



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN

"FUNDAMENTOS DE LA PLANIFICACIÓN MINERA"

26 de septiembre de 2025

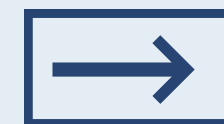


FUNDAMENTOS DE LA PLANIFICACIÓN MINERA

PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA, DE CORTO, MEDIANO
Y LARGO PLAZO EN LAS OPERACIONES.

Desarrollado por:
Ore Mining Capacitaciones

Fecha:
26.SEP.2025



HÉCTOR VEGA ARENAS

**INGENIERO CIVIL DE MINAS DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE,
MÁS DE 40 AÑOS DE EXPERIENCIA EN LA INDUSTRIA MINERA
(COBRE, ORO, PLATA, HIERRO).**

- 2020-2025: Gerente Corporativo de Recursos Mineros AMSA.
- 2016-2020: Asesor Minero Senior Proyectos, Cobre, Oro.
- 2012-2016: Vicepresidente de Proyecto Minera Dominga, liderando EF.
- 2005-2012: Ingeniería y Consultoría en varios proyectos mineros en Chile, Perú, República Dominicana, Ecuador.
- 2003-2004: Gerente de Planificación y Geología Minera Escondida.
- 2000-2002: Codelco - Planificación en Casa Matriz, Gerencias Mina RT, Chuquicamata.
- 1980-1999: Gerente Operaciones Barrick El Indio y Tambo; Gerente Operaciones Andacollo Oro - Dayton; Ingeniero Senior Proyecto Escondida, Ingeniero CMP.



OBJETIVO GENERAL

Comprender y aplicar los fundamentos de la planificación minera para diseñar y evaluar planes de explotación, integrando criterios técnicos, económicos, de seguridad y sostenibilidad, con el fin de apoyar la toma de decisiones estratégicas en las distintas etapas del proyecto minero.

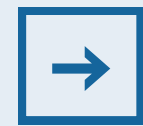


OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comprender los principios y enfoques de la planificación estratégica minera, identificando su rol en la visión de largo plazo de la compañía, su vínculo con los objetivos corporativos y los factores clave que la condicionan (mercado, reservas, sostenibilidad y riesgos).
- Analizar los fundamentos de la planificación de largo plazo, incluyendo la estimación de recursos, diseño conceptual de mina, análisis económico preliminar y modelamiento de escenarios, con énfasis en la toma de decisiones estratégicas.
- Aplicar metodologías y herramientas propias de la planificación de mediano plazo, tales como diseño detallado de fases, secuenciamiento, programación minera y estimación de costos, integrando restricciones operacionales, ambientales y de seguridad.
- Diseñar y evaluar planes de corto plazo y planificación operacional, considerando actividades diarias y semanales, coordinación entre áreas operativas, control de avance, y retroalimentación para la mejora continua del plan minero.



MÓDULO 1



Introducción a la planificación minera. Cadena de valor.



Tipos de explotación minera.



Horizontes de planificación.



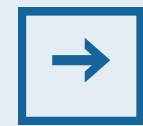
Determinación de capacidad optima de mina.



Tipos de procesos de minerales.



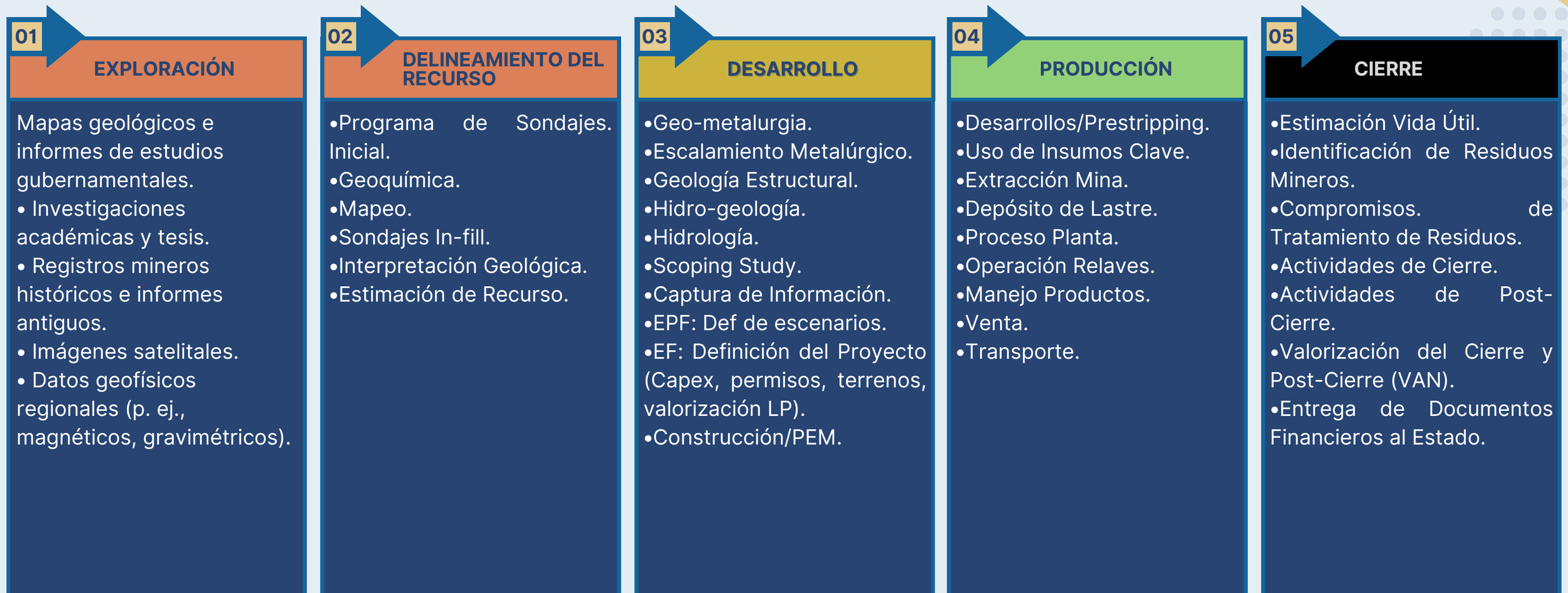
Estudios de pre y factibilidad mineros.



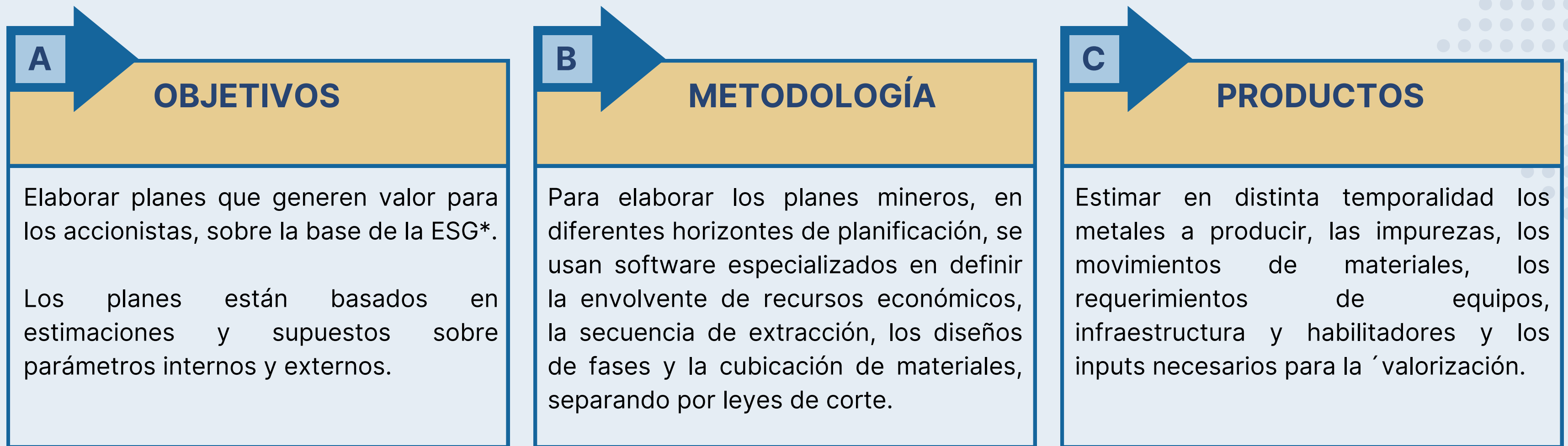
Determinación de capacidad optima de proceso.

