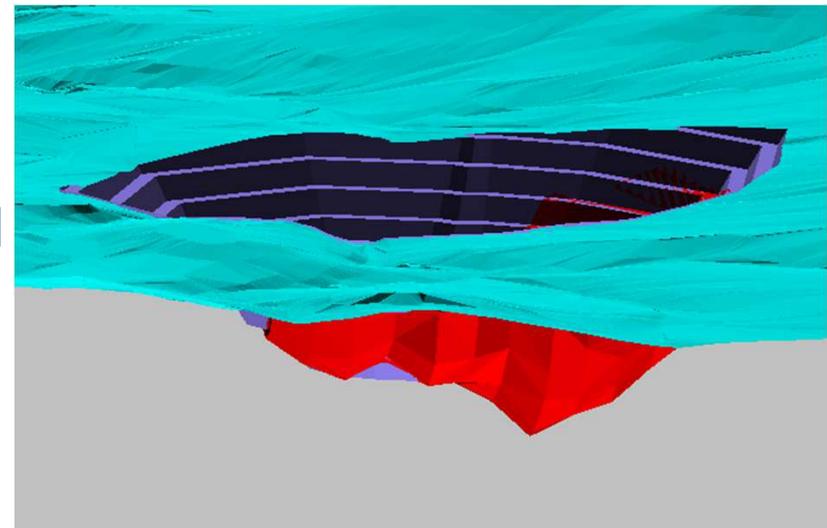
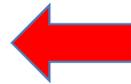
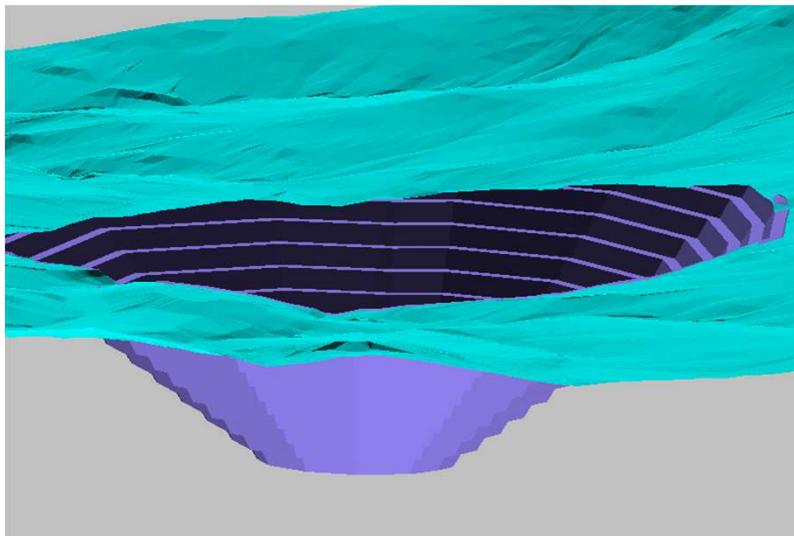
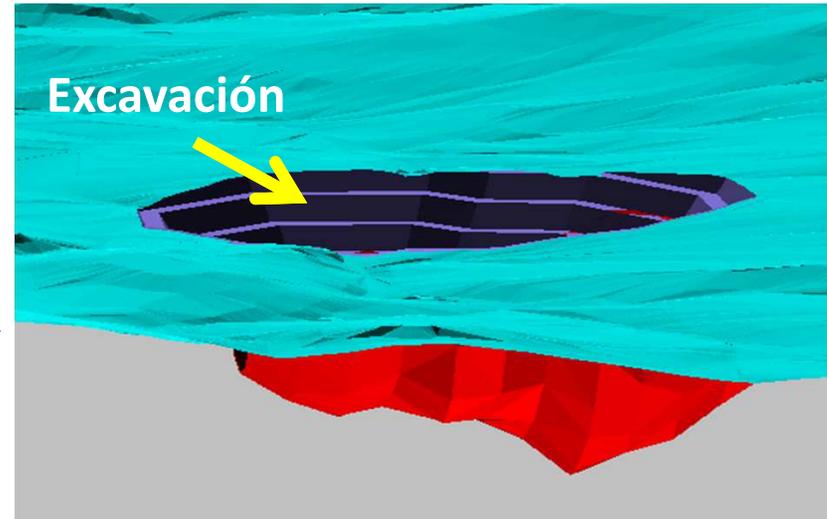
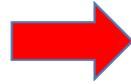
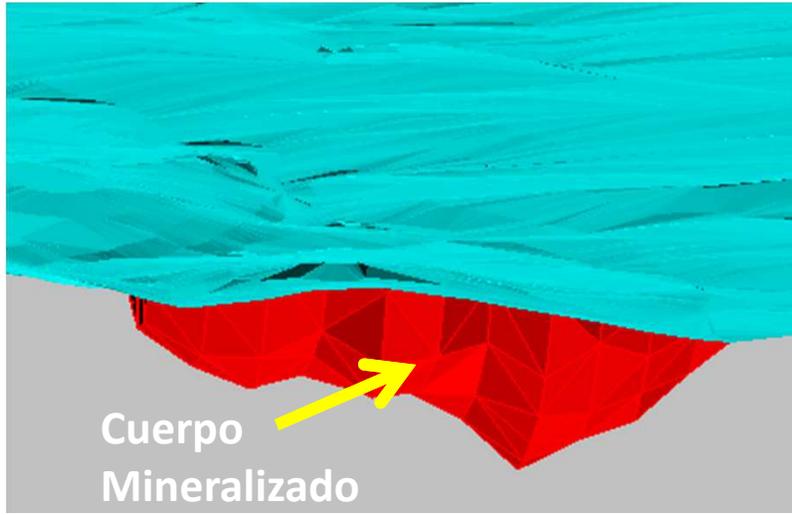
❑ Operaciones Mineras



