

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Organización industrial

El Cobre y su proceso de extracción en la Faja
Pirítica Ibérica.

Autor: Ana Gallardo Molina
Tutor: Yolanda Luna Galiano

Dpto. Teoría de Ingeniería Química
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019



Trabajo de fin de grado
Grado en Ingeniería de Organización Industrial

El Cobre y su proceso de extracción en la Faja Pirítica Ibérica.

Autor:
Ana Gallardo Molina

Tutor:
Yolanda Luna Galeano
Profesor Asociado

Dpto. de Ingeniería Química
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2019

Proyecto Fin de Carrera: El Cobre y su proceso de extracción en la Faja Pirítica Ibérica.

Autor: Ana Gallardo Molina

Tutor: Yolanda Luna Galeano

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2013

El Secretario del Tribunal

A mi familia
A mis maestros

AGRADECIMIENTOS

A todos aquellos profesores que han compartido su tiempo, sacrificio y sabiduría conmigo. En especial a mi tutora, Yolanda

A todos aquellos compañeros y amigos que me han acompañado durante estos años en la Escuela.

A mi familia, a mi madre y a mi padre por apoyarme siempre. A Eloy por el apoyo diario.

A Cobre las Cruces y mis compañeros por aportarme tanto.

*Ana Gallardo Molina
Alumna del Grado en Ingeniería de Organización Industrial
Sevilla, 2019*

Este Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo principal hacer un estudio sobre el sector de la minería; sector que es considerado muy importante y en el que estoy dando mis primeros pasos en el mundo laboral.

Mi propósito es exponer una comparación sobre los dos métodos distintos de extracción de cobre en las minas de Andalucía, situadas en la Faja Pirítica Ibérica, una concentración de sulfuros masivos que se extiende a lo largo de gran parte del sur de la península ibérica, de Sevilla a Portugal. Un tesoro con 350 años de antigüedad que tiene alrededor de 250 km de largo y de 30 a 50 km de ancho.

Más concretamente, este trabajo se centrará en comparar el proceso productivo de Cobre las Cruces, (en adelante CLC), mina en la que trabajo desde julio de 2018. Mi primer contacto con este tipo de industria ha despertado en mí un gran interés, lo que me ha motivado a hacer este trabajo de fin de grado con el fin de adquirir mayor conocimiento sobre el sector, y más en particular sobre la extracción de cobre, ya que ha sido el proceso que más ha llamado mi atención por dos motivos principales: las diferentes maneras de extracción y la cantidad de usos diferentes que tiene y cómo está presente en nuestro día a día.

Los minerales de cobre del mundo, y por tanto de la Faja Pirítica ocurren generalmente en depósitos de bajo grado (mineral primario) y requieren concentración antes de la fundición (Pirometalurgia). El método y el grado de concentración dependen de la ubicación de la fundición y programas de producción, junto con la naturaleza del yacimiento. Hay algún caso excepcional en los que se consigue mineral secundario cuya ley es en torno a 4 y 7 grados, este mineral de alto grado requiere un proceso de extracción totalmente distinto. (Hidrometalurgia)

Los dos métodos de extracción que se diferencian son Hidrometalurgia y Pirometalurgia. La principal diferencia radica en que con el proceso minero- hidrometalurgico se llega de la mina al metal, lo que llamamos M2M (Mine to Metal), lo que favorece a nuestro país y a la empresa en sí misma, ya que están dando trabajo a un mayor número de personas y produciendo el producto, valga la redundancia, íntegramente aquí.

La hidrometalurgia es posible en este caso porque el mineral que procesamos es secundario. Esta ley tan alta nos permite procesarlo mediante esta vía, ya que es viable técnico y económicamente. En el caso del mineral primario, del que están constituidas las demás minas de la FPI, solo se encargan de la extracción y posterior proceso de concentración del metal para después venderlo en forma de concentrado a empresas externas donde terminan de procesarlo y a continuación lo funden, obteniendo un producto final (Pirometalurgia).

El resurgimiento de la minería andaluza al calor del auge generalizado de los metales en los mercados mundiales está generando grandes oportunidades económicas y de empleo en diferentes poblaciones de Sevilla y Huelva. Y más que va a generar, auguran los expertos. Hasta 20 nuevos permisos de investigación en otras tantas minas dormidas de la Faja Pirítica onubense está tramitando actualmente la Junta de Andalucía. Sin embargo, la larguísima resolución de los expedientes paraliza cuantiosas inversiones y acaba por disuadir a empresas interesadas, según se puso de manifiesto en una jornada técnica sobre la minería de la Faja Pirítica que se ha celebrado en Sevilla, en la que participaron compañías mineras, profesionales del sector y representantes de las administraciones.

Abrir una mina cuesta entre 180 y 200 millones de euros y años —y hasta décadas— de tramitación en Andalucía. La explotación de Cobre Las Cruces (CLC) comenzó 18 años después de que se solicitara el primer permiso de prospección. Esta mina sevillana, que da el cobre de mayor pureza que existe en el mundo, y la de Aguas Teñidas en Huelva, son las dos grandes explotaciones ya activas. La inversión en ambos proyectos supera los mil millones de euros en investigación y sondeos, trabajos previos a la reapertura y plantas de tratamiento de mineral. Las empresas, que han dado empleo a más de 1.600 trabajadores, han contado, no obstante, con importantes ayudas de la administración autonómica.