1. CADENA DE VALOR EN MINERÍA

La cadena de valor minera es un marco integral que transforma una perspectiva geológica en un producto valioso y, en última instancia, nuevamente en una tierra sostenible.



1. INTRODUCCIÓN A LA PLANIFICACIÓN MINERA



** Las ESG (medioambientales, sociales y de gobernanza) son un marco integral para gestionar los riesgos no financieros que son absolutamente fundamentales para la supervivencia y el éxito de una empresa. Representan un cambio de un modelo puramente extractivo a uno que busca crear valor sostenible para todos los grupos de interés: inversores, comunidades, empleados y el medio ambiente.*

1. INTRODUCCIÓN A LA PLANIFICACIÓN MINERA

01

INPUTS

- a. Caracterización Geociencias: Geología (Litología, mineralización, alteración), Geo-metalurgia, Caracterización geotécnica (geología estructural, hidrogeología, Competencia de las zonas litológicas).
- b. Estimación de Leyes: Las de interés económico e impurezas: OK, Ind K, Sim Cond, ID, Polígonos.
- c. Categorización del recurso: M, I, I (métodos).
- d. Topografía-
- e. Precios de metales, multas por impurezas, transporte, TC/RC.

02

PROCESO

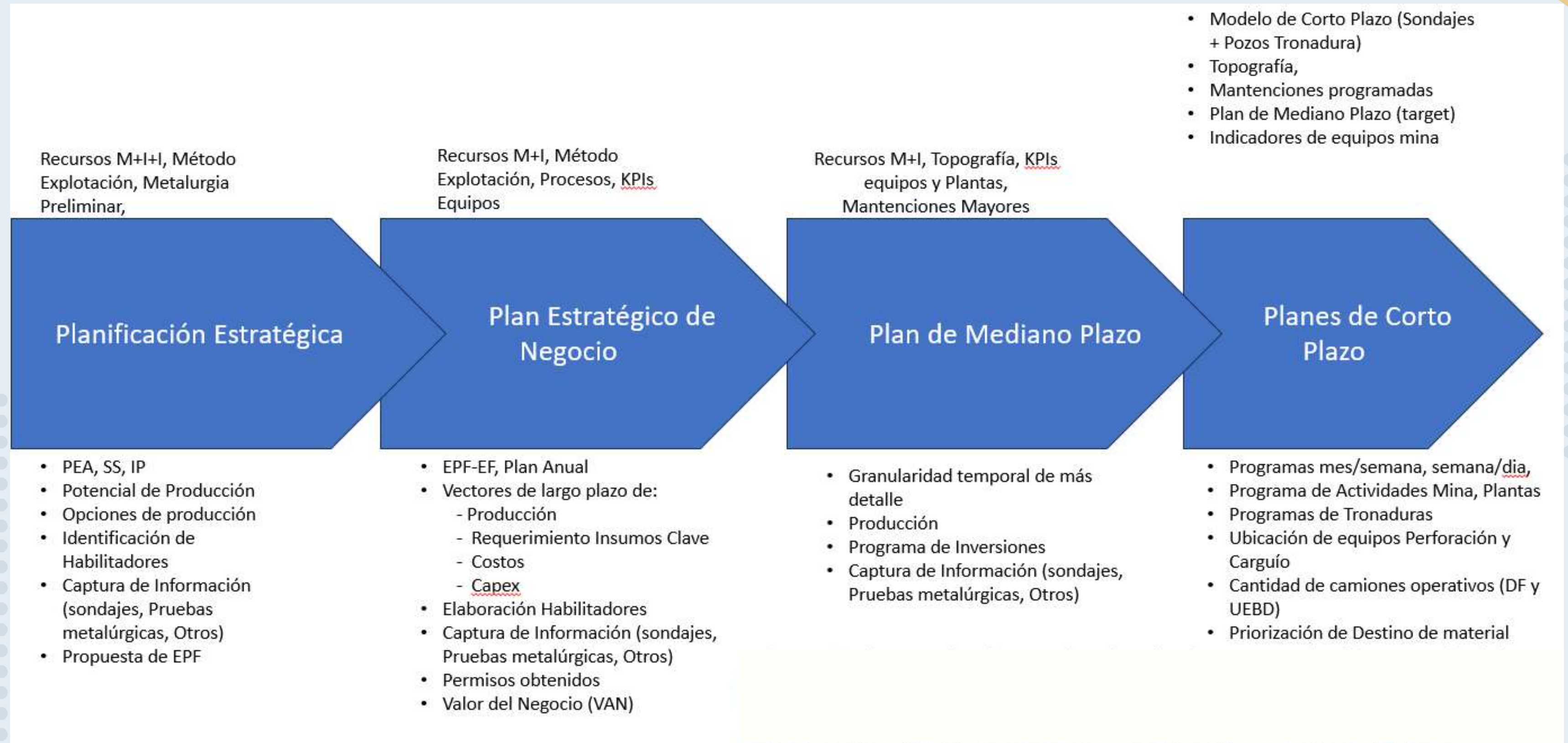
- a) Verificación de información base.
- b) Agregar variables relevantes al Modelo de Bloques (Figura: poner el paralelepípedo del MB de Geología y otro con scripts y recomendaciones).
- c) Cortar por topografía.
- d) Corrida de planes en los softwares comerciales – proceso recursivo.
- e) Análisis de resultados de planes y riesgos.

03

OUTPUTS

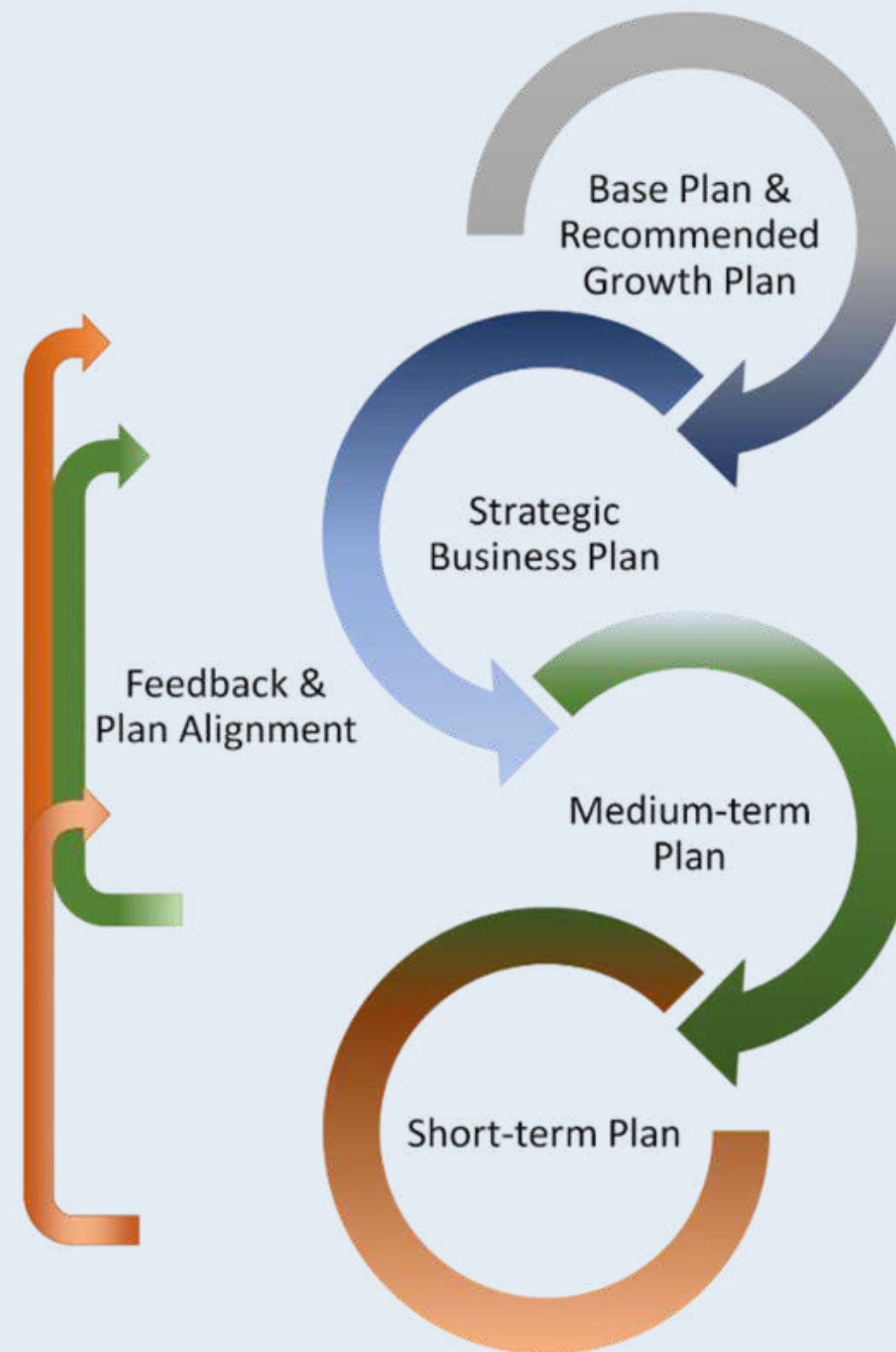
- a) Propone valores para vectores clave de valorización de los planes (t, I, R, IRAs, opex, capex, Ingresos, FdC, Opex, capex.), en función de las propuestas de KPIs asociados al plan (DF, UEBD, Rendimientos (Durezas, variables operacionales), a las tecnologías incorporadas en cada plan, s.a. cumplir los compromisos ambientales, los permisos ambientales y contar con licencia social para desarrollar los planes.
- b) Análisis de Riesgo: En general se usan los mapas de color y las simulaciones de Montecarlo. Ésta última entrega probabilidad de ocurrencia de los valores comprometidos.

HORIZONTES DE PLANIFICACIÓN



MODELO DE LAS ETAPAS DE PLANIFICACIÓN CON INTERACCIONES

Hierarchical Mine Planning Process



Niveles de Estudios de Ingeniería

Item	Scoping Study	Estudio de Prefactibilidad (EPF, PFS)	Estudio de Factibilidad (EF, FS)
Categoría de Recursos	Todos	Mayoritariamente Indicados	Medidos+ Indicados
Categoría de Reservas	No declaradas	Mayoritariamente Probables	Probadas + Probables
Bases de Costo de Operación			
Rango de Precisión	Entre 30 a 50%	Entre 20 a 30%	Entre 10 a 15%
Bases de Estimación de Capex			
Rango de Precisión	Entre 30 a 50%	Entre 20 a 30%	Entre 10 a 15%

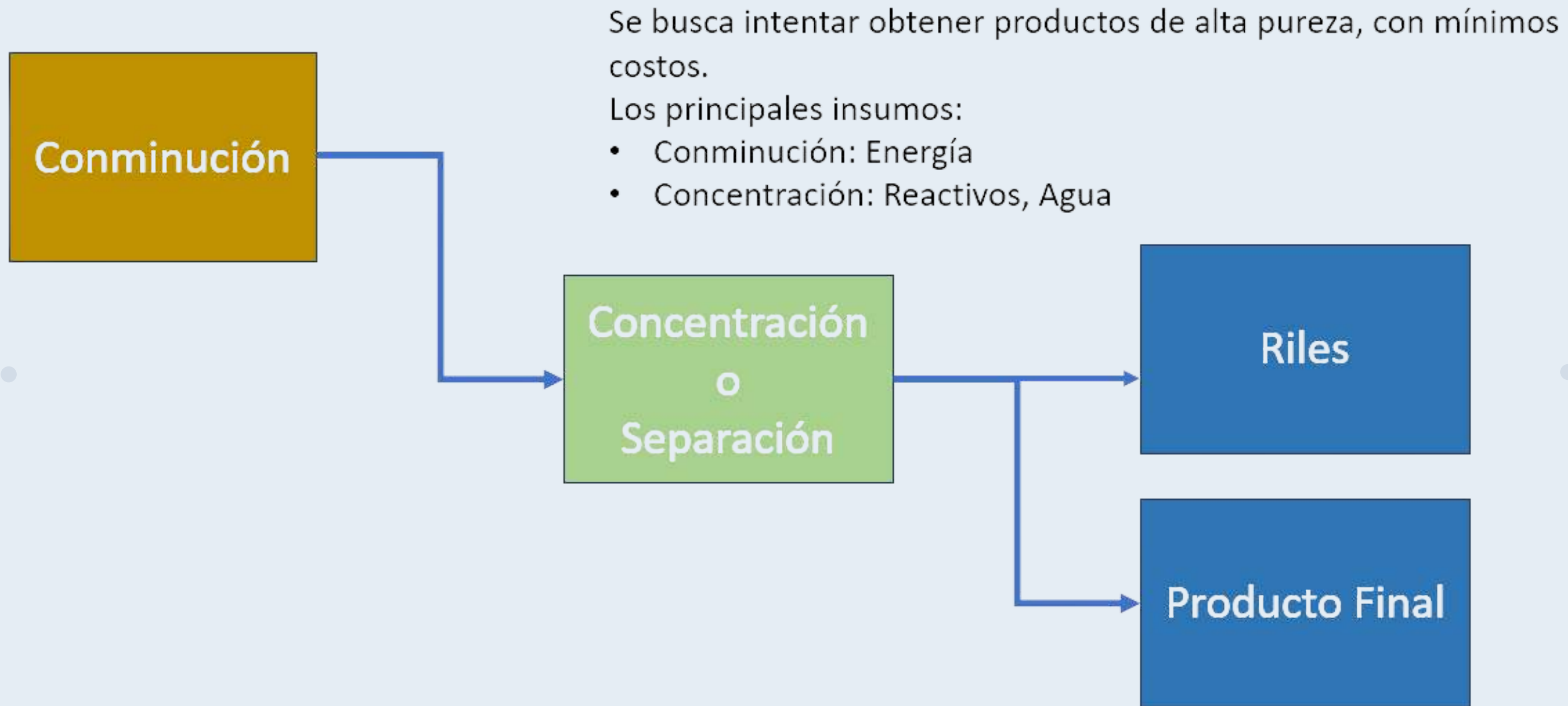


PROCESAMIENTO DE MINERALES

TIPOS DE PROCESOS DE CONCENTRACIÓN

Metal	Estado en yacimiento	Proceso	Producto
Cobre	Oxidos/Mixtos	Lixiviación ROM	Cátodo de Cu
		Lixiviación en pilas estáticas o dinámicas	
Oro	Oro libre/óxidos	Lixiviación en pilas estáticas o dinámicas	Metal Doré
		Lixiviación por Cianuración en Agitadores	
	Oro refractario	Autoclave - Tostación - CIP/CIL	
	Oro en arsenopiritas	Flotación + Tostación + CIP/CIL	
Cobre - Molibdeno	Primarios	Concentración por Flotación (Cu, Mo)	Concentrado Cu 25% a 35% + subproductos
			Concentrado de Molibdeno
Hierro	"Primario" (Magnetita)	Concentración Magnética	Concentrado de Fe >65%, Pellets(Fe 68%)