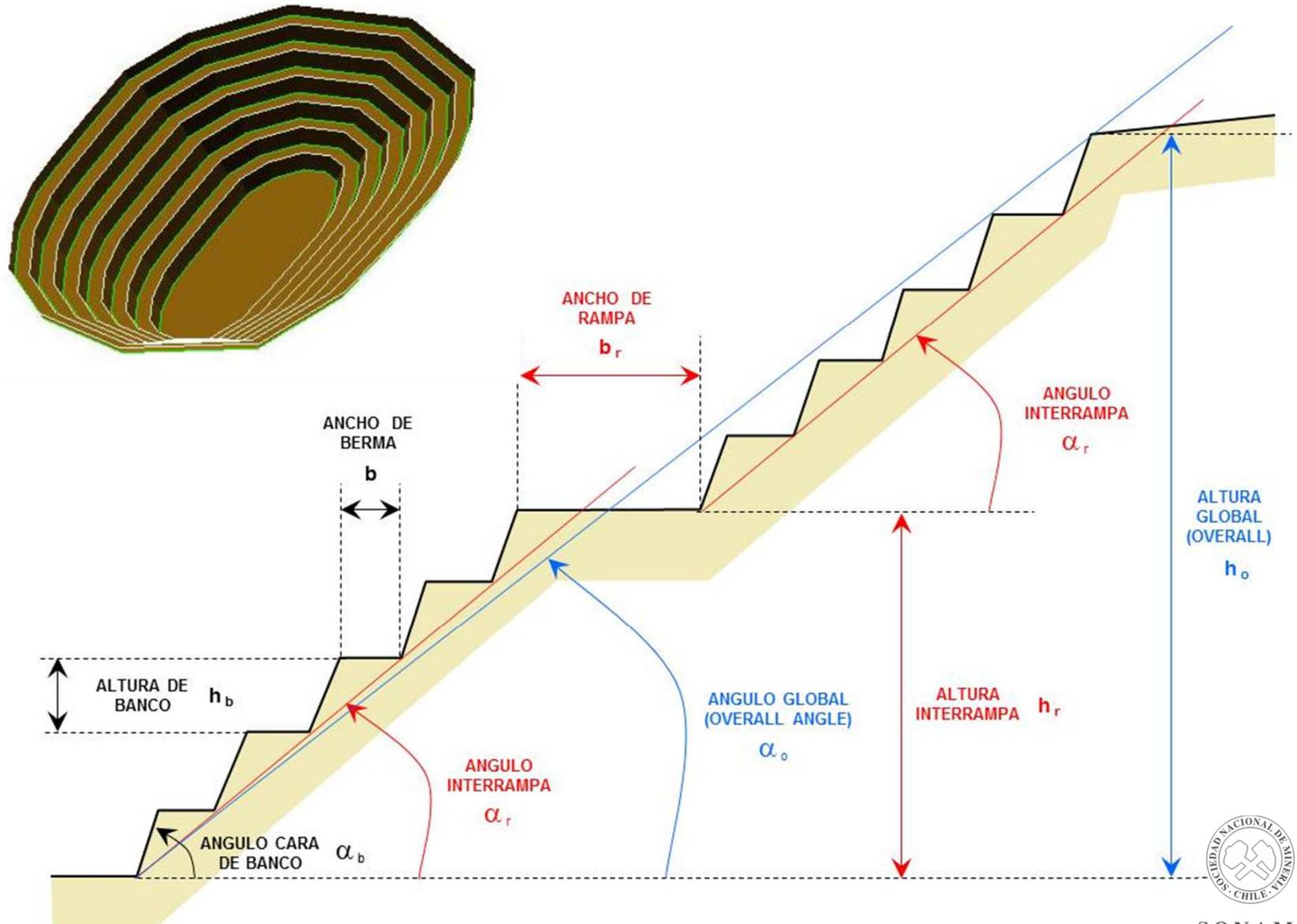
SONAMI



Minería a Cielo Abierto



Minería a Cielo Abierto



SONAMI



Minería a Cielo Abierto

Perforación y Tronadura



Minería a Cielo Abierto

Carguío



SONAMI



Minería a Cielo Abierto

Transporte

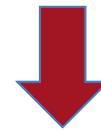


Mineral



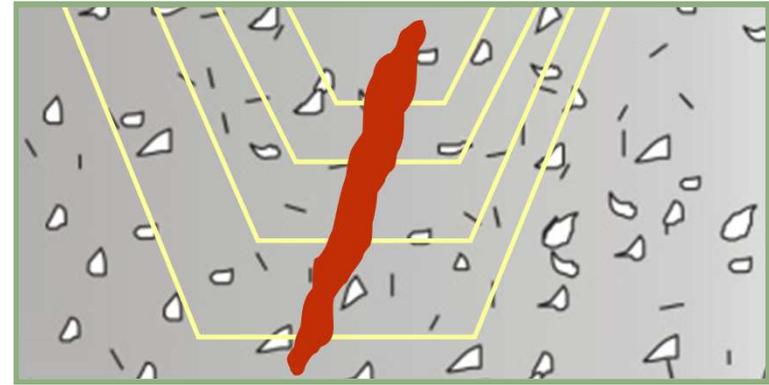
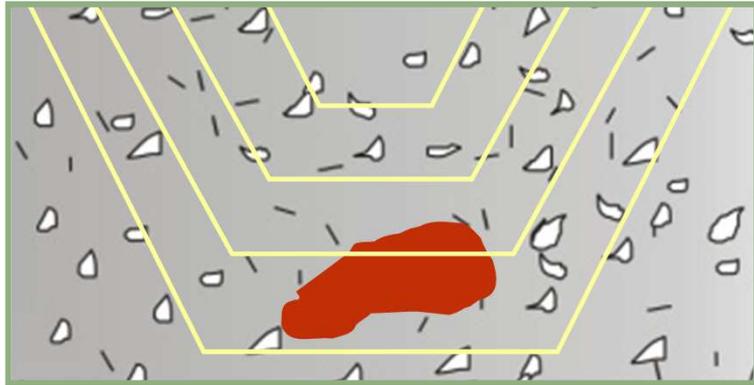
Planta de Procesos

Estéril



Botaderos de Estéril

Minería Subterránea



- Existen ciertos tipos de yacimientos, que por su profundización y/o forma, requerirían una gran remoción de estéril si se explotan a rajo abierto, haciendo inviable económicamente este tipo de explotación.
- La solución explotar con minería subterránea:



SONAMI



Minería Subterránea

- Explotar con minería subterránea significa extraer, de la manera más selectiva posible, las zonas mineralizadas. Esto se hace creando cavidades o unidades básicas de explotación, conocidas como “cámaras” o “caserones”.
- La forma como quedan las “cámaras” después de extraer el mineral, es lo que caracteriza a los diferentes métodos de explotación subterránea.

Minería Subterránea

- El diseño de caserones se realiza de manera de asegurar la estabilidad durante la operación. Por otra parte, caserones más grandes disminuyen el costo de producción, pero también disminuye la flexibilidad y selectividad.

Cámaras Soportadas por Pilares

- Cámaras y Pilares (Room and Pillar)
- Corte por Subniveles (Sublevel Stopping)

Cámaras Soportadas con Rellenos

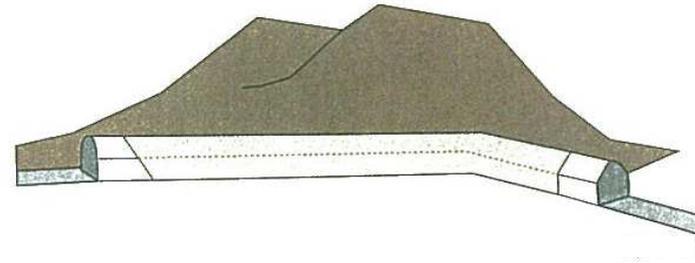
- Corte y Relleno (Cut and Fill Stopping)
- Realce sobre Mineral (Shrinkage Stopping)

Cámaras No Soportadas (Hundimiento)

- Hundimiento por Bloques (Block Caving)
- Hundimiento por Subniveles (Sublevel Caving)

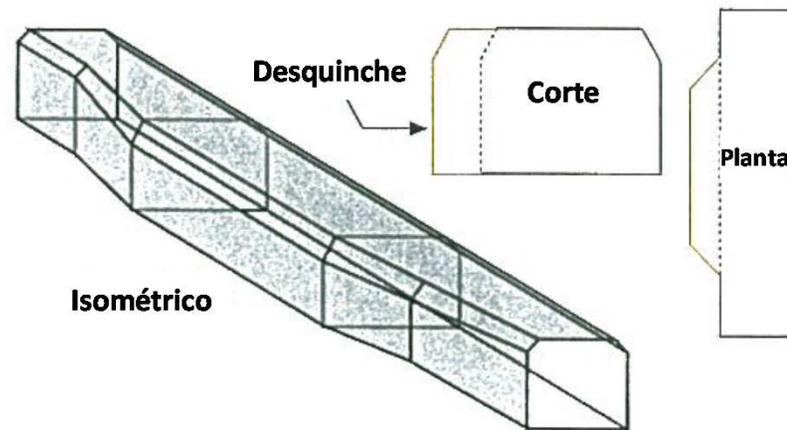
Minería Subterránea

● **Túnel:** excavación horizontal caracterizada por su sección (alto x ancho), con una o dos salidas al exterior



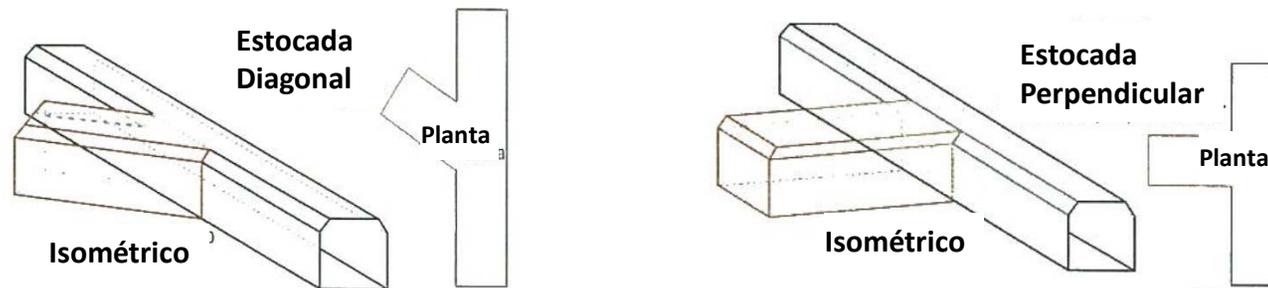
● **Galería:** es un túnel que conecta sectores dentro de la mina, es decir, no tiene salida al exterior.

● **Desquinche:** es una sobreexcavación de una de las paredes o techo de un túnel o galería.

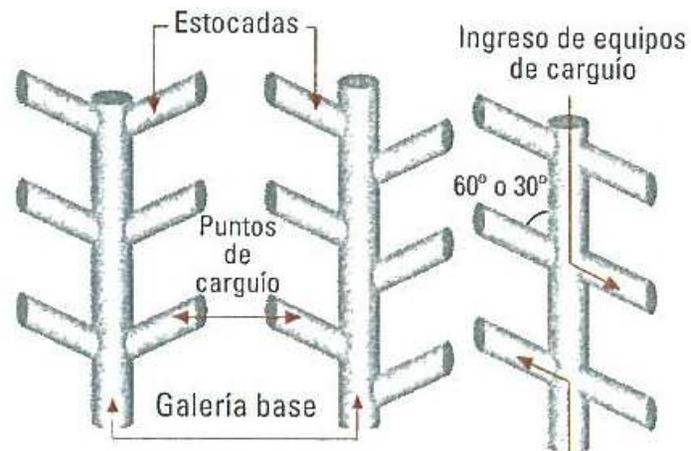


Minería Subterránea

- **Estocada:** galería horizontal corta construida a partir de otra galería, en diagonal o perpendicular.

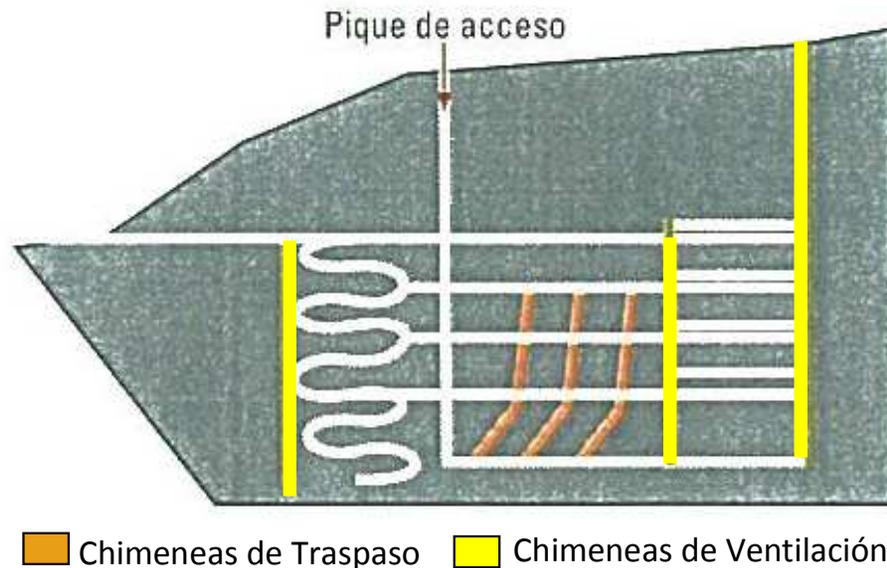


- **Estocadas de Carguío:** es la estocada que sirve para acceder a un punto de carguío donde se encuentra el mineral tronado.



Minería Subterránea

- **Rampa:** túnel de acceso a la mina, construido en pendiente para acceder a los diferentes niveles de la mina.
- **Pique:** galería vertical, construida de arriba hacia abajo.
- **Chimenea:** galería vertical o subvertical, construida de abajo hacia arriba.



Piques y Chimeneas se utilizan para el traspaso de material por gravedad de un nivel a otro.

Minería Subterránea

- **Nivel:** Galería horizontal caracterizada por una cota determinada por un nivel de referencia.
- **Subnivel:** Galería horizontal paralela a un nivel principal, sobre o bajo él.

Los niveles y subniveles se denominan normalmente de acuerdo con la función principal que cumplen. Algunos ejemplos:

- **Nivel de Producción:** nivel donde están las galerías donde se carga el mineral fracturado.
- **Nivel de Transporte:** nivel donde se dispone de medio(s) de transporte para extraer el mineral, transportar carga y movilizar gente. Es normalmente el túnel de mayor tamaño en la mina.
- **Niveles de Traspaso:** aquellos en los que se controla el paso del mineral desde el nivel de producción hasta el nivel de transporte.
- **Subnivel de Ventilación:** ubicado bajo el nivel producción, es por donde ingresa aire fresco y se extrae el aire contaminado.

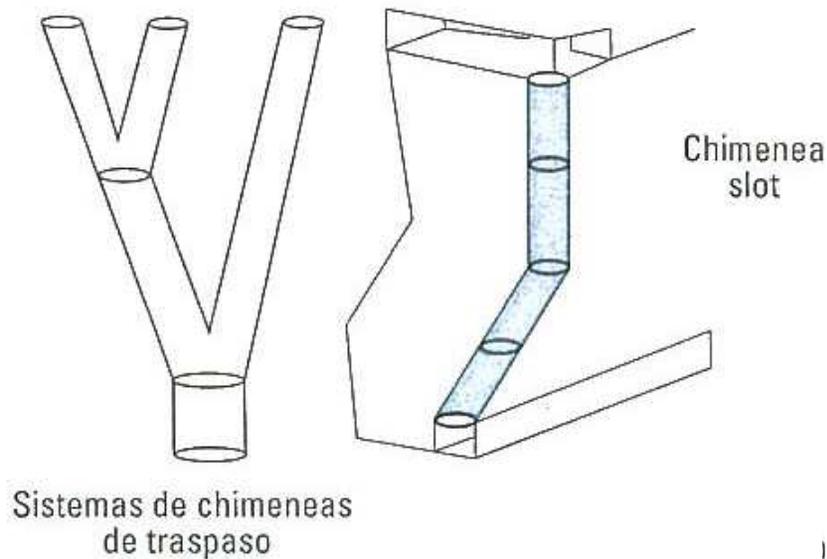


SONAMI

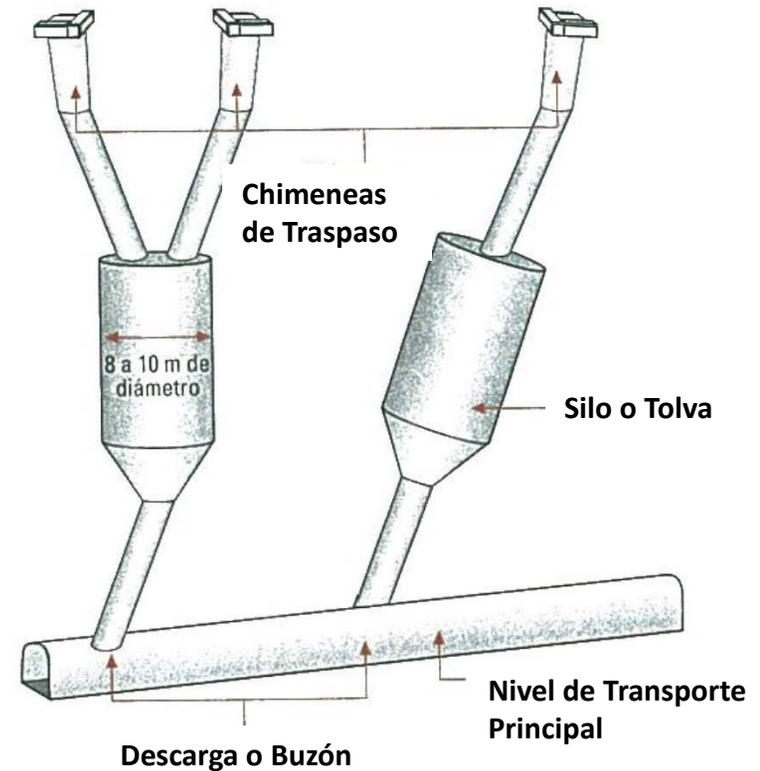


Minería Subterránea

Chimeneas



Chimeneas y Silos



- **Silo o Tolva:** zona de una chimenea en la que se amplía la sección por desquinche, de manera aumentar la capacidad de almacenamiento.

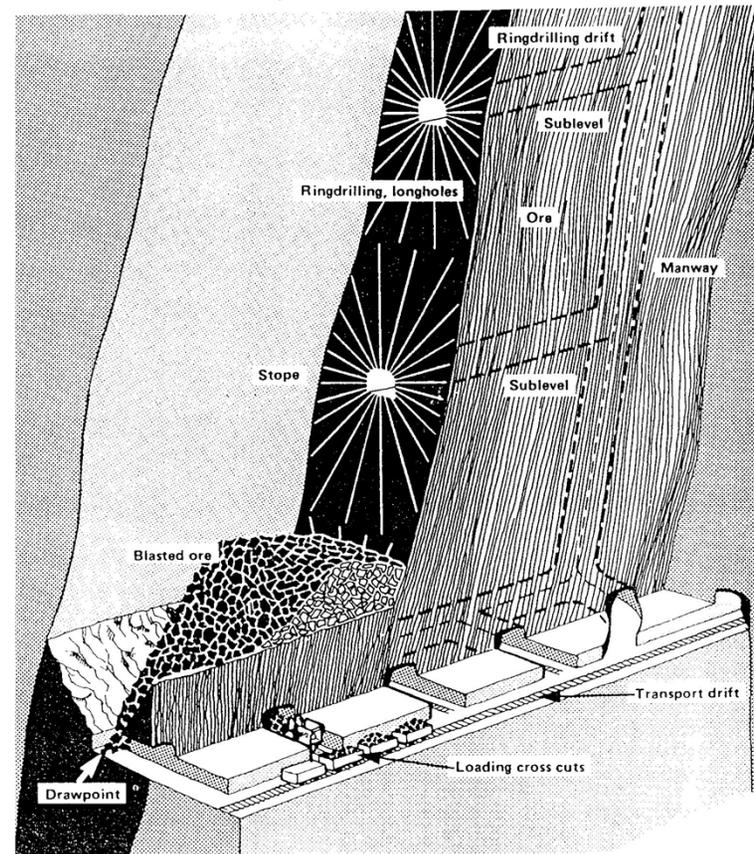


SONAMI



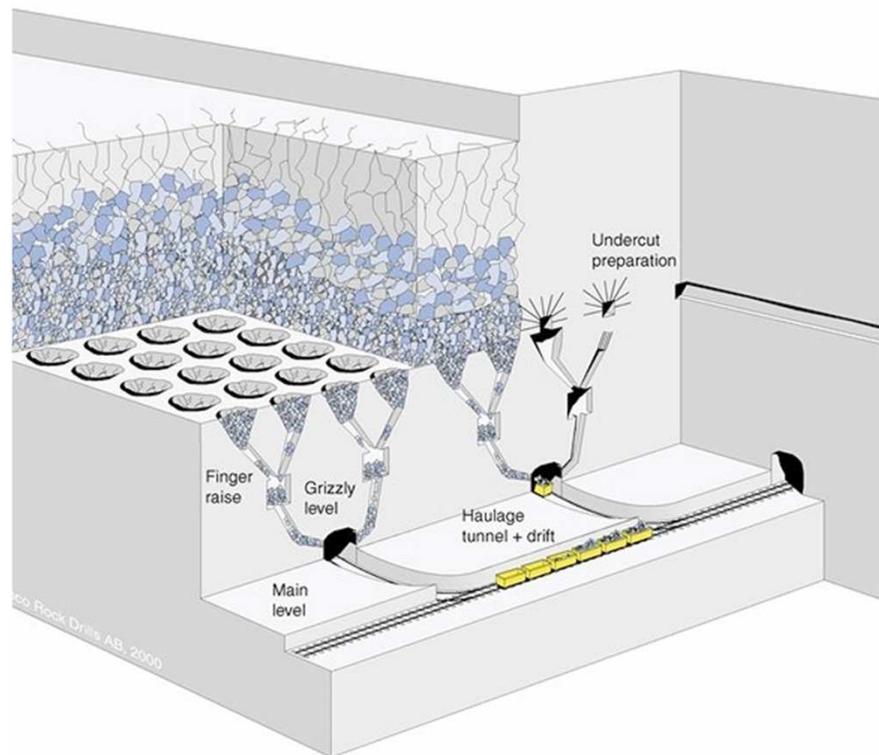
Ejemplo: Corte por Subniveles (Sub Level Stopping)

Método aplicado a cuerpos tabulares verticales o sub-vertical de mayor potencia.



Ejemplo: Hundimiento por Bloques (Block Caving)

- Para cuerpos masivos con una proyección en planta suficiente para inducir el hundimiento de la roca..
- Se induce el hundimiento de la roca a través del corte basal. El hundimiento se propaga en la medida que la roca es extraída del hundimiento utilizando la infraestructura de producción.



SONAMI



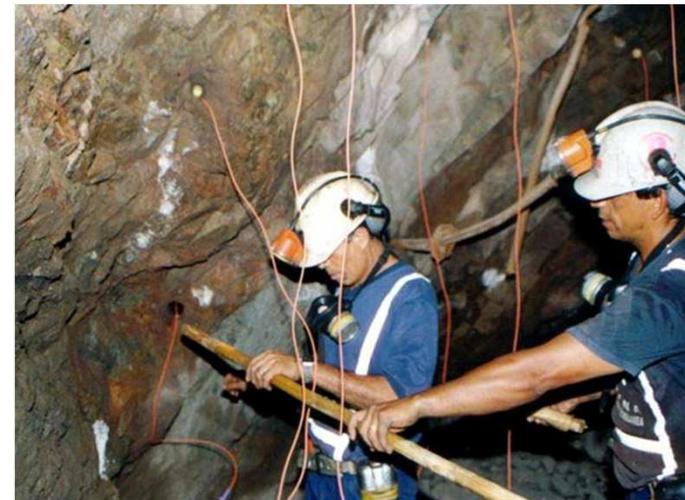
Minería Subterránea

Perforación



Jumbo

Preparación de Tronadura



Minería Subterránea



LHD (carguío y transporte)

Fase de Operación: Procesos Metalúrgicos

Curso a Periodistas
Santiago, 23 de Noviembre de 2016



SONAMI

Sociedad Nacional de Minería

Referente y voz de la pequeña, mediana y gran minería privada en Chile desde 1883

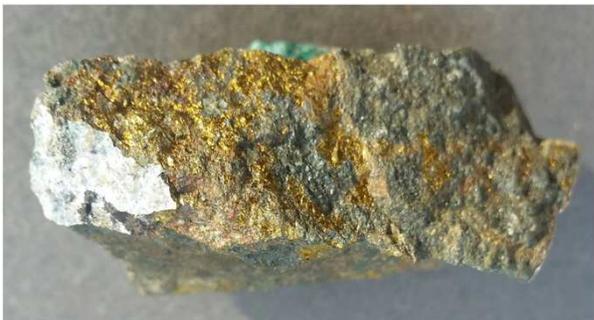


Mina y Planta de Procesos



Procesos Metalúrgicos

- ❑ Operaciones que se realizan con el “mineral” para obtener un producto comercial.
- ❑ En la minería metálica, el producto final es el elemento metálico de interés contenido en la(s) especie(s) mineralógica(s).
- ❑ En la minería no metálica, el producto final puede ser la especie mineralógica como tal.



Calcopirita: CuFeS_2



Halita: NaCl



SONAMI



Procesos Metalúrgicos

- En la minería metálica, para un mismo elemento de interés, el tipo de operaciones metalúrgicas depende de la especie mineralógica que contiene dicho elemento.



Calcopirita: CuFeS_2 (sulfuros)

Concentración + Fundición +
Eletrorefinación



Cátodos
de Cobre



Atacamita: $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ (óxidos)