[1]

OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo principal de este trabajo es realizar una investigación sobre la minería en Andalucía, a través del análisis del plan minero de producción de dos minas a cielo abierto con dos procesos totalmente distintos de extracción.

El trabajo realizado se enmarca dentro de los siguientes alcances:

Introducción a los proyectos mineros, describiendo las características especiales de estos y explicando el estudio de viabilidad, y los posibles riesgos que un proyecto minero presenta.

El cobre y sus distintos usos, sus beneficios para la salud, el cobre naturaleza y cobre en el mundo.

Introducción a la minería, y a los procesos de obtención de cobre, desarrollando los dos diferentes métodos de obtención de metales según la ley del mineral, Pirorefinación e Hidrometalurgia.

Breve resumen del proceso más innovador del mundo de extracción de metales, PMR.

Por último, os explicaré mi trabajo desempeñado en la mina Cobre las Cruces acompañado de imágenes con mis compañeros en mina y planta.

| | |
|--|-----------|
| Agradecimientos | 6 |
| Resumen | 7 |
| Contexto | 9 |
| Objetivos y alcance | 10 |
| 1. Proyectos mineros | 13 |
| 1.1. <i>Introducción la minería y características especiales de los proyectos mineros.</i> | 13 |
| 1.1.1. Introducción. | 13 |
| 1.1.2. Características especiales de los proyectos mineros. | 14 |
| 1.2. <i>Estudio de viabilidad en el desarrollo de un proyecto minero.</i> | 18 |
| 1.2.1. Introducción | 18 |
| 1.2.2. Elementos de estudio | 21 |
| 1.2.3. Fases de desarrollo de un proyecto minero | 23 |
| 1.2.4. Estudios de viabilidad económica y de evaluación minera | 27 |
| 1.3. <i>Riesgos en los proyectos mineros</i> | 30 |
| 2. La Faja Pirítica Ibérica | 33 |
| 2.1. <i>Introducción.</i> | 33 |
| 2.2. <i>Historia geológica de la Faja Pirítica</i> | 35 |
| 2.3. <i>El problema del Drenaje Ácido</i> | 38 |
| 3. El Cobre | 40 |
| 3.1. <i>Introducción.</i> | 40 |
| 3.2. <i>Usos.</i> | 41 |
| 3.3. <i>El cobre y salud.</i> | 44 |
| 3.4. <i>El cobre naturaleza.</i> | 45 |
| 3.5. <i>Propiedades químicas.</i> | 46 |
| 3.6. <i>El cobre en el medio ambiente.</i> | 47 |
| 3.7. <i>El Cobre en el mundo.</i> | 48 |
| 4. Proceso de extracción y Trituración del Cobre. | 51 |
| 4.1. <i>Introducción.</i> | 51 |
| 4.2. <i>Extracción y transporte a planta</i> | 52 |
| 4.3. <i>Trituración</i> | 53 |
| 4.4. <i>Molienda</i> | 55 |
| 5. Procesos de producción del cobre | 57 |
| 5.1. <i>Pirometalurgia (concentrados).</i> | 57 |
| 5.1.1. Flotación. | 57 |
| 5.1.2. Fundición | 61 |
| 5.1.3. Esquema resumen del proceso. | 62 |
| 5.2. <i>Hidrometalurgia (cátodos)</i> | 63 |
| 5.2.1. Introducción | 63 |
| 5.2.2. Lixiviación | 63 |
| 5.2.3. Pre-neutralización: | 65 |
| 5.2.4. Extracción por solventes | 66 |
| 5.2.5. Neutralización. | 67 |
| 5.3. <i>Embarque</i> | 70 |
| 5.4. <i>Esquema resumen del proceso</i> | 71 |
| 5.5. <i>Contaminación de la minería de cobre</i> | 71 |
| 5.5.1. Cobre en el suelo | 71 |
| 5.5.2. La dispersión de metales en el suelo | 73 |
| 6. La técnica más innovadora del sector minero: Poly Metallurgical Refinery, PMR. | 74 |
| 6.1. <i>Definición</i> | 74 |
| 6.2. <i>Proceso de Producción</i> | 75 |
| 6.2.1. Acopio, trituración y molienda del mineral. | 75 |
| 6.2.2. Flotación global del mineral polimetálico. | 76 |

| | |
|--|-----------|
| 6.2.3. Lixiviación vía férrica (Primaria) | 76 |
| 6.2.4. Extracción por solventes de Cobre | 76 |
| 6.2.5. Electro-obtención de Cobre | 77 |
| 6.2.6. Acondicionamiento de hierro | 78 |
| 6.2.7. Extracción por solventes de Cinc | 78 |
| 6.2.8. Electro-obtención de Cinc. Fundición y moldeo | 79 |
| 6.2.9. Lixiviación vía cloruro | 79 |
| 6.2.10. Cementación | 80 |
| 6.3. <i>Situación actual</i> | 81 |
| 7. Mi experiencia en clc | 82 |
| Glosario de términos mineros. | 86 |
| Bibliografía | 91 |
| <i>BIBLIOGRAFÍA DE IMAