



Proceso Productivo Minero

Módulo 2

Introducción al Trabajo en Minería

COMENZAR

www.centrotecnicominero.com



Objetivos del Módulo



Etapas del Proceso

Comprender las etapas del proceso productivo minero, desde la exploración geológica hasta la exportación del concentrado final.



Operaciones Principales

Identificar las principales operaciones de una mina y cómo interactúan las distintas áreas operacionales en el ciclo productivo.



Recorrido del Mineral

Reconocer el recorrido del mineral desde el yacimiento hasta el producto final, comprendiendo cada etapa de transformación.



¿Qué es un Proceso Productivo Minero?

» Definición

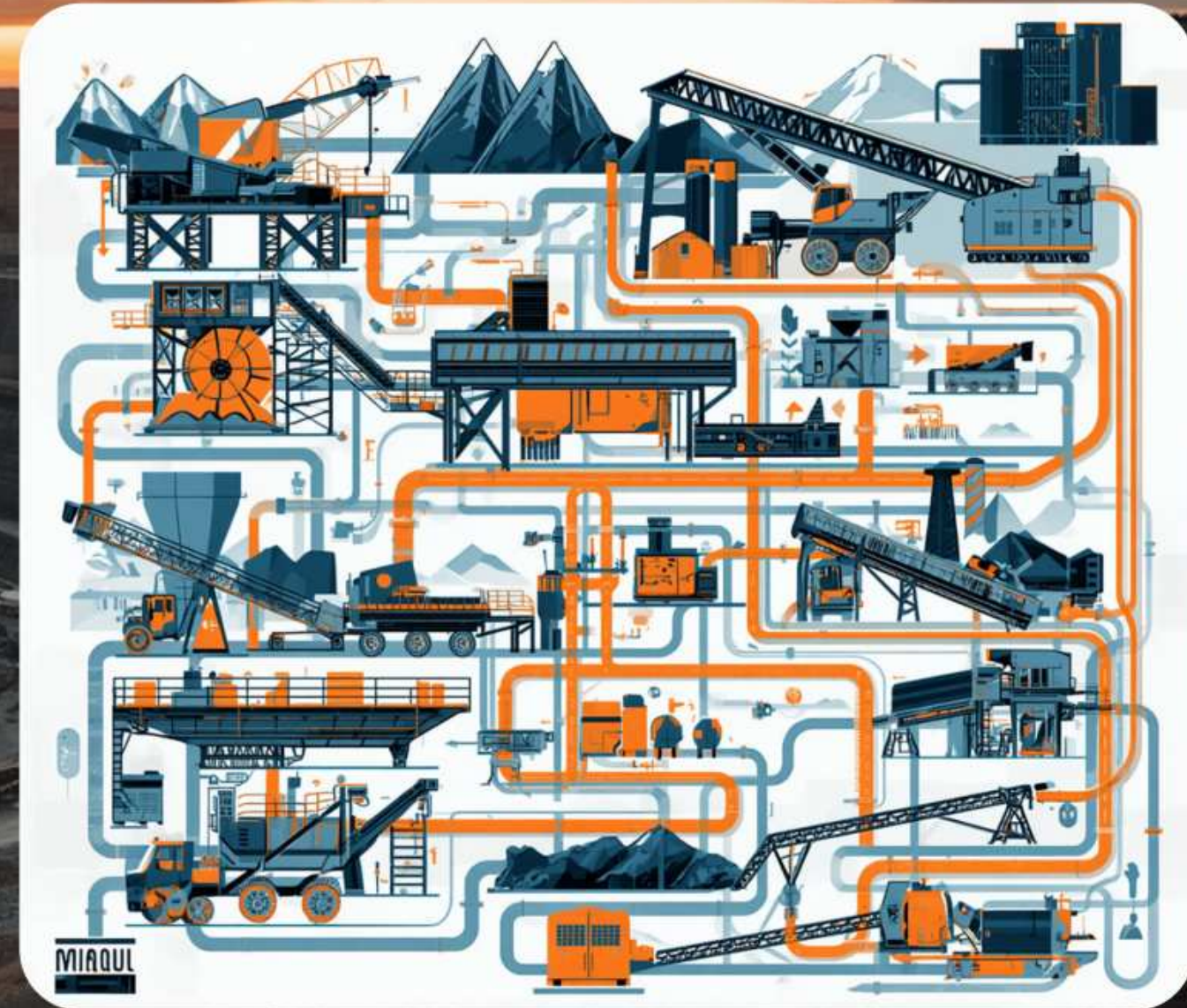
Conjunto de etapas interrelacionadas que permiten extraer, procesar y comercializar minerales desde el yacimiento hasta el producto final exportable.

» Objetivos del Proceso

Maximizar la recuperación del mineral valioso, garantizar la seguridad operacional y optimizar los recursos disponibles en cada etapa productiva.

» Importancia Industrial

Comprender el proceso completo permite a cada trabajador reconocer su rol, contribuir a la eficiencia operativa y cumplir los estándares de seguridad exigidos.