Lixiviación + Extracción por Solvente
+ Eletroobtención



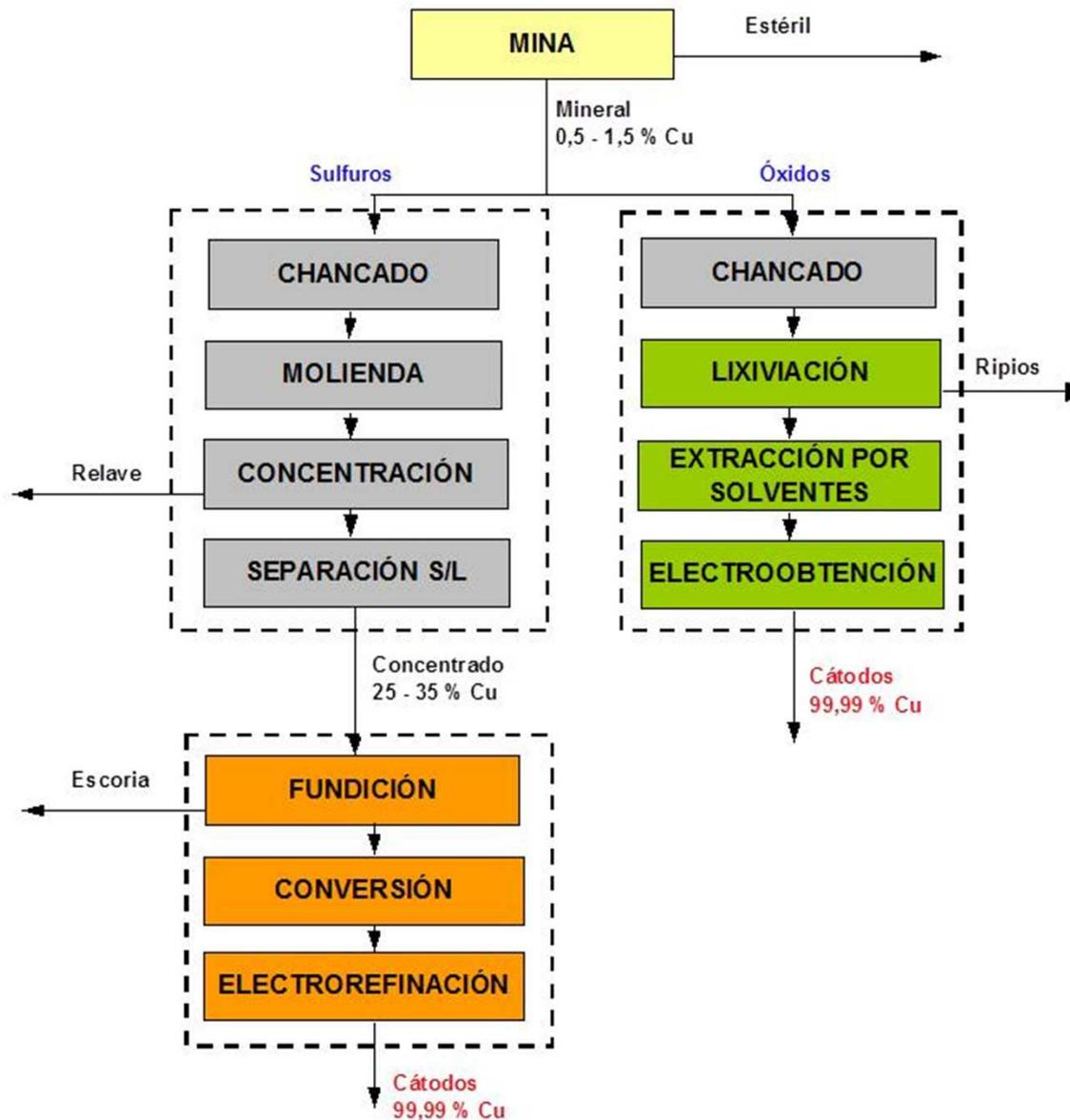
Cátodos
de Cobre



SONAMI



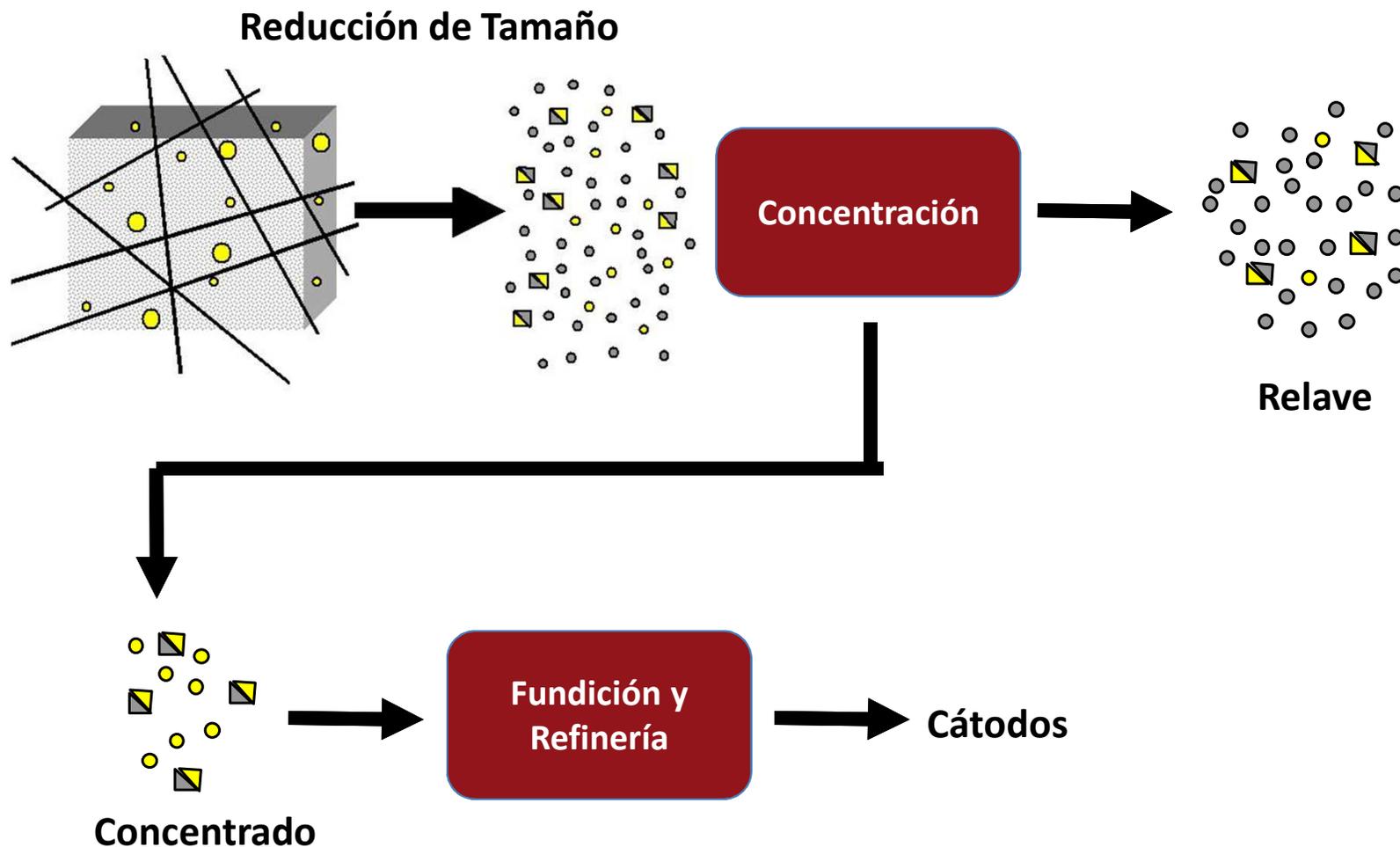
Procesos Metalúrgicos del Cobre



SONAMI



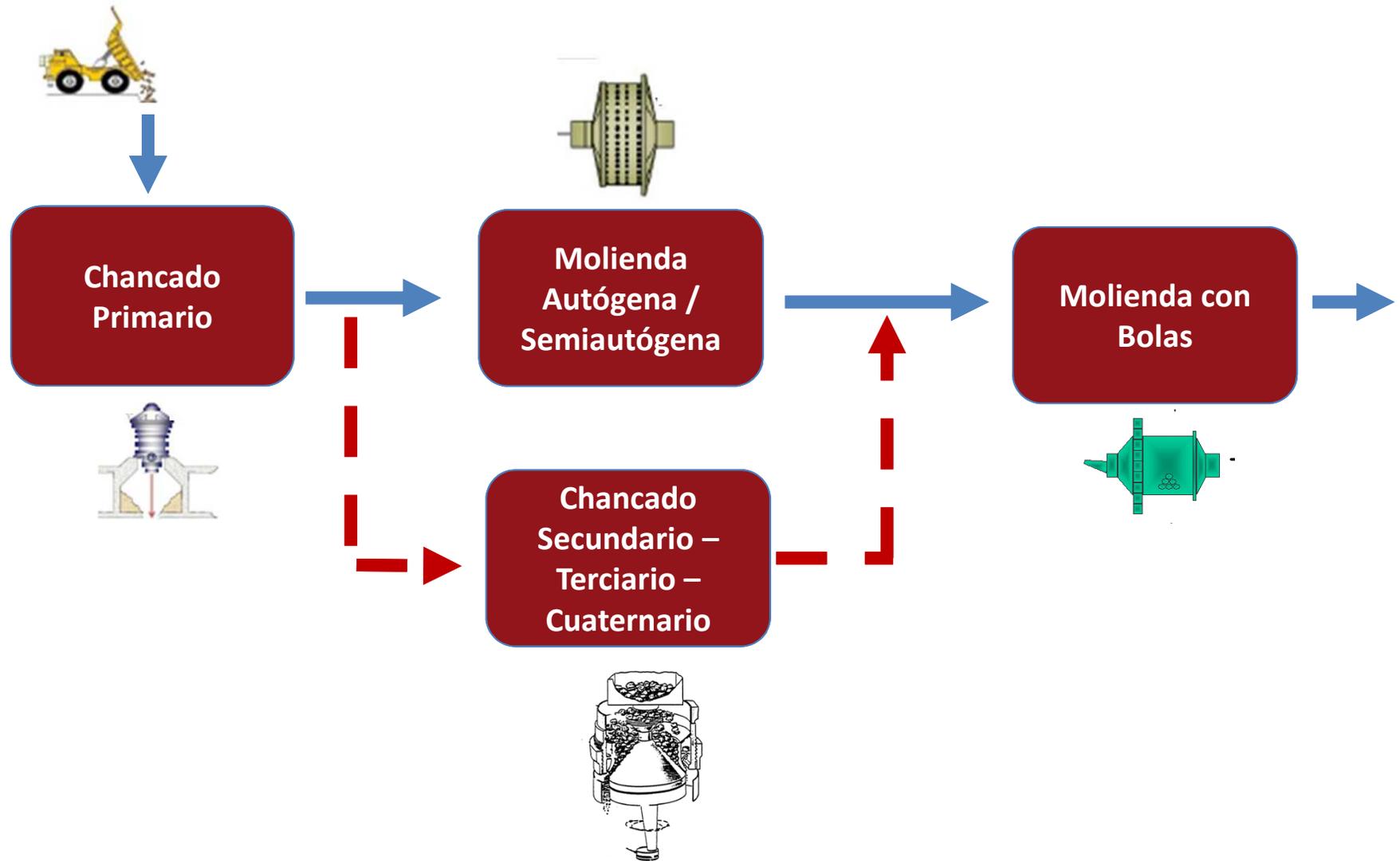
Procesamiento Sulfuros de Cobre



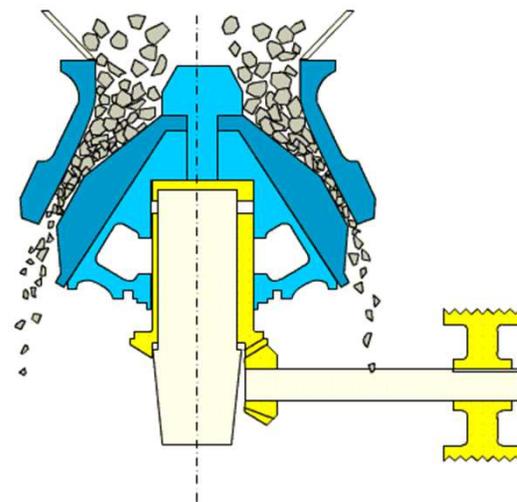
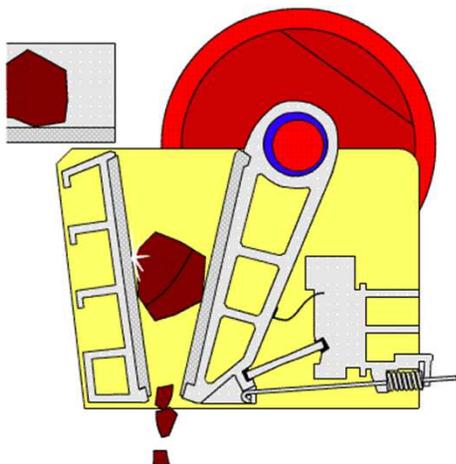
SONAMI



Reducción de Tamaño



Equipos de Chancado



Equipo de Molienda

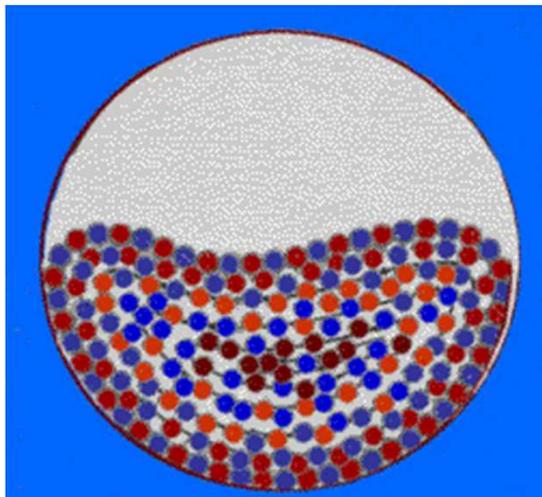
Molino SAG



Molino de Bolas



Acción de Molienda



Hidrociclones (clasificación)



Operaciones de Concentración

La concentración de minerales se efectúa aprovechando alguna propiedad física o físico-química que sea diferente entre las especies mineralógicas que se desea separar.

Propiedades que se Aprovecha para Concentrar Minerales

Propiedades Visuales	→	Escogido (Sorting)
Pesos Específicos	→	Concentración Gravitacional
Susceptibilidad Magnética	→	Concentración Magnética
Conductividad Eléctrica	→	Concentración Electrostática
Físico Química de Superficie	→	Flotación

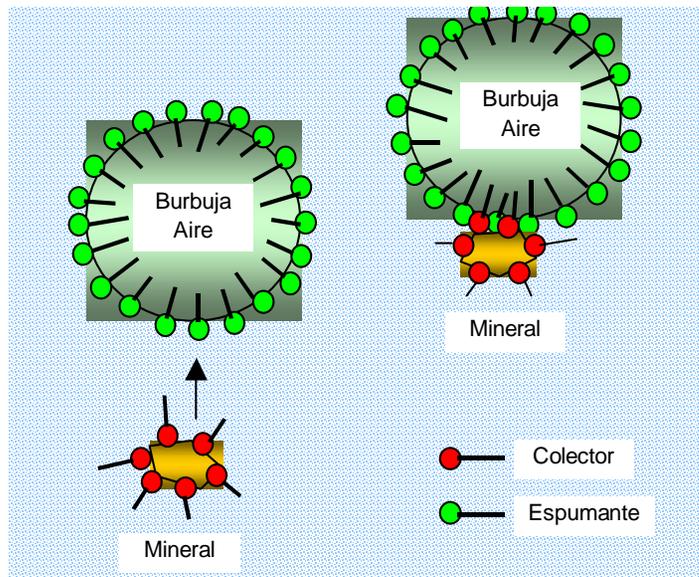
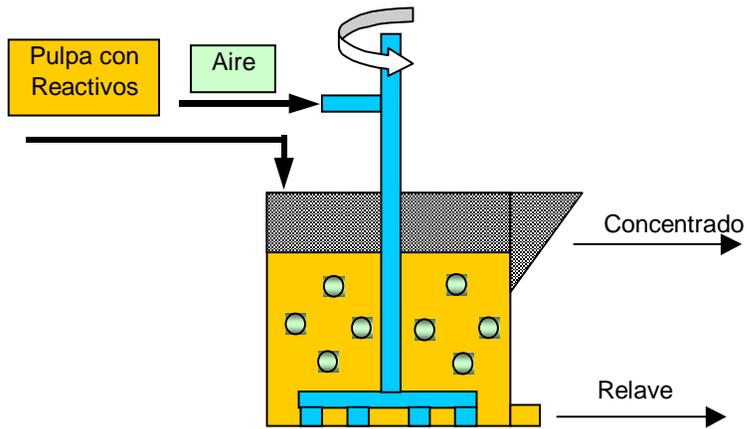
La concentración de minerales sulfuros de cobre se realiza mediante el proceso de flotación.



SONAMI



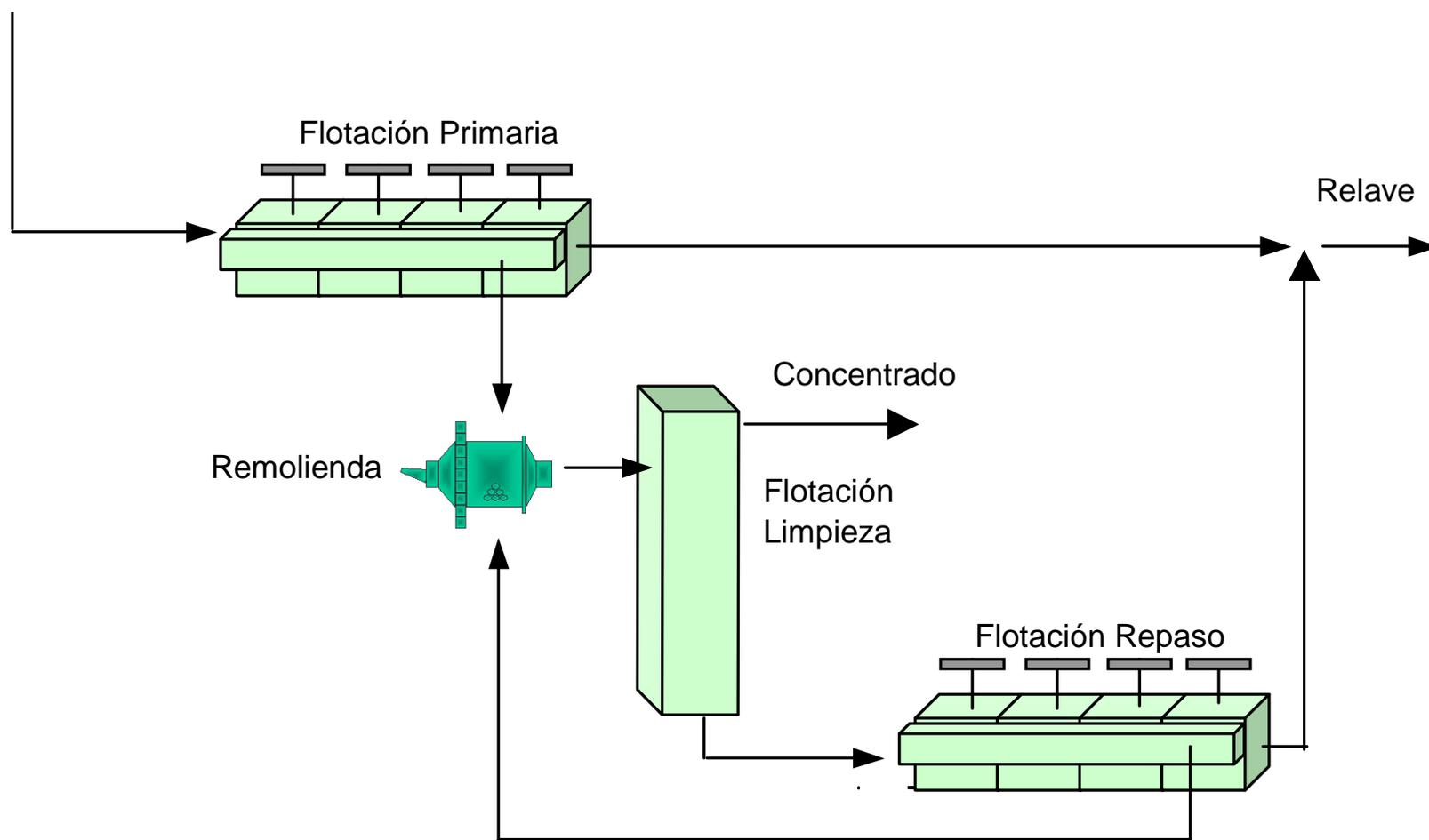
Flotación de Minerales



SONAMI



Circuito Típico de Flotación



SONAMI



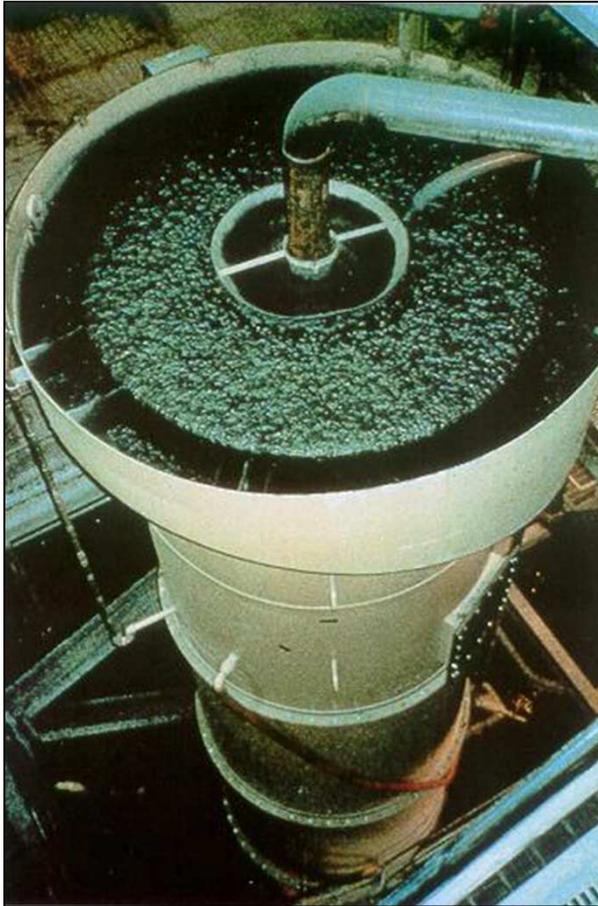
Equipos Flotación Primaria



SONAMI



Equipos Flotación de Limpieza



SONAMI



Separación Sólido - Líquido

Separación Sólido – Líquido en el Concentrado

- Espesamiento
- Filtrado

Separación Sólido – Líquido en el Relave

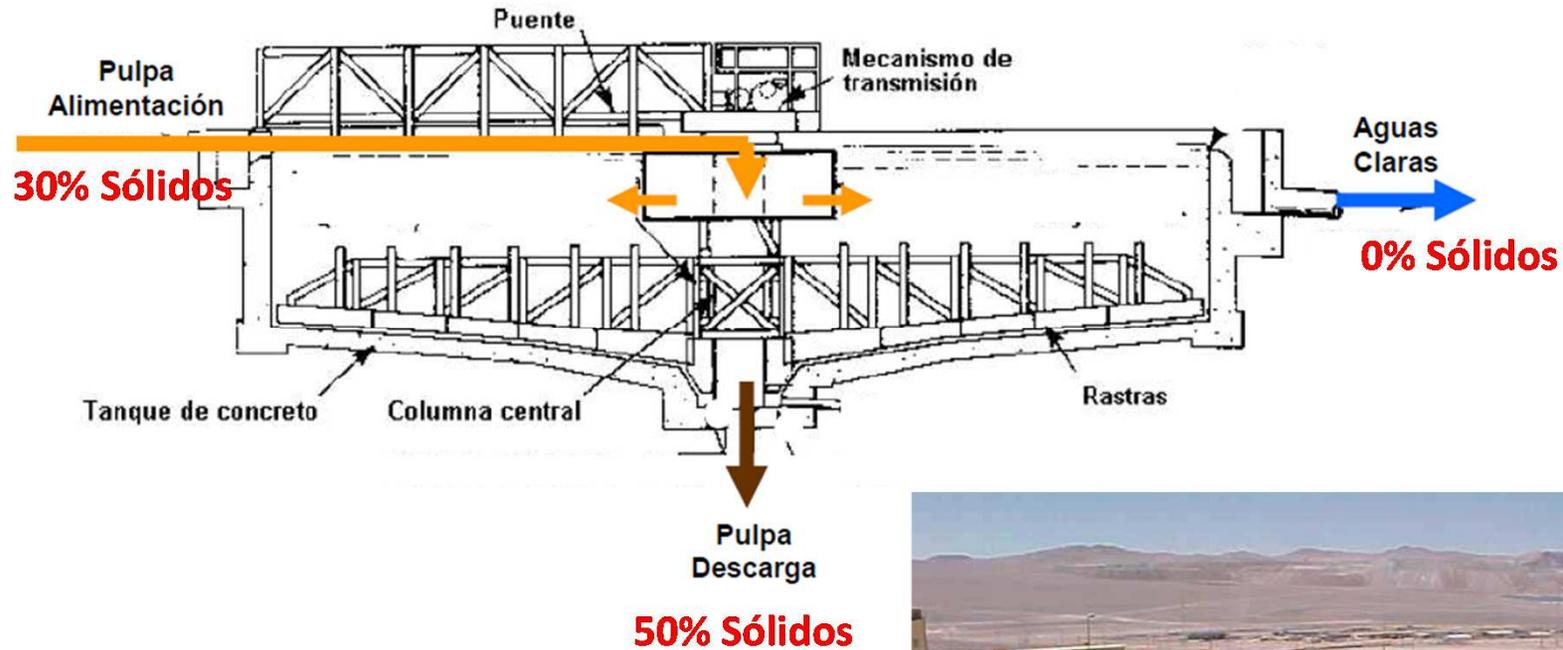
- Espesamiento
- Sedimentación en Depósito de Relaves
- Filtrado (poco frecuente)