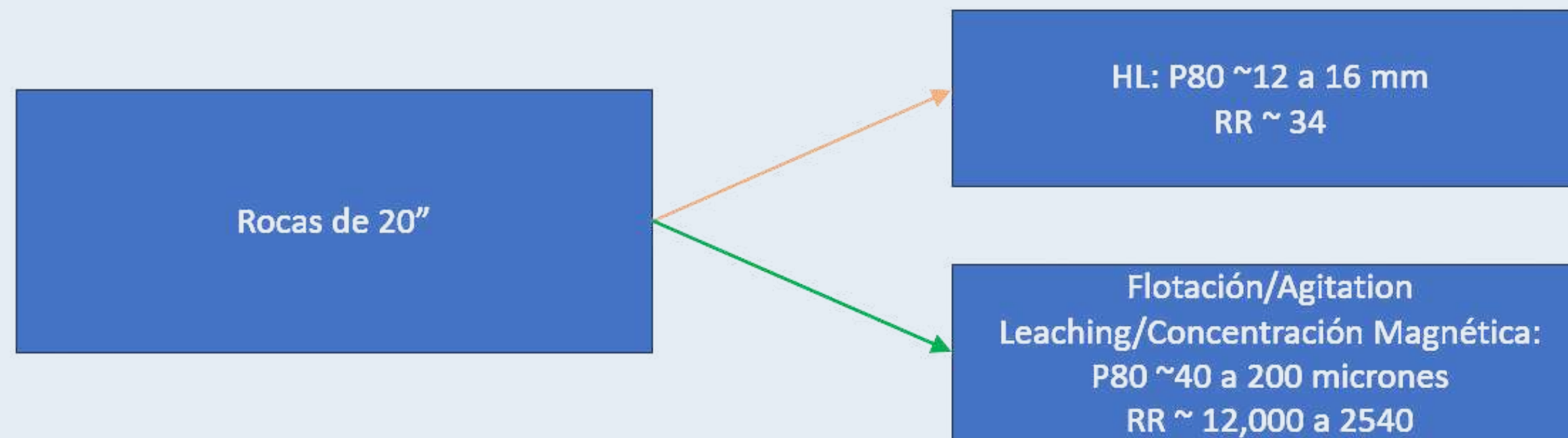
PROCESAMIENTO DE MINERALES



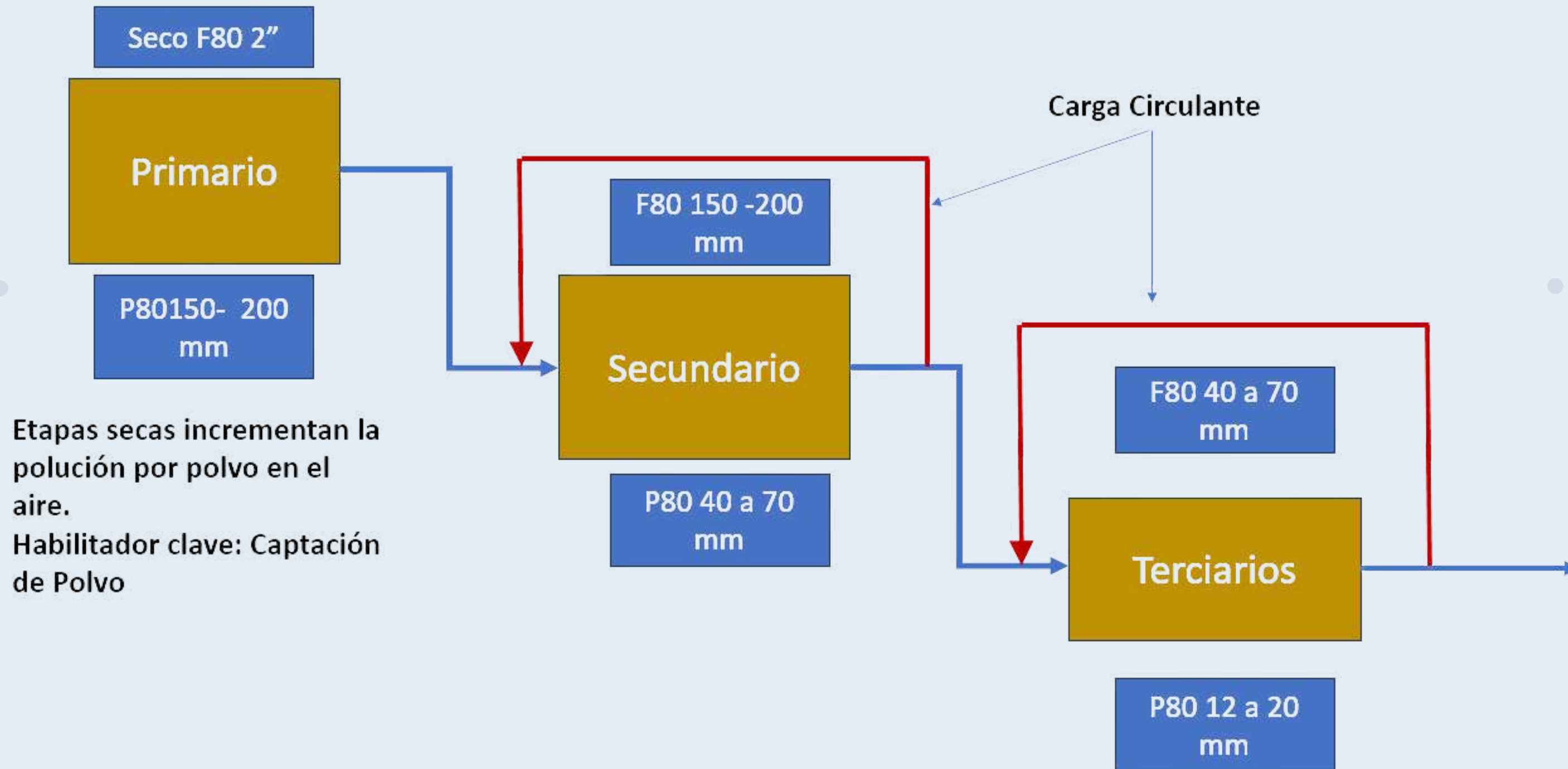
PROCESAMIENTO DE MINERALES: CONMINUCIÓN

La conminución es el proceso de reducción de tamaño de partículas de mineral. El objetivo es reducir el tamaño de las partículas que permita la liberación de la mena desde la roca de mineral, para obtener un producto que genera valor económico.

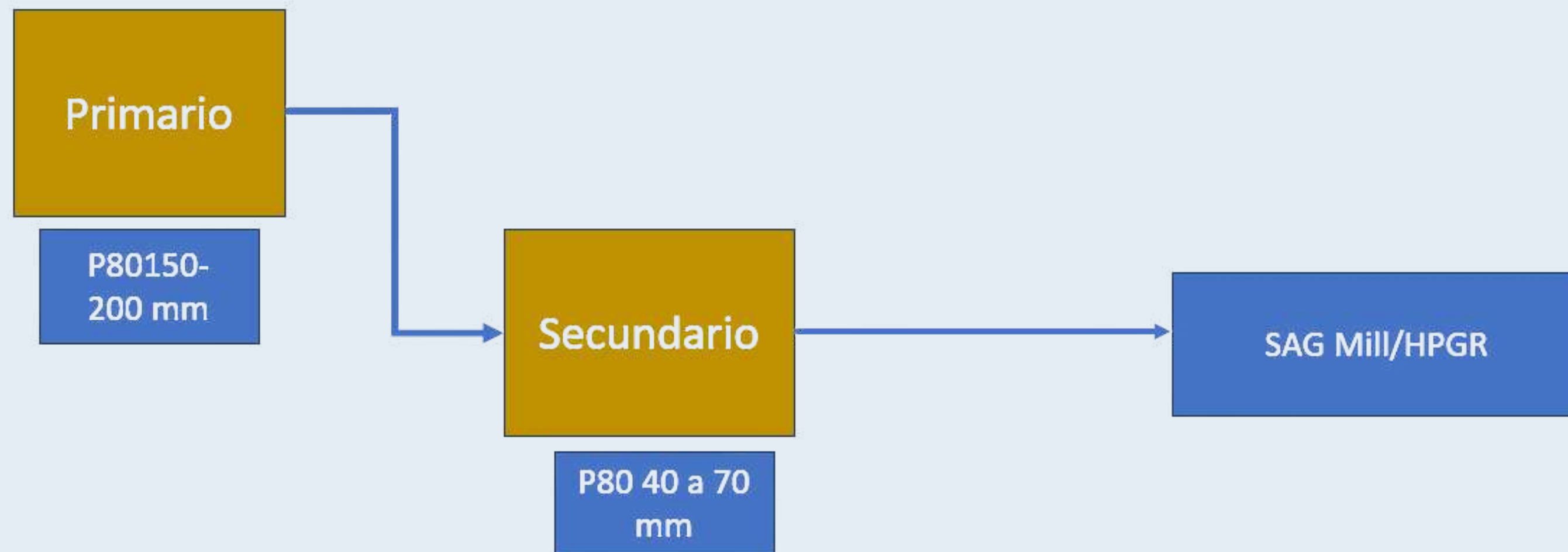
Se utiliza el P80 como tamaño para definir el tamaño en que se obtiene la liberación técnicamente viable y económicamente factible.



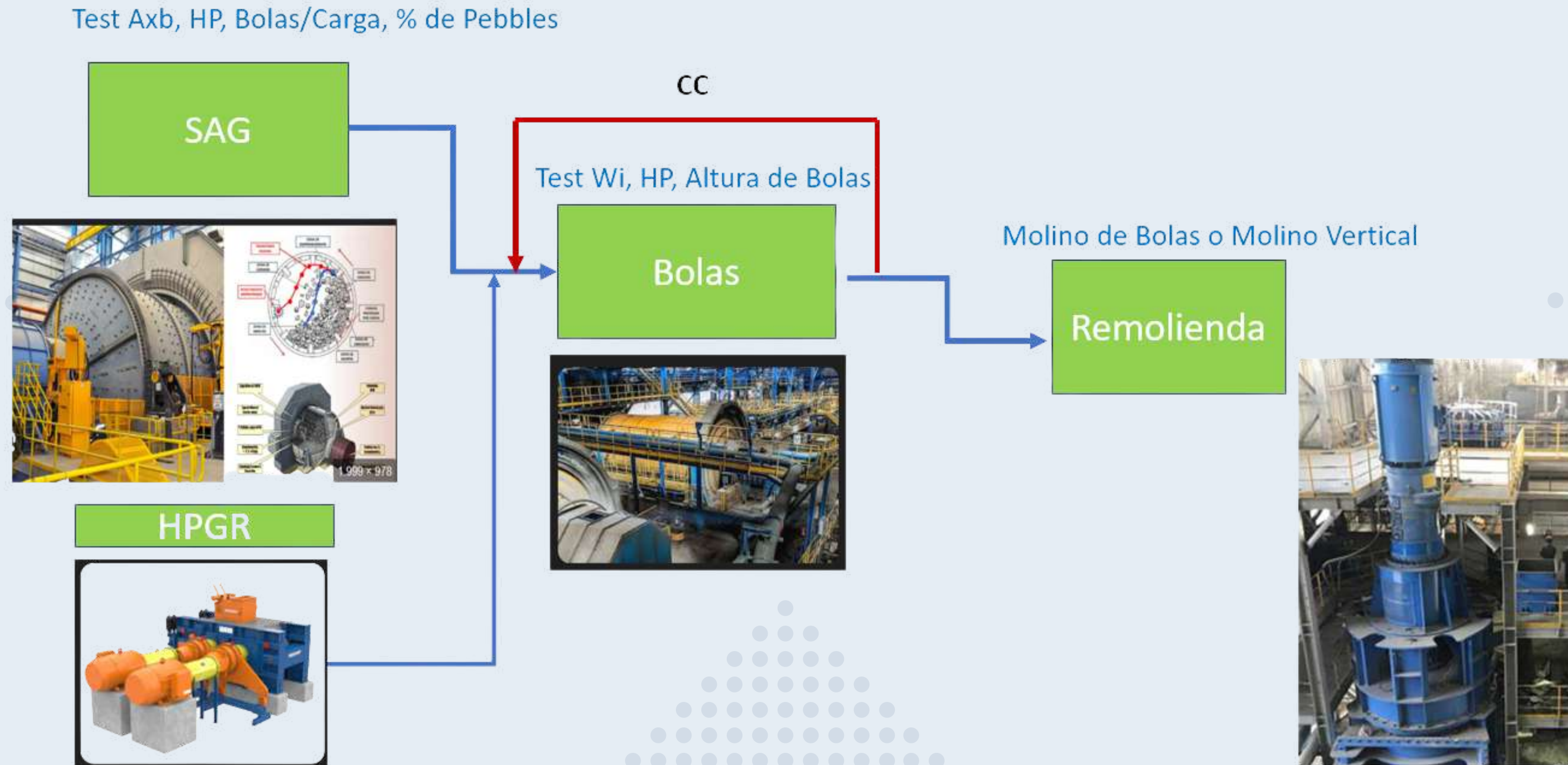
PROCESAMIENTO DE MINERALES: CHANCADO PARA HL



PROCESAMIENTO DE MINERALES: CHANCADO PARA FLOTACIÓN



PROCESAMIENTO DE MINERALES: MOLIENDA



PROCESAMIENTO DE MINERALES: CLASIFICACIÓN Y CARGA CIRCULANTE

Carga Circulante: Mayoritariamente el setting de las diferentes etapas de conminución es insuficiente para alcanzar los tamaños P80 requeridos por el proceso.

Para lograr el **P80**, en los chancadores secundarios, terciarios y molienda, se requiere clasificar el material; el material que alcanza el P80 pasa a la siguiente etapa, el resto del mineral debe ser devuelto al equipo de conminución, es lo que se llama Carga circulante (CC).

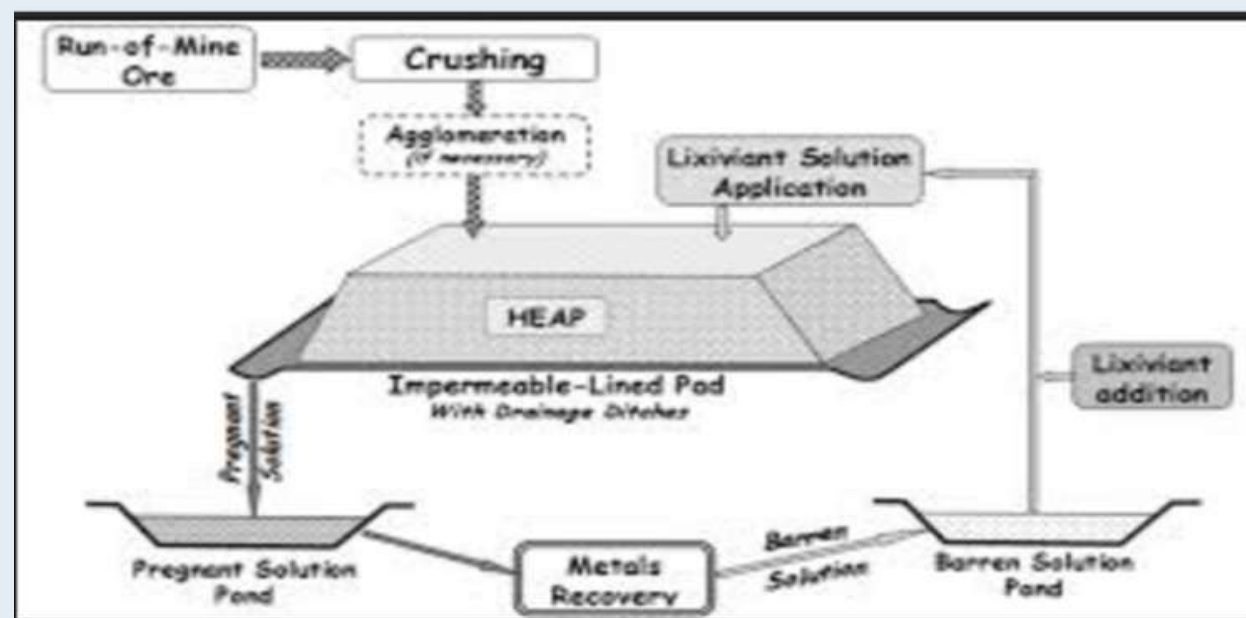
En el caso de los chancadores la clasificación se efectúa con harneros secos.

En molienda se hace mayoritariamente con hidrociclones y en algunas faenas se emplean los harneros (húmedo) Derrick.



PROCESAMIENTO DE MINERALES: CONCENTRACIÓN

1. Lixiviación: En el caso del Cobre, hay dos principales sistemas de lixiviación:
Lixiviación en Pilas (Heap Leach) Dinámicas y Estáticas.



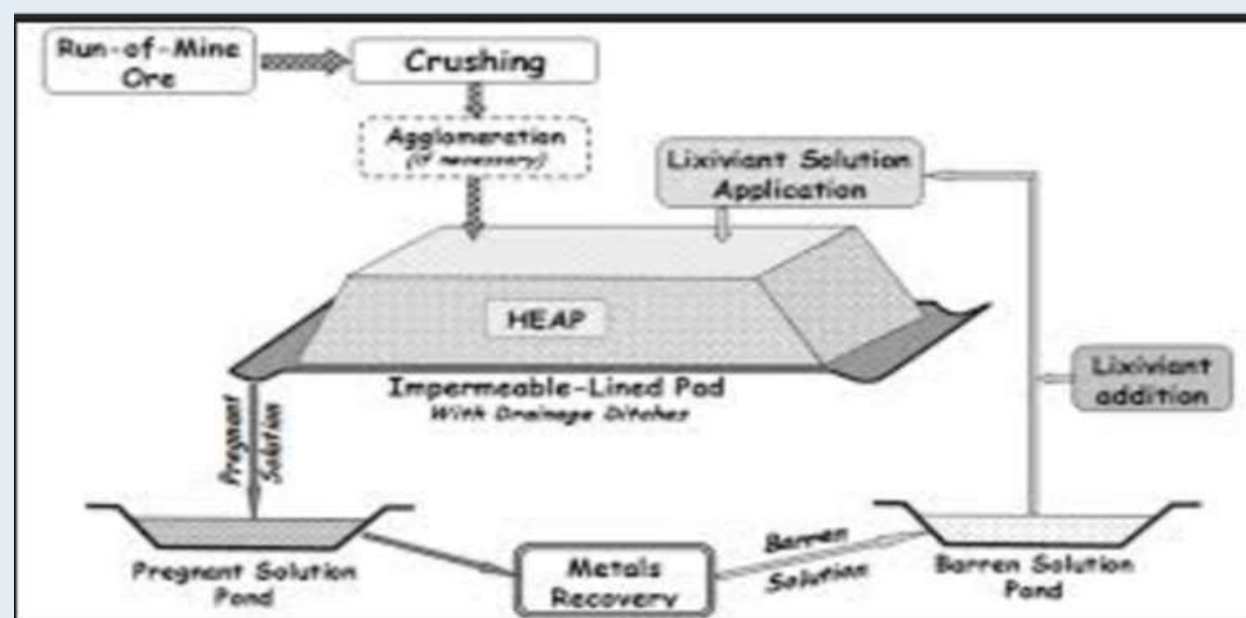
Los minerales oxidados y mixtos, con un tamaño de entre 12 a 16 mm, son apilados por un periodo de entre 50 a 200 días, dependiendo de la cinética de lixiviación. Una vez que se completa el ciclo el material de la pila es llevado a Depósitos de Ripios.

Los minerales de baja ley (oxidados, mixtos y primarios (Cpy)) son apilados como ROM y regados con ácido sulfúrico por un periodo de más de 300 días, dependiendo de la cinética de lixiviación.

Las Cpy son oxidadas por bacterias.

PROCESAMIENTO DE MINERALES: CONCENTRACIÓN

1. Lixiviación: En el caso del Oro también hay dos principales sistemas de lixiviación:
Lixiviación en Pilas (Heap Leach) Dinámicas y Estáticas y Lixiviación por Agitación

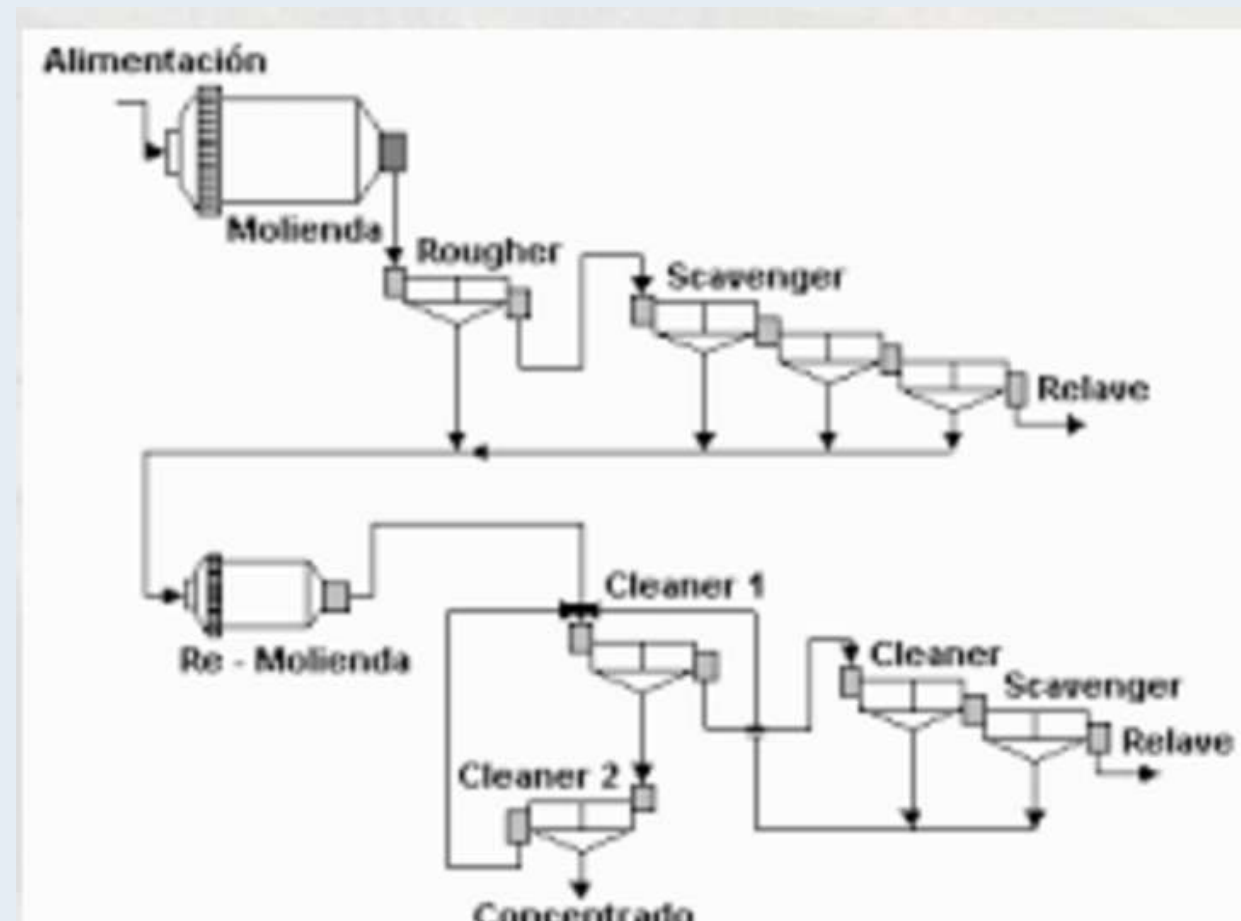


Los minerales de baja ley (oxidados y mixtos), son llevados a un tamaño de entre 12 a 16 mm, son apilados por un periodo de entre 50 a 200 días, dependiendo de la cinética de lixiviación. Una vez que se completa el ciclo el material de la pila es llevado a Depósitos de Ripios.

La lixiviación por agitación es aplicada a mineral muy fino diseminado. Por lo que se requiere de molienda y son llevados a estanques agitadores en pulpa, donde se mezclan con cianuro para separar el oro de la ganga. La solución enriquecida en oro pasa a una etapa de carbón activado, donde se separa del cianuro.

PROCESAMIENTO DE MINERALES: CONCENTRACIÓN

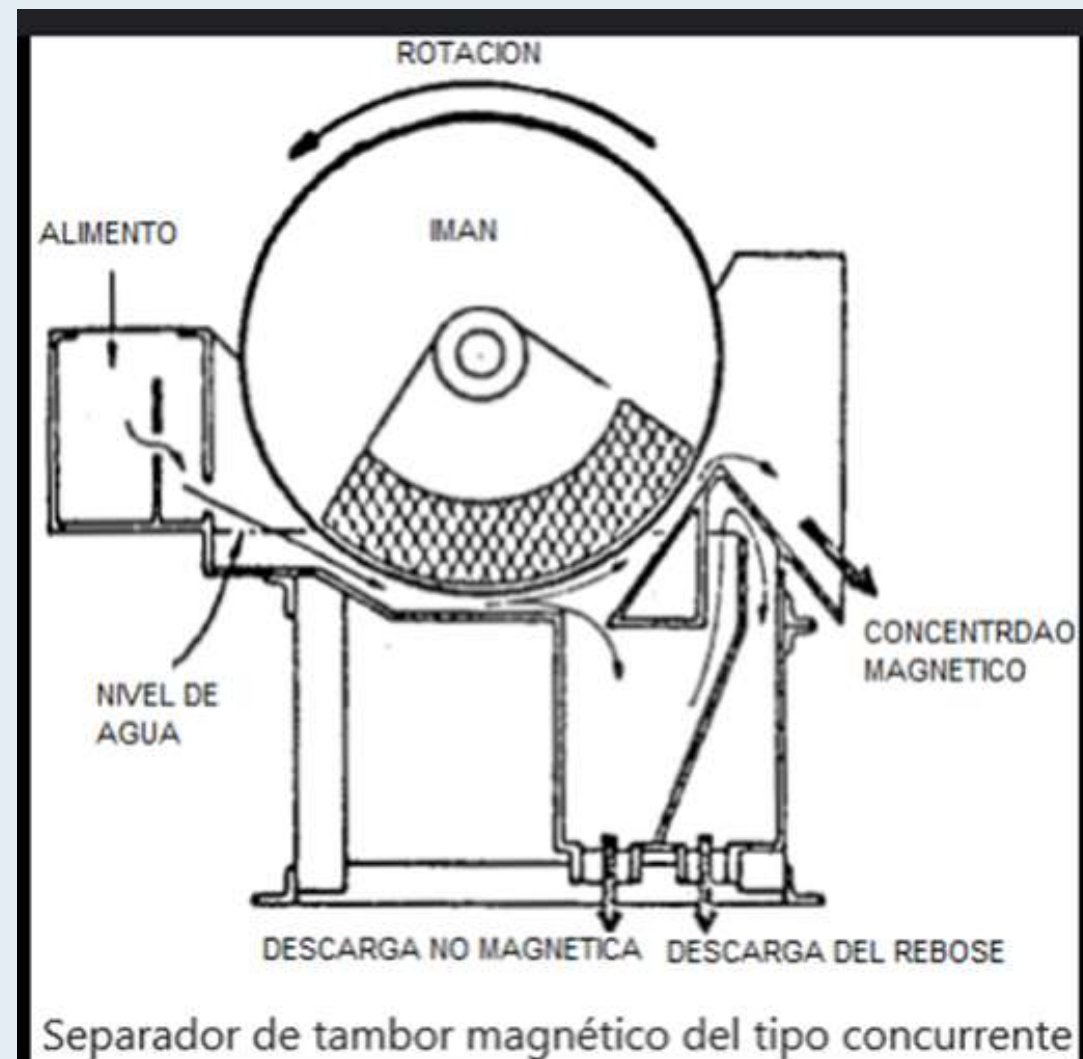
2. Flotación: Se utiliza en minerales de cobre primarios. Consiste en enviar el mineral proveniente de la molienda (con P80 típico de 200 micrones), donde las partículas que contienen cobre son sometidas a burbujas de aire que las levantan hasta sacar una espuma en la superficie de la celda de flotación. Para apoyar la adherencia de la partícula con cobre se usan los colectores y espumantes, los cuales hacen que las partículas se comporten “hidrofobas” adhiriéndose a las burbujas y subiendo a la superficie; por otra parte para que la ganga se vaya al fondo se usan depresantes.



En las minas de pórfidos de Cobre hay sub-productos, tales como Au, Ag y Mo. Los dos primeros son parte del producto concentrado de Cu y el Mo es separado en otra etapa de flotación, en que se depresa el concentrado de Cu.

PROCESAMIENTO DE MINERALES: CONCENTRACIÓN

3. Concentración Magnética: Se utiliza en minerales magnetita. Consiste en enviar el mineral proveniente de la molienda (con P80 entre 40 y 100 micrones) a tambores con imanes en una zona parcial; el tambor al girar captura, con el imán, la magnetita y luego la “suelta” en zona sin imán. El concentrado que va a peletización requiere ser molido a <325# (40 micrones), para generar la superficie específica suficiente para que se forme el Pellet.



En el caso de minerales como la magnetita se usan imanes LIMS (Low intensity magnetic separator) con intensidad <2,000 gauss. Para minerales con bajo o nulo magnetismo se usan imanes HIMS (rango 5,000 a 20,000 Gauss. Hematita (Fe_2O_3), Ilmenita (FeTiO_3), Cromita (FeCr_2O_4).

CAPACIDAD ÓPTIMA PLANTA DE PROCESOS

TIPO DE YACIMIENTO

- **Tonelaje:** Un yacimiento con gran cantidad de recursos puede sustentar un tamaño más grande de Planta de Procesos.

- **Leyes:**

Leyes bajas requieren alta tasa de tratamiento para justificar la inversión.

Leyes altas permiten Plantas más pequeñas, con menor capex.

Dureza y Competencia de la roca: Altas durezas requieren mayor energía para la conminución, con impacto en capex y opex.

Tamaño de equipos de proceso: Para mayores tasas de tratamiento se puede requerir varios equipos, complejizando el layout de la Planta.

- **Capacidad de la Mina:** Para yacimientos masivos la mina no sería una limitante, en cambio para yacimientos pequeños (tipo veta), el ritmo de la mina limita la capacidad de la Planta. La variabilidad espacial de los minerales condicionan la capacidad de la mina y por ende la tasa de tratamiento de la Planta

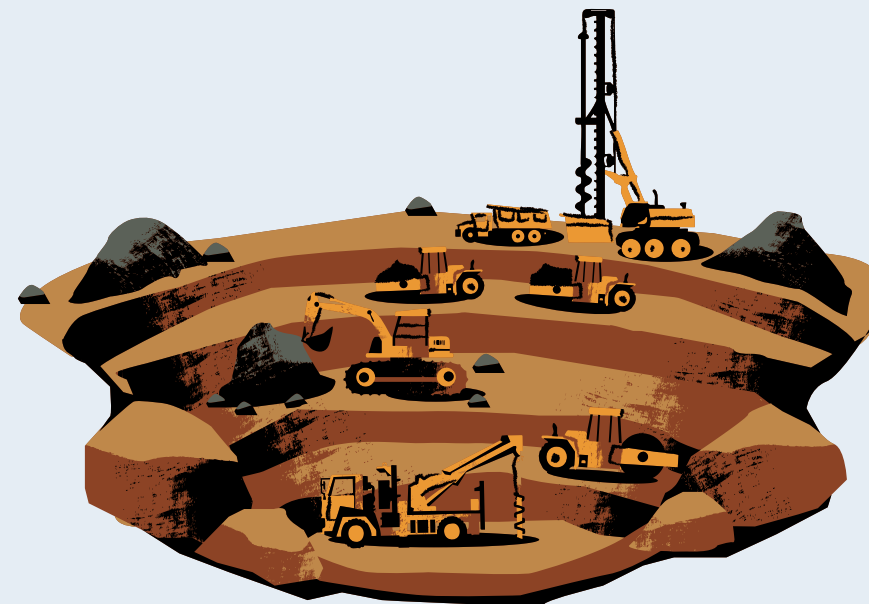
Otros relevantes:

Espaldas financieras para el Capex.

Disponibilidad de territorio.



MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN DE MINERALES



MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN DE MINERALES

Existen dos tipos de métodos masivos:

Cielo Abierto

El mineral se extrae desde la superficie abriendo la mina en bancos.



Minería Subterránea por Block Caving

Método de extracción masivo, que requieren un nivel de hundimiento (a veces con tronaduras) y un nivel de extracción y transporte.



RAJO ABIERTO V/S BLOCK CAVING



La decisión para extraer mineral por uno de estos dos métodos está asociado a la profundidad a la que se encuentre el mineral.

Si bien hay varios factores que conllevan a la elección del método, lo clave es el costo de operación asociado a la extracción del mineral. En ese sentido, la RLM es la que define cuando el costo de mina de rajo abierto se hace superior al costo del block caving.

El rajo abierto requiere (usualmente) menor capex y tiempo de preproducción, está asociado a la cantidad de lastre que se requiere extraer antes de empezar a extraer minerales a la tasa que requiere la planta de proceso.

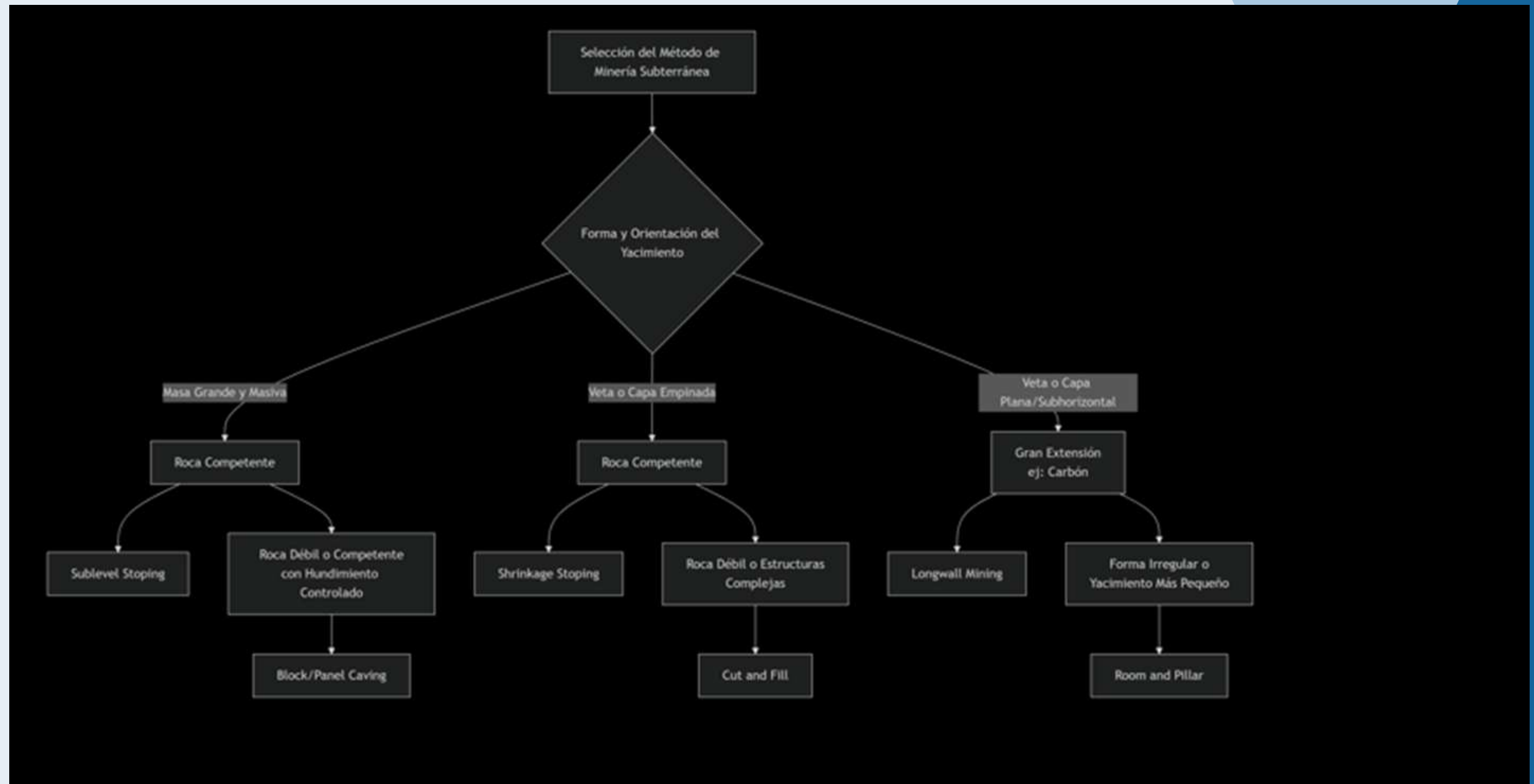
En cambio, el Block Caving requiere de construcción de varios kilómetros de túneles en rampa, galerías (nivel de hundimiento y nivel de extracción y transporte), además de las chimeneas de ventilación y otras excavaciones de servicios, por lo que el tiempo de preproducción puede tomar al menos 7 y hasta 10 años de construcción de la infraestructura mencionada.

EL método rajo abierto permite discernir por ley de corte durante la operación, a diferencia del block caving que extrae la columna de mineral, hasta que la ley hace cerrar un punto de extracción. En el caso del block caving se puede definir envolventes económicas para decidir la geometría del cuerpo a extraer (esto en etapas tempranas de diseño)

MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN DE MINERALES

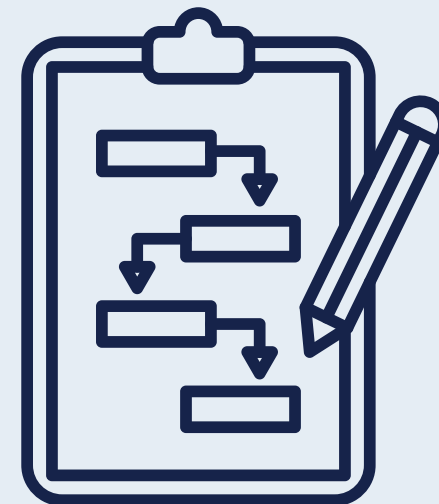
Otros métodos de explotación subterránea:

- 1- Sub level Caving
- 2- Sublevel Stopping
- 3- Cut & Fill
- 4- Room&Pillar
- 5- Shrinkage





PLANIFICACIÓN MINERA



RDP

RDP significa, en inglés: **Resource Development Plan**, es decir es un plan de alto nivel (grueso) que propone guiar la planificación minera. El "plan" o "mapa de ruta" de alto nivel que conecta el modelo de recursos geológicos inicial con la planificación del negocio.

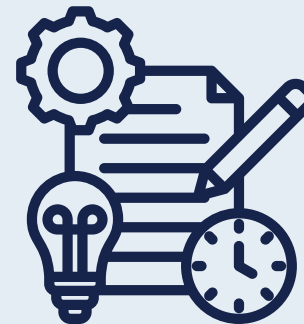
Se efectúan estudios iniciales para verificar que la extracción de los recursos identificados tiene viabilidad económica. Se consideran todos los recursos, sin distinción de categoría y usualmente se usan precio de metales más optimistas.

Las actividades principales son:

- PEA, SS, IP.
- Opciones de producción.
- Captura de Información (sondajes, pruebas metalúrgicas, otros).
- Otras iniciativas quedan en latencia, para verificar su impacto en futuros RDP.
- Potencial de Producción.
- Identificación de Habilitadores.
- Propuesta de EPF para algunos de las rutas de crecimiento.

PLAN ESTRATÉGICO DE CRECIMIENTO - PRODUCTOS

- Cartera de proyectos rankeados.
- Propuesta de Requerimientos de Captura de Información, Disciplinas GEOs, a través del tiempo, en función de los proyectos rankeados.
- Recomendación de Estudios de Prefactibilidad para proyectos más atractivos.
- Listado de requerimientos de fondos para captura de información y Estudios Habilitadores en el tiempo.



PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA

¿Qué hace la industria minera?

Fuente: ppt 20190912 revF



Teck



BHP

Nombre

Proceso

Timing

Activos

Alcance y objetivos

Duración proceso

Organización y estructura

Benchmark ampliado

RDP:
Resources Development Plan

Centralizado -Corporativo

Cada 3 años (mandatory). Se realizan RDP específicos

Cu: 2 operaciones (LB-ES) y 2 proy. (Quellav-LB UG)

- Ejercicio con menos restricciones (salvo glaciares y agua)
- Ranking de oportunidades
- Misma métrica de evaluación y calidad en planes
- Ejercicio simple, in house
- Criterios ranking: rentabilidad y/o menor intensidad de capital

RDP portfolio: 18 meses.
(se espera bajar a 12).
RDP específico: 4-6 meses.

- VP Technical Services (8 pers.) dentro de grupo Technical & Sustainability corporativo (T&S)
- Ejecuta RDP con equipo propio, se coordina con equipo de largo plazo (LOM se hace corporativo)
- Taller inicial con asset
- Asset realiza desde el 5y plan, Budget y corto plazo.

RDP:
Resources Development Plan

Centralizado – VPST en coordinación con Assets.

Cada 3 años para (mandatory). Se realizan RDP específicos

Cu: 2 operaciones (QB-CA) y 1 proy. (QB2)

- Se identifican restricciones al crecimiento, entender potencial
- Mirada integrada, holística
- Misma métrica y calidad de delivery
- Ejercicio simple tiene carácter direccional
- Criterios ranking: rentabilidad

RDP: 4-6 meses.

- Technical Services hace RDP (34 pers.)
- Hace planes largo plazo (LOMO, LOMS, caso negocios, planes proyectos)
- Equipo propio para planes
- Planes RDP pero en coordinación con los assets
- Asset realiza 5y plan, Budget y corto plazo.

PEX:
Plan Exploratorio

Descentralizado – Assets. Coordinación Corporativa

Último PEX global se hizo el 2012. se quiere aumentar la periodicidad.

Cu: 8 operaciones (OP y UG)

- Foco gestión recursos mineros y conversión a reservas (reposición).
- Busca alimentar PND
- Ejercicio con más libertades, pero con criterio estándar

PEX: portfolio: 14 meses.
PEX: específico: 4-6 meses.

- GRMD assets hacen PEX, VP recursos mineros, GRMD corp. (26 personas), consolida análisis, define estándares, funcional P&D co-responsable de planes.
- FQAR proyectos
- Taller conjunto para escenarios.
- Codelco analiza centralizar PEX/PND/CBO (Asset 3y), 600 pers. en P&D.

OA:
Opportunity Assesment

Descentralizado – Assets. Coordinación Corporativa

Cada 3 años (mandatory). Se realizan OA específicos

Cu: 3 operaciones (ESC-Spen-CC)

- Busca opciones que alimenten el LOA
- ejercicios simples
- sin restricciones y mirada fuera de la caja
- Ejercicio tiene carácter direccional

OA: portfolio: 12 meses.
OA: específico: 4-6 meses.

- Asset hace OA pero con governance matricial fuerte coordinado por el grupo de Planning & Technical (48 personas), quien da lineamientos y guías. Es co-responsable
- Se documenta proceso, formal
- Taller inicial escenarios

GRACIAS