Flujo General del Proceso Productivo



Exploración → Evaluación

Prospección geológica, sondajes y estudios del yacimiento para determinar la viabilidad del proyecto minero.



Extracción → Procesamiento

Perforación, tronadura, carguío, transporte, chancado, molienda, flotación y obtención del concentrado final.





Importancia del Proceso Productivo

Conocer el proceso productivo minero en su totalidad es esencial para todo trabajador del sector. Permite comprender el rol de cada etapa y cómo cada área contribuye al resultado final, mejorando la eficiencia operativa y la seguridad en faena.

Eficiencia Operativa

Alta

Seguridad en Faena

Crítica

Coordinación entre Áreas

Clave

Comprender el proceso completo permite tomar mejores decisiones, reducir errores operacionales y contribuir activamente a una operación minera segura y productiva.



Exploración Minera



Prospección Geológica

Identificación inicial de zonas con potencial minero mediante análisis de superficie, mapeo geológico y estudios de campo.



Exploración Geológica Detallada

Investigación profunda del subsuelo mediante sondajes, muestreo de roca y análisis geoquímicos para definir el yacimiento.



Identificación de Yacimientos

Determinar la ubicación, extensión y calidad del mineral es fundamental para planificar las etapas siguientes del proceso productivo.





Exploración Minera

Las técnicas de exploración minera permiten identificar y caracterizar yacimientos minerales con precisión. A través de perforaciones, muestreo y estudios geológicos, se obtiene información clave para determinar la viabilidad de un proyecto minero y planificar sus etapas de desarrollo.

»» Sondajes de Exploración

Perforaciones diamantinas y rotativas para extraer testigos de roca. Permiten analizar la composición y estructura del yacimiento en profundidad.

»» Muestreo de Minerales

Recolección sistemática de muestras de roca y suelo para análisis químico. Determina la ley del mineral y distribución de elementos valiosos.

»» Estudios Geológicos

Estudios geológicos, geoquímicos y geofísicos que caracterizan el yacimiento. Fundamentales para modelar el depósito mineral con precisión.



Estudios del Yacimiento

Los estudios del yacimiento permiten determinar con precisión la calidad y cantidad del mineral presente. Esta etapa es fundamental para tomar decisiones informadas sobre la viabilidad y planificación de la operación minera. Se emplean herramientas avanzadas de análisis geológico, geoquímico y geofísico para caracterizar completamente el depósito mineral.

Los resultados de estos estudios son la base para la estimación de recursos y reservas minerales, definiendo el futuro de la operación.

Análisis Geoquímico

Alta

Modelamiento Geológico 3D

Clave

Análisis de Laboratorio

Esencial



Evaluación del Yacimiento

Recursos Minerales

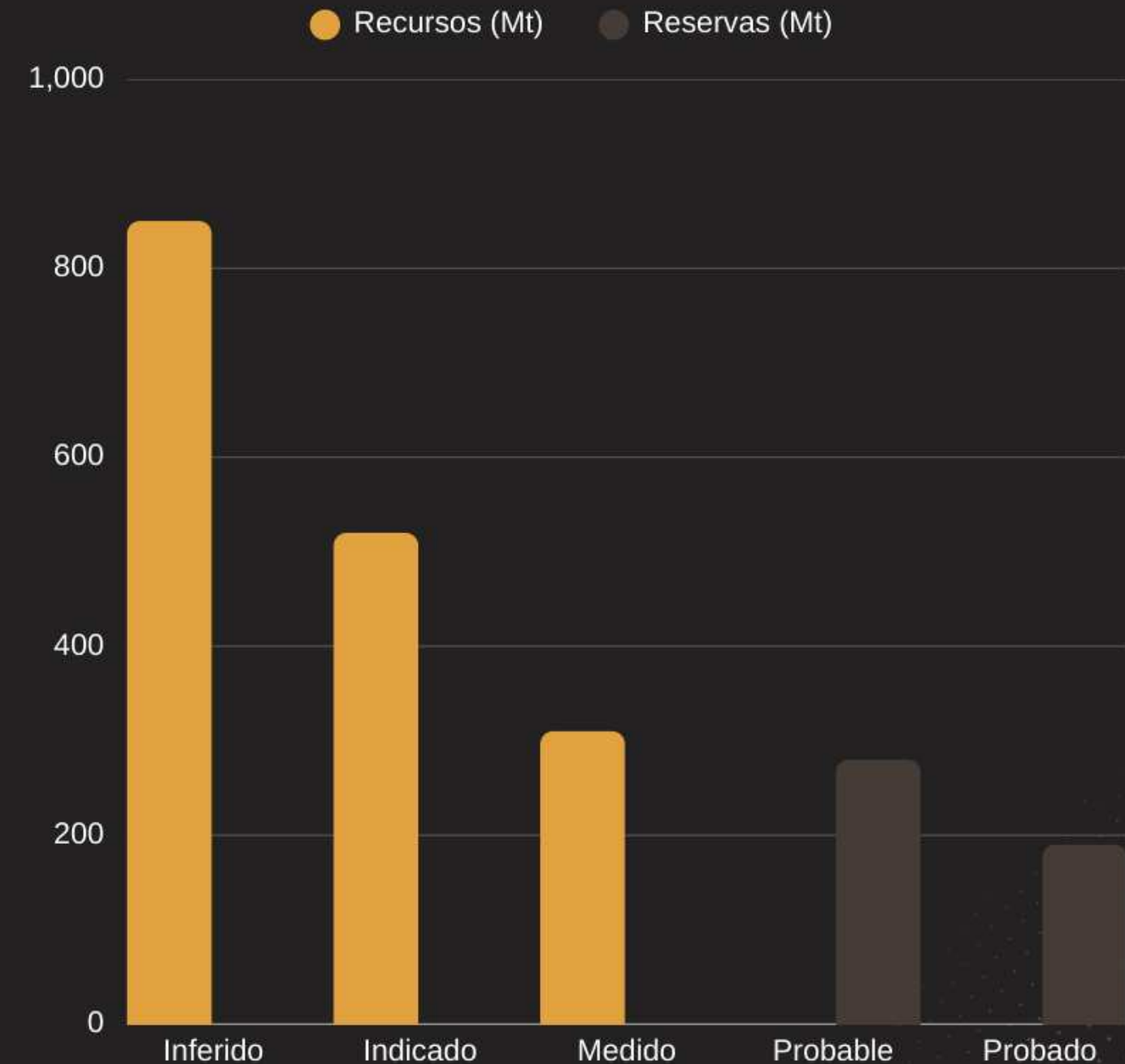
Estimación de recursos inferidos, indicados y medidos según estándares internacionales (JORC, NI 43-101).