SONAMI



Espesamiento

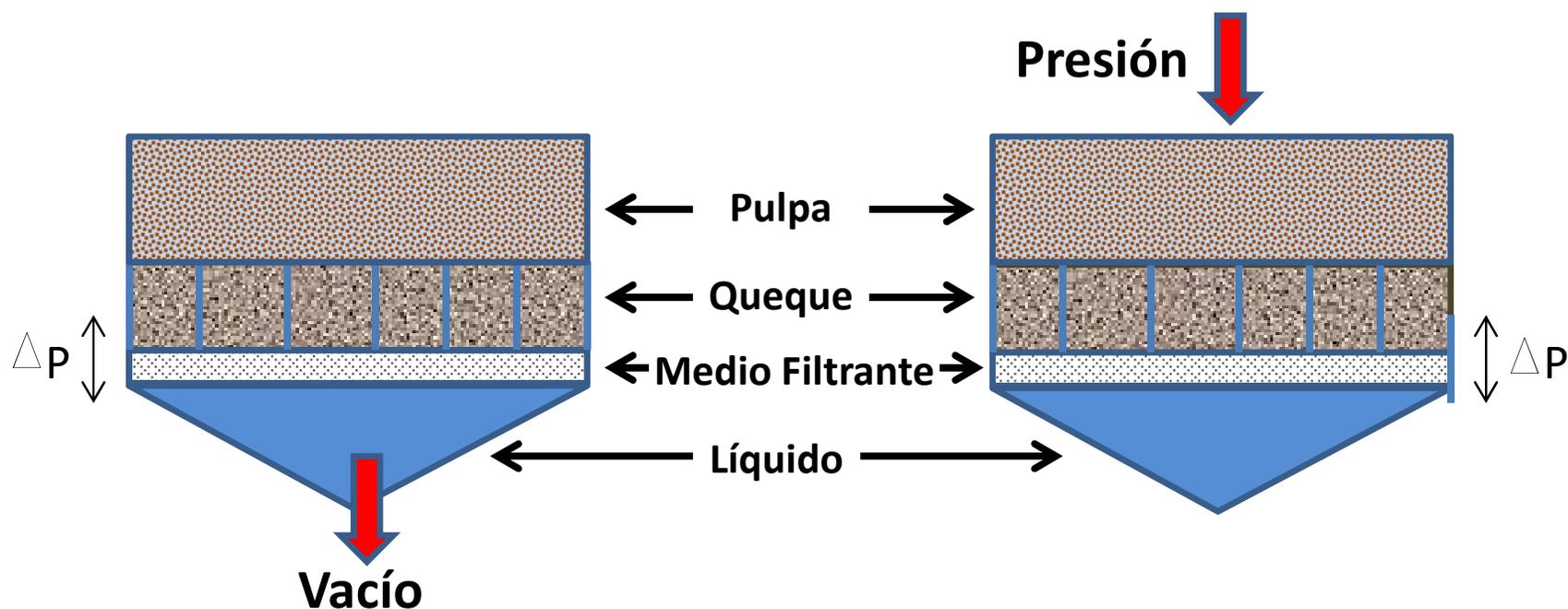


El espesamiento se basa en la sedimentación de las partículas sólidas, la que normalmente se potencia agregando reactivos floculantes.



Filtración

La filtración consiste en poner en contacto la pulpa (sólido + agua) con un medio filtrante, y luego aplicar vacío y/o presión para que el líquido traspase el medio filtrante.



SONAMI

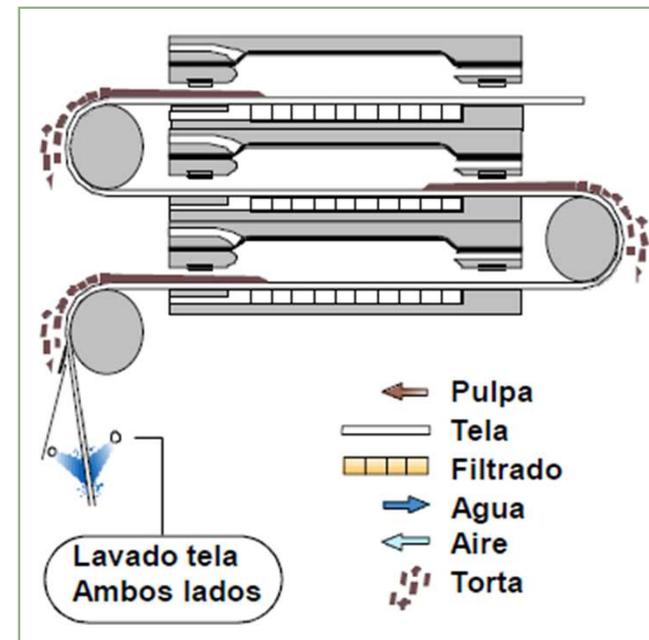


Equipos de Filtrado

Filtración con Vacío



Filtración con Presión

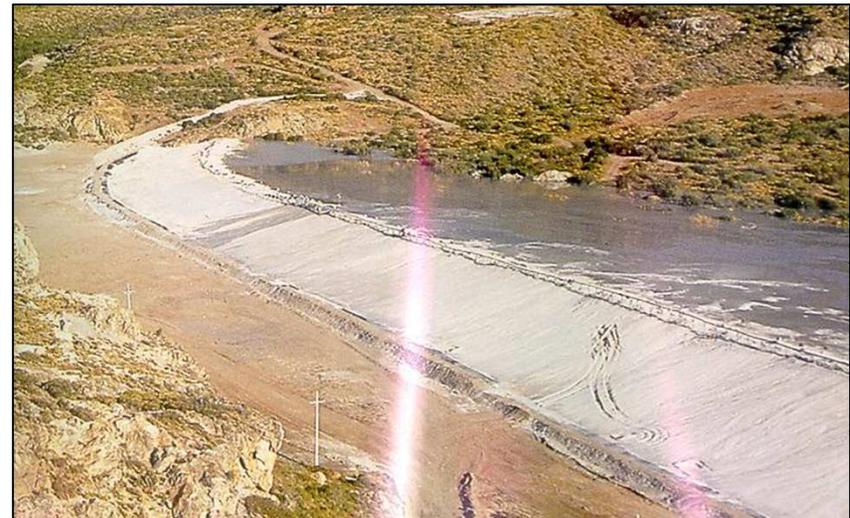


Disposición de Relaves

Depósito de Relaves Tipo Embalse: Muro de contención construido con material de empréstito.



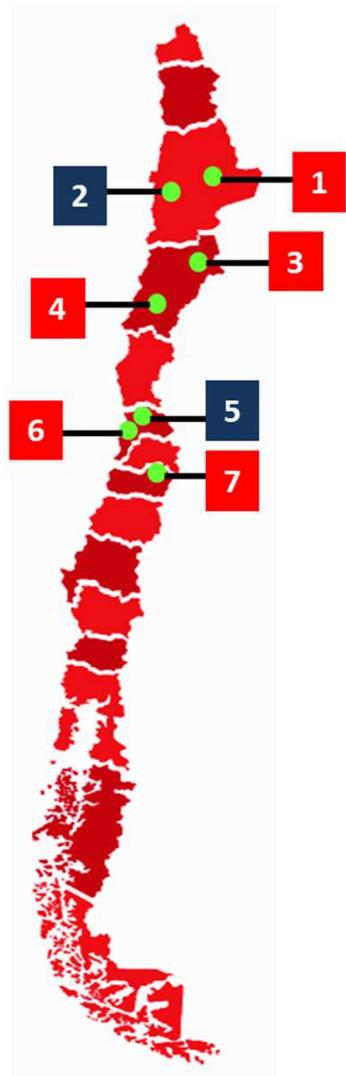
Depósito de Relaves Tipo Tranque: Muro de contención construido con la fracción gruesa del mismo relave.



Planta de Concentración



Fundiciones y Refinerías en Chile



Región	Fundición	Propiedad	Productos
Antofagasta	1.- Chuquicamata	Codelco	Blister, Ánodos, Cátodos
	2.- Altonorte	Glencore	Ánodos
Atacama	3.- Potrerillos	Codelco	Blister, Ánodos, Cátodos
	4.- H. Videla Lira	Enami	Ánodos
Centro Sur	5.- Chagres	Anglo American	Ánodos
	6.- Ventanas	Codelco	Blister, Ánodos, Cátodos
	7.- Caletones	Codelco	Blister, Ánodos