Reservas Minerales

Clasificación de reservas probables y probadas a partir de estudios de factibilidad y evaluación técnica.

Planificación Minera

Base fundamental para la toma de decisiones de inversión, diseño de mina y proyección de vida útil del yacimiento.



Fuente: datos generados por IA. Sustituye o comprueba los datos antes de usarlos.



Estudios Económicos

Los estudios económicos y financieros son fundamentales para determinar si un yacimiento minero es viable de explotar. Estos análisis integran costos de inversión, operación y proyecciones de ingresos para evaluar la rentabilidad del proyecto a lo largo de su vida útil.

Retorno sobre la Inversión (ROI)

82%

Viabilidad Económica

74%

Proyección de Rentabilidad

68%

La evaluación de viabilidad económica permite tomar decisiones estratégicas sobre si continuar con el desarrollo del proyecto minero o descartarlo.



Diseño Preliminar de la Mina

»» Diseño Preliminar

Elaboración del diseño conceptual de la mina basado en los resultados de evaluación del yacimiento, definiendo la geometría y método de explotación.

»» Decisiones Estratégicas

Las decisiones de diseño se fundamentan en los estudios económicos y técnicos previos, determinando el método de minería, capacidad de producción y vida útil del proyecto.

»» Planos y Esquemas Técnicos

Desarrollo de planos preliminares, secciones transversales y esquemas operacionales que guiarán la construcción y operación futura de la mina.





Desarrollo de la Mina

» Caminos de Acceso

Construcción de vías de acceso principales y secundarias para el tránsito de maquinaria pesada, camiones CAEX y personal hacia las distintas áreas operativas de la mina.

» Botaderos de Estéril

Habilitación de zonas de disposición de material estéril extraído durante la remoción, con diseño técnico para garantizar estabilidad geotécnica y control ambiental.





Instalaciones Auxiliares

Las instalaciones auxiliares son fundamentales para el funcionamiento continuo de una operación minera. Comprenden los sistemas eléctricos, de energía y comunicaciones que permiten operar con eficiencia, seguridad y continuidad en todas las áreas de la mina.

»» Sistemas Eléctricos

Subestaciones eléctricas, tendido de líneas de alta tensión y distribución de energía a todos los sectores de la operación minera.

»» Energía y Suministro

Generadores de respaldo, sistemas de combustible, abastecimiento continuo de energía para equipos críticos y plantas de proceso.

»» Comunicaciones

Redes de radio, fibra óptica, sistemas SCADA y telecomunicaciones para coordinación operacional en tiempo real.



Campamentos y Servicios

»» Campamentos Mineros

Instalaciones habitacionales para el personal que trabaja en faenas remotas, con dormitorios, comedores y áreas de descanso.

»» Servicios Básicos

Suministro de agua potable, energía eléctrica, saneamiento y comunicaciones para garantizar condiciones de vida adecuadas.

»» Infraestructura para Trabajadores

Instalaciones de salud, recreación, transporte y bienestar que aseguran la calidad de vida del personal en faena.





Infraestructura Completa

La infraestructura operacional de una mina en desarrollo integra todos los sistemas y estructuras necesarios para el funcionamiento eficiente y seguro de las operaciones mineras.

El conjunto incluye caminos de acceso, botaderos de estéril, talleres de mantención, instalaciones eléctricas, sistemas de comunicación, campamentos y servicios para el personal. Esta infraestructura completa permite sostener las operaciones productivas de manera continua, garantizando la seguridad, eficiencia y cumplimiento de los estándares ambientales y operacionales exigidos en la industria minera.





Perforación y Tronadura

»» Objetivos de la Perforación

La perforación tiene como objetivo fragmentar la roca para permitir la extracción eficiente del mineral. Se utilizan perforadoras rotativas para roca blanda y DTH (Down-The-Hole) para roca dura.

»» Tipos de Perforadoras

Las perforadoras rotativas y DTH crean tiros en la roca para la posterior carga de explosivos. La selección del equipo depende de la dureza del macizo rocoso y el diámetro requerido.





Diseño y Técnicas de Perforación y Tronadura

El diseño de mallas de perforación y la selección adecuada de explosivos son fundamentales para optimizar la fragmentación del macizo rocoso. Una tronadura controlada garantiza eficiencia operativa, seguridad del personal y minimiza el impacto en el entorno de la operación minera.

» Mallas de Perforación

Diseño de mallas con parámetros de burden, espaciamiento y profundidad de perforación para optimizar la fragmentación del material rocoso.

» Tipos de Explosivos

Uso de ANFO, emulsiones y explosivos especiales según las características del macizo rocoso, humedad y requerimientos de fragmentación.

» Tronadura Controlada

Esquemas de iniciación secuencial, retardos y amortiguación para controlar vibración, proyección de rocas y efectos sobre infraestructura.



Perforación y Tronadura: Seguridad



»» Medidas de Seguridad

Uso obligatorio de EPP específico: protección auditiva, ocular y chaleco reflectante. Zona de exclusión delimitada antes de cada tronadura. Control de acceso estricto al área.



»» Procedimientos Preventivos

Verificación del área antes y después de la tronadura. Inspección de conexiones y circuitos de detonación. Procedimiento de tiro fallido con espera mínima de 30 minutos.



»» Protocolos

Comunicación radial con todas las áreas operacionales. Señalización acústica y visual de alerta. Registro y reporte de cada evento de tronadura según normativa vigente.



Perforación y Tronadura Proceso Completo

El proceso de perforación y tronadura sigue una secuencia estricta de pasos que garantizan la fragmentación eficiente del macizo rocoso, optimizando la extracción del mineral y asegurando la seguridad operacional en cada etapa.

Diseño de Malla de Perforación

01

Perforación y Carga de Explosivos

02

Detonación y Evaluación

03

Cada etapa del proceso debe ejecutarse bajo protocolos de seguridad certificados, con personal calificado y equipos en óptimas condiciones operativas.



Carguío y Transporte

» Palas Hidráulicas

Las palas hidráulicas y cargadores frontales son los equipos encargados de cargar el mineral fragmentado en los camiones de transporte, operando en frentes de trabajo activos.

» Camiones CAEX

Los camiones CAEX (fuera de carretera) transportan el mineral desde el frente de extracción hasta la planta de chancado, con capacidades que superan las 300 toneladas.





Carguío y Transporte: Operación

»» Coordinación Operacional

La operación de carguío requiere coordinación precisa entre palas, cargadores y camiones CAEX para maximizar la productividad y minimizar tiempos muertos.

»» Ciclo de Carguío

El ciclo incluye posicionamiento del equipo, excavación, carga del camión y retiro del área. Cada ciclo se optimiza para reducir tiempos y aumentar el tonelaje movido por turno.

»» Transporte a Planta de Chancado

Los camiones CAEX transportan el mineral desde el frente de trabajo hasta la planta de chancado primario, siguiendo rutas definidas y controladas por el sistema de despacho.





Carguío y Transporte: Seguridad y Mantenimiento



Seguridad Operacional

Protocolos de seguridad para operación de palas, cargadores y camiones CAEX. Control de distancias, señalización, uso de EPP y comunicación radial permanente entre operadores y supervisores.



Mantenimiento Preventivo

Inspecciones diarias pre-operacionales, lubricación programada, cambio de neumáticos y revisión de sistemas hidráulicos. Reduce fallas y extiende la vida útil de los equipos de carguío y transporte.



Mantenimiento Correctivo

Diagnóstico y reparación de fallas imprevistas en equipos. Incluye intervención mecánica, eléctrica y de sistemas de control para restablecer la operación con el mínimo tiempo de detención.



Carguío y Transporte Resumen

El proceso de carguío y transporte integra palas hidráulicas, cargadores frontales y camiones CAEX en un ciclo coordinado que mueve el mineral desde el frente de trabajo hasta la planta de chancado de forma continua y eficiente.

La coordinación operacional entre equipos de carguío y transporte es fundamental para maximizar la productividad de la mina. El mantenimiento preventivo y correctivo, junto con estrictos protocolos de seguridad, garantizan la continuidad operativa y la integridad del personal. Esta etapa es el motor logístico que conecta la extracción con el procesamiento del mineral.





Chancado Objetivo y Etapas



Chancador Primario

Reducción inicial del mineral: el chancador primario recibe el mineral directamente desde el carguío y lo reduce a fragmentos manejables para las etapas siguientes del proceso.



Chancador Secundario

El chancador secundario y terciario reducen progresivamente el tamaño del mineral hasta alcanzar la granulometría requerida para la etapa de molienda.





Chancado: Equipos y Funciones

Los equipos de chancado son fundamentales para la reducción del tamaño del mineral. Cada etapa utiliza maquinaria especializada que permite procesar grandes volúmenes de roca, reduciendo progresivamente el tamaño de las partículas hasta alcanzar la granulometría requerida para las etapas siguientes del proceso productivo.

» Chancador Primario

Reduce bloques de gran tamaño (hasta 1,5 m) provenientes de la mina. Utiliza chancadores de mandíbula o giratorio. Produce fragmentos de 10–20 cm para continuar el proceso.

» Chancador Secundario

Recibe el material del chancador primario. Usa chancadores de cono o impacto. Reduce el mineral a fragmentos de 3–5 cm con mayor control granulométrico.

» Chancador Terciario

Etapa final de reducción gruesa. Chancadores de cono de alta precisión. Produce partículas de 1–2 cm listas para ingresar al circuito de molienda SAG.



Chancado - Proceso y Control

» Reducción de Tamaño

El mineral proveniente de la mina es sometido a etapas sucesivas de chancado para reducir progresivamente su tamaño hasta alcanzar la granulometría requerida por la planta.

» Control de Flujo

Se regula el flujo de mineral entre los chancadores primario, secundario y terciario mediante sistemas de correas transportadoras, tolvas y sensores de nivel para asegurar continuidad operacional.

» Control de Tamaño de Partículas

Zarandas vibratorias clasifican el mineral por tamaño en cada etapa. El material fuera de especificación retorna al chancador hasta lograr la granulometría óptima para el proceso de molienda.





Chancado Flujo Completo



El flujo completo del mineral en la planta de chancado comprende tres etapas de reducción progresiva de tamaño. Cada etapa reduce el mineral hasta alcanzar el tamaño óptimo requerido para la molienda posterior.

Chancado Primario → Secundario

Etapas 1

Chancado Secundario → Terciario

Etapas 2

Producto Final → Molienda

Etapas 3

El mineral chancado fino es transportado mediante correas hacia la planta de molienda, completando así la etapa de reducción de tamaño.



enda

» Molino SAG

El Molino SAG (Semi-Autógeno) tritura el mineral usando su propio peso junto con bolas de acero. Es el primer paso en la molienda, reduciendo el tamaño del mineral proveniente del chancado terciario.

» Molino de Bolas

El Molino de Bolas reduce aún más el mineral hasta obtener partículas finas. Utiliza bolas de acero que impactan el mineral, preparándolo para la etapa de flotación y liberación del mineral valioso.





Molienda: Clasificación y Tamaño

La clasificación de partículas es una etapa crítica en el proceso de molienda. Permite controlar el tamaño del material procesado para asegurar la liberación óptima del mineral valioso antes de ingresar al circuito de concentración.



Clasificación de Partículas

Uso de hidrociclones y zarandas para separar partículas según tamaño. El material grueso retorna al molino para remolienda continua.



Control de Tamaño

Monitoreo constante del tamaño de partícula (P80). Se ajustan parámetros operacionales para mantener la granulometría objetivo del proceso.



Preparación a Concentración

El producto clasificado con tamaño adecuado se envía al circuito de flotación, garantizando máxima recuperación del mineral valioso.



Molienda - Operación y Mantenimiento



» Funcionamiento de Molinos

El molino SAG y el molino de bolas operan en circuito continuo. El operador controla la velocidad, carga de bolas y flujo de pulpa para optimizar la reducción de tamaño del mineral.



» Mantenimiento de Equipos

Se aplica mantenimiento preventivo y correctivo a revestimientos, piñones y sistemas de lubricación. Las detenciones programadas minimizan fallas y aseguran continuidad operativa.



» Control de Proceso

El control de proceso monitorea granulometría, densidad de pulpa y consumo energético en tiempo real, ajustando parámetros para alcanzar el tamaño objetivo de partícula.



Molienda: Resumen

La molienda es una etapa fundamental del proceso productivo minero. Su objetivo principal es reducir el tamaño de las partículas del mineral para liberar los elementos valiosos y prepararlos para la etapa de concentración.

Los equipos clave son el Molino SAG y el Molino de Bolas, que trabajan en conjunto para lograr la granulometría adecuada. El control de tamaño de partículas y la clasificación continua garantizan la eficiencia del proceso. Un correcto mantenimiento y monitoreo operativo son esenciales para maximizar la recuperación del mineral y minimizar costos operacionales en esta etapa crítica del proceso productivo minero.





Concentración del Mineral: Flotación

»» Proceso de Flotación

El mineral molido se mezcla con agua y reactivos químicos en celdas de flotación, donde el mineral valioso se adhiere a burbujas de aire y sube a la superficie como espuma.

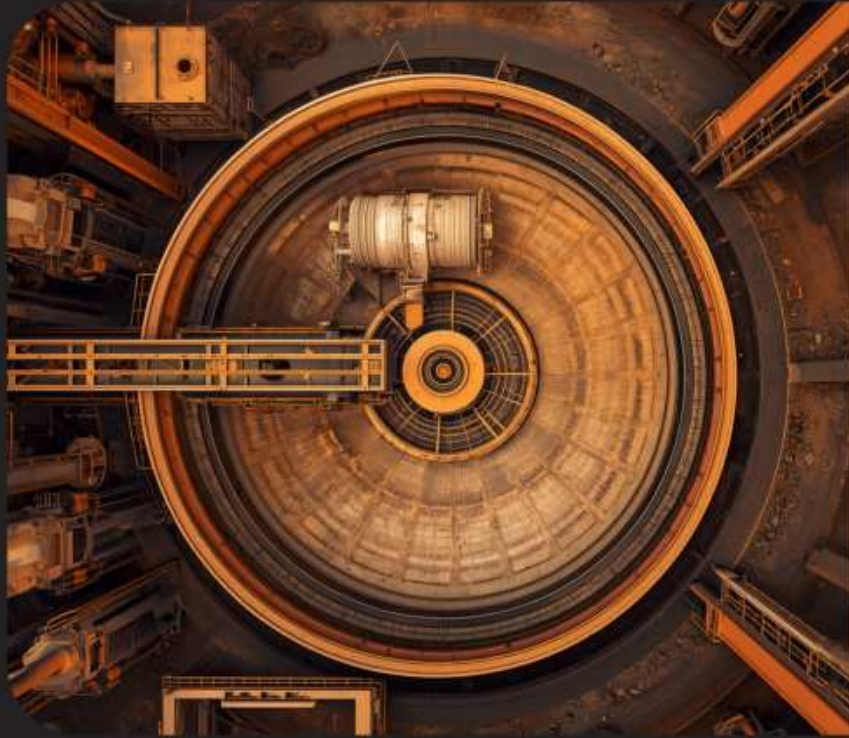
»» Principios Básicos

La flotación se basa en las propiedades hidrofóbicas del mineral: los reactivos colectores recubren las partículas valiosas permitiendo que se adhieran a las burbujas y sean separadas de la ganga.

»» Circuito de Flotación

El circuito incluye celdas rougher, scavenger y cleaner, optimizando la recuperación del mineral valioso y la calidad del concentrado final obtenido.





Espesamiento y Filtrado

El espesamiento y filtrado son etapas críticas en el proceso de concentración. Permiten separar el agua del concentrado mineral, obteniendo un producto final con la humedad adecuada para su transporte y comercialización, maximizando la recuperación de agua en el proceso.

» Espesamiento

El espesador separa el agua del concentrado mediante sedimentación. El rebose de agua es recuperada y recirculada al proceso productivo.

» Filtrado

Los filtros de discos o prensa eliminan la humedad residual del concentrado, logrando el porcentaje de humedad requerido para transporte.

» Concentrado Final

El concentrado filtrado es el producto final listo para ser transportado al puerto y exportado a los mercados internacionales.



Manejo de Relaves

El manejo de relaves es una etapa crítica del proceso productivo minero. Los relaves son los residuos sólidos y líquidos generados tras la extracción del mineral valioso, y su correcta gestión es fundamental para garantizar la seguridad operacional y la protección del entorno natural.

La gestión responsable de relaves minimiza el impacto ambiental y cumple con las normativas ambientales vigentes, asegurando la sostenibilidad de la operación minera.

Depósito de Relaves

45%

Tratamiento de Aguas

80%

Control Ambiental

65%





Concentración del Mineral

Flotación

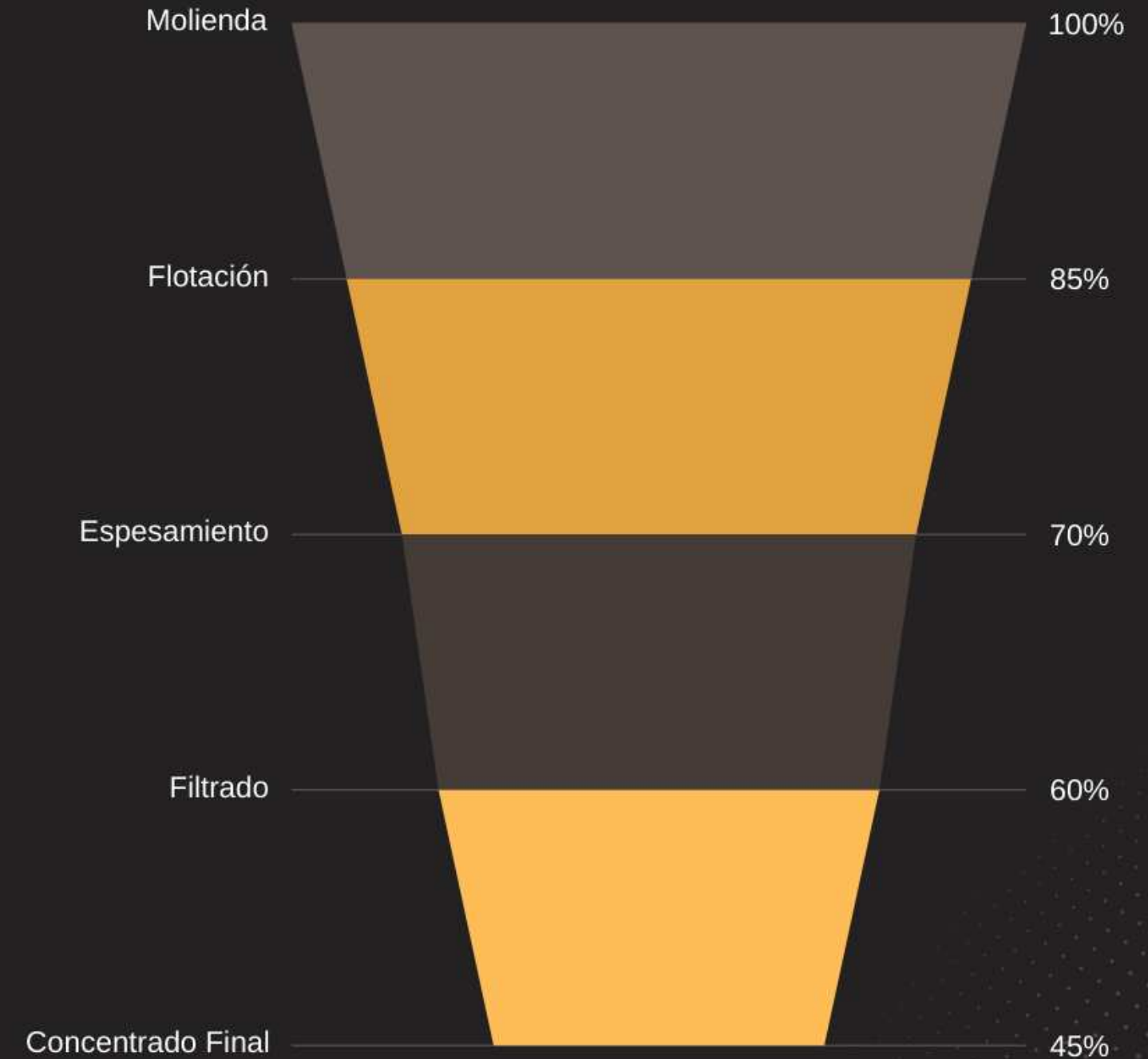
Separación del mineral valioso mediante burbujas de aire. El concentrado flota y es recuperado en la superficie.

Espesamiento y Filtrado

El concentrado es espesado para reducir humedad y luego filtrado para obtener el producto final exportable.

Manejo de Relaves

Los relaves son transportados y depositados en tranques con medidas ambientales para minimizar el impacto.



Fuente: datos generados por IA. Sustituye o comprueba los datos antes de usarlos.



Transporte y Comercialización



Logística de Transporte

El concentrado es transportado desde la mina hacia los puertos mediante ferrocarril y camiones de alto tonelaje, siguiendo rutas logísticas planificadas para garantizar eficiencia y seguridad.



Instalaciones Portuarias

Las instalaciones portuarias especializadas permiten el almacenamiento, manejo y embarque del concentrado mineral hacia los mercados internacionales de exportación.





Exportación y Clientes Internacionales

»» Proceso de Exportación

El concentrado es embarcado en puertos especializados hacia fundiciones y refinerías en Asia, Europa y América. Se gestionan contratos de venta y certificaciones de calidad.

»» Mercados Globales

Los principales mercados son China, Japón, Corea del Sur y Europa. Chile es el mayor exportador mundial de cobre, abasteciendo la demanda industrial global.

»» Clientes Internacionales

Las fundiciones y refinerías internacionales transforman el concentrado en cobre refinado. Los contratos se negocian según calidad, pureza y condiciones de mercado.





Resumen del Proceso Productivo Minero

Exploración y Evaluación

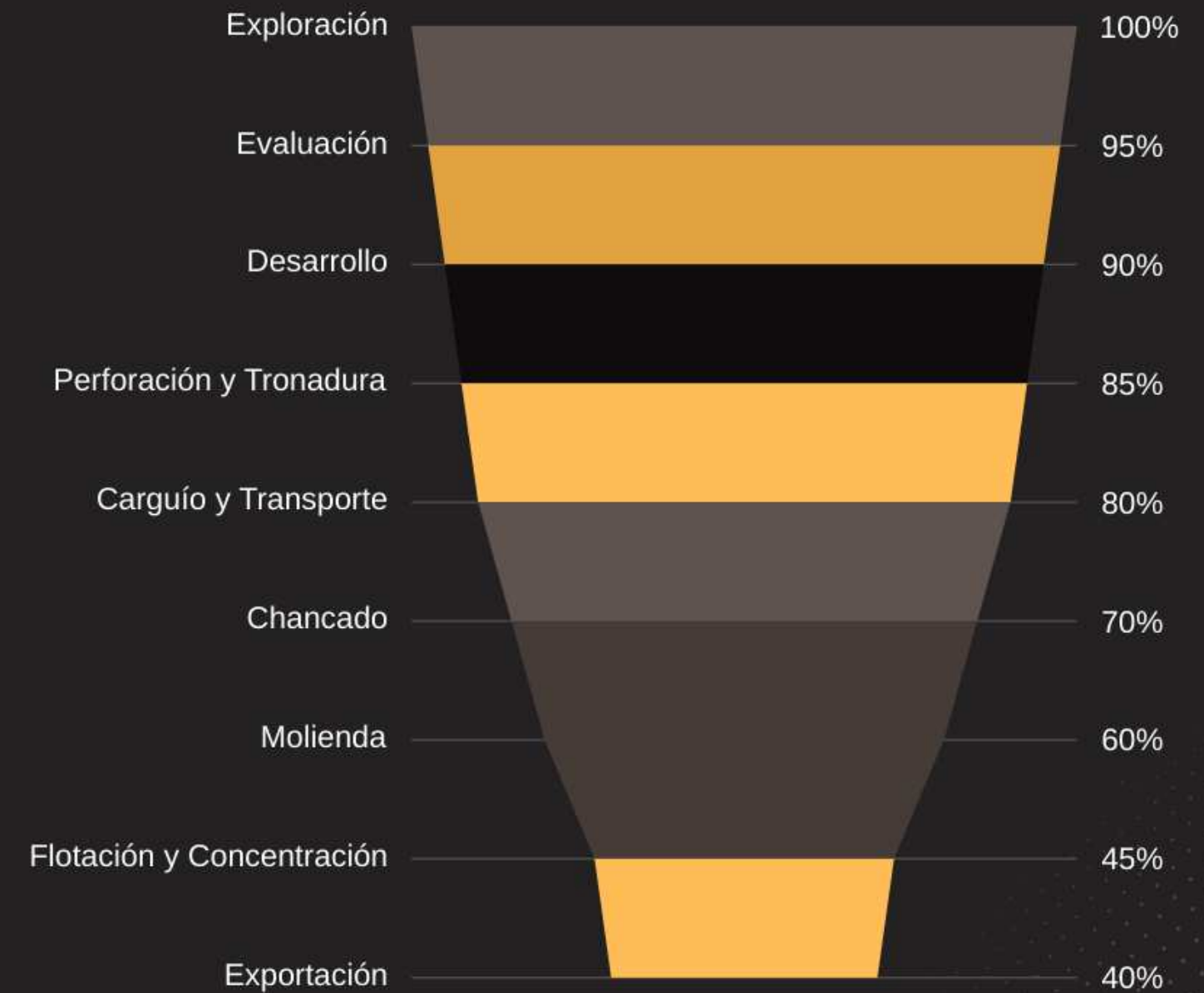
Prospección geológica, estimación de recursos y reservas, estudios de viabilidad económica y diseño preliminar de la mina.

Desarrollo y Extracción

Construcción de infraestructura, perforación, tronadura, carguío y transporte del mineral hacia la planta de procesamiento.

Procesamiento y Exportación

Chancado, molienda, flotación, espesamiento, filtrado, obtención de concentrado final y exportación a mercados internacionales.



Fuente: datos generados por IA. Sustituye o comprueba los datos antes de usarlos.



Conclusiones del Módulo 2



Proceso Integral

Comprender cada etapa del proceso productivo minero —desde la exploración hasta la exportación— es fundamental para operar con seguridad y eficiencia en la industria.



Eficiencia Operativa

El conocimiento del flujo completo permite identificar cómo cada área impacta en la productividad, la calidad del producto final y la seguridad de toda la operación minera.



Desempeño Profesional

El trabajador minero capacitado aporta mayor valor a su equipo, toma mejores decisiones en terreno y contribuye al cumplimiento de los estándares operacionales del sector.



¡Módulo 2 Completado!

En el siguiente módulo conoceremos los principales equipos utilizados en minería, su funcionamiento y la función que cumplen dentro de la operación minera.



Sitio Web

www.centrotecnicominero.com



Contacto

contacto@centrotecnicominero.com