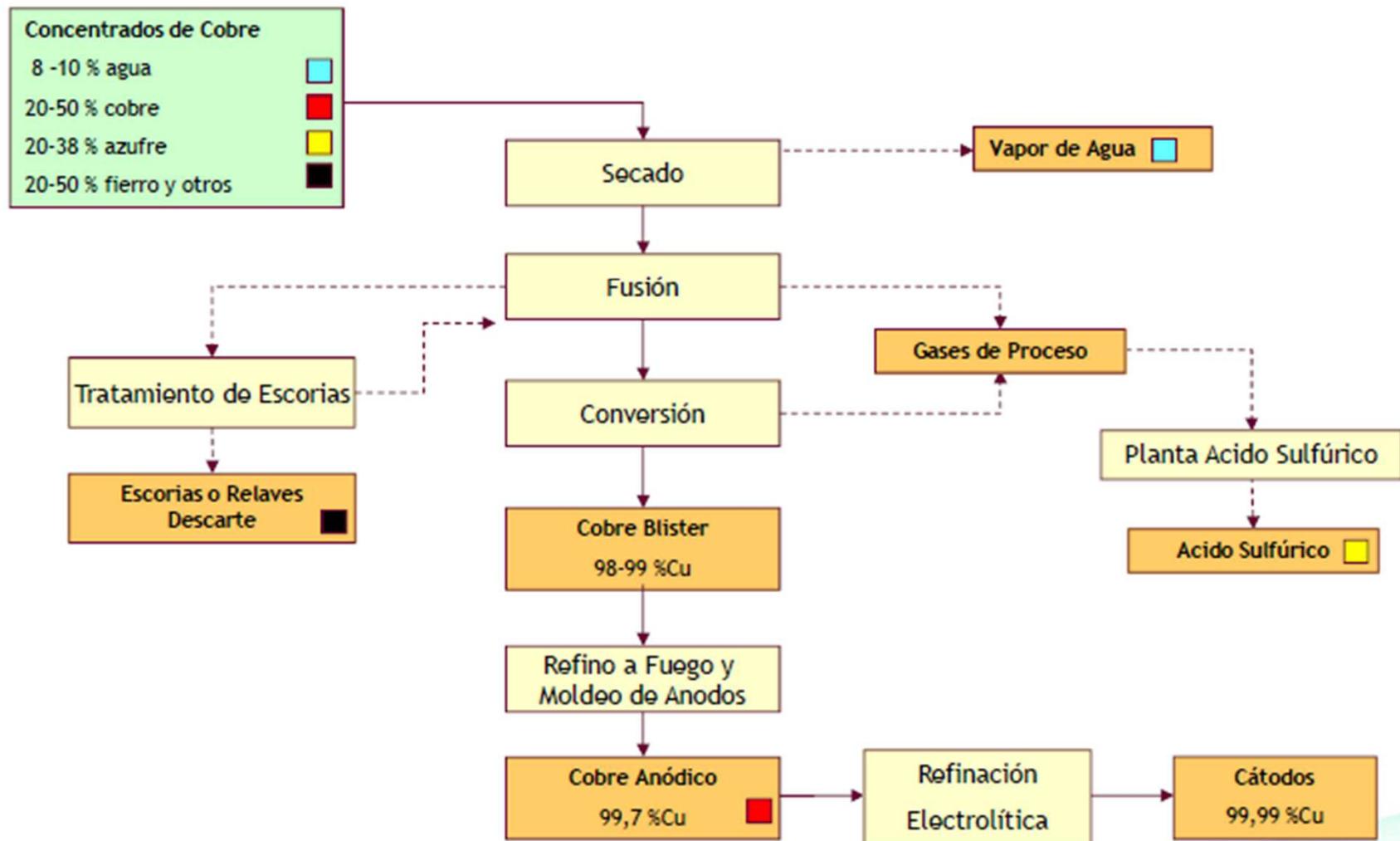
■ FURE's Estatales ■ FURE's Privadas

Fundiciones y Refinerías

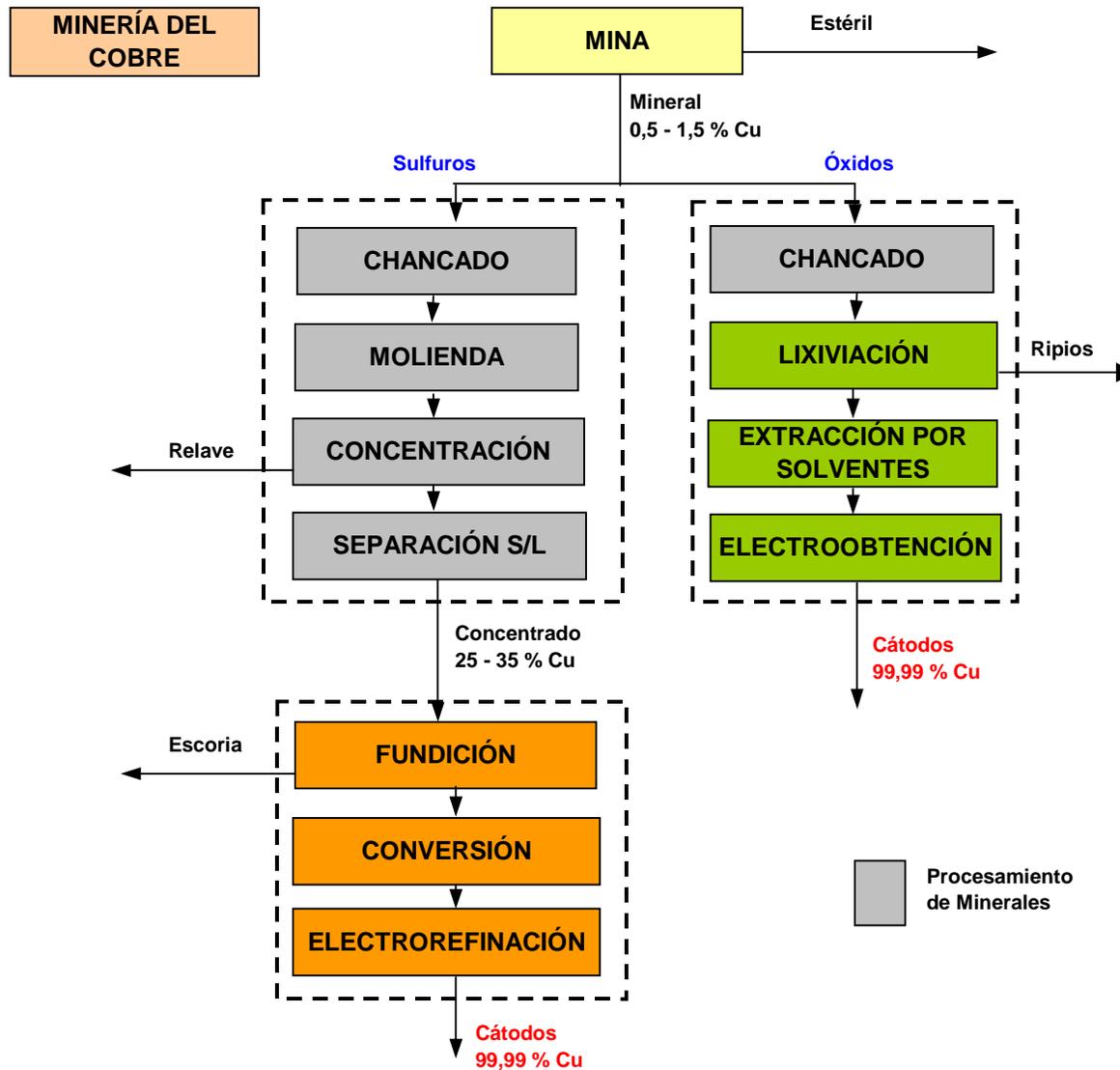


- El 35% del cobre proveniente de concentrados alimenta fundiciones en Chile, y el resto se exporta.
- El total del cobre proveniente de concentrados equivale al 70% de la producción nacional. El 30% restante proviene del tratamiento de minerales del tipo óxidos.

Fundiciones y Refinería



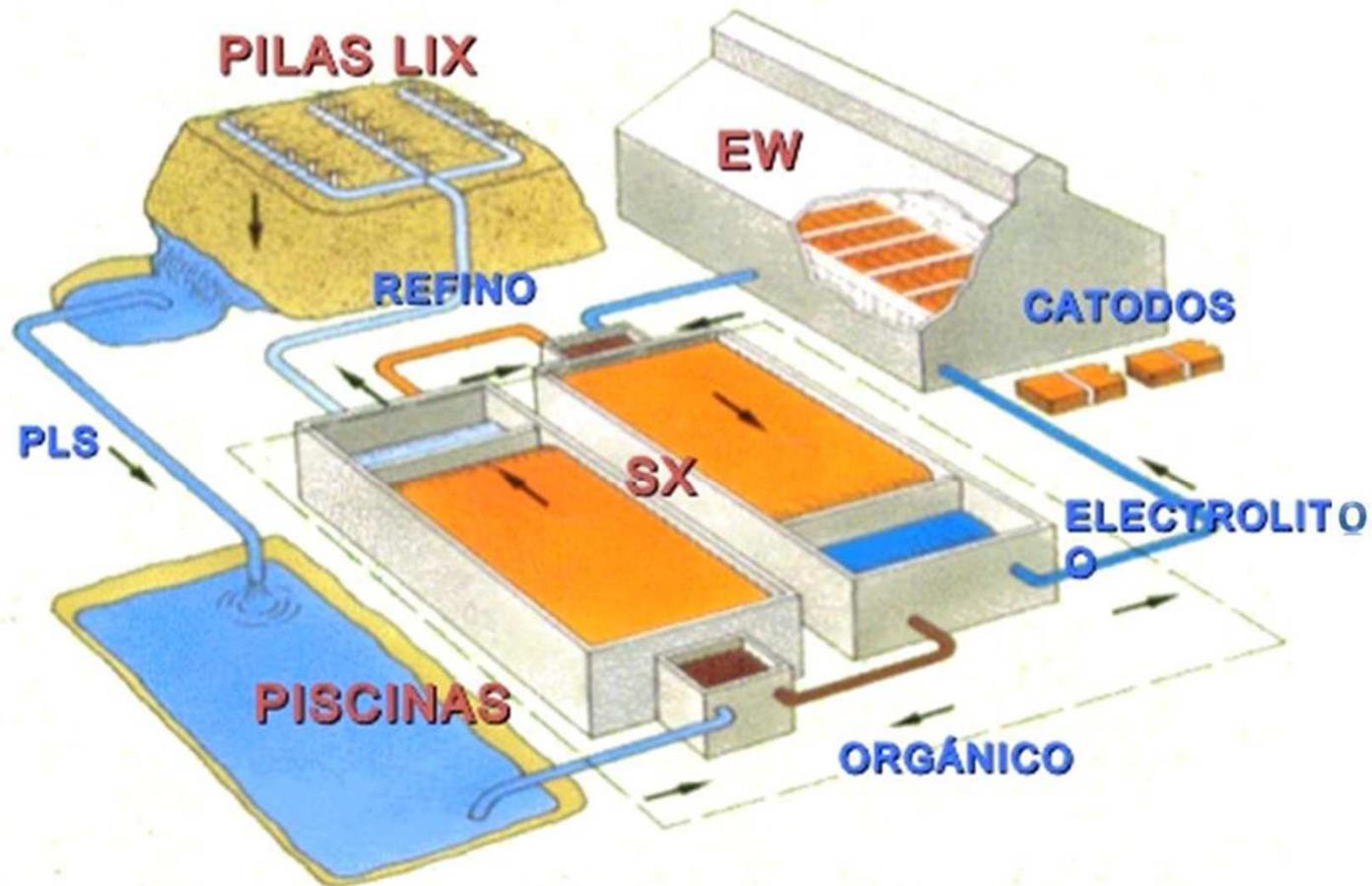
Tratamiento de Óxidos de Cobre



SONAMI



Planta LX-SX-EW (Lixiviación – Extracción por Solvente – Electroobtención)



Planta LX-SX-EW (Lixiviación – Extracción por Solvente – Electroobtención)

Aglomeración



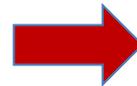
Lixiviación



Soluciones



Extracción por Solvente



Electroobtención



MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Santiago, Noviembre de 2016



SONAMI

Sociedad Nacional de Minería

Referente y voz de la pequeña, mediana y gran minería privada en Chile desde 1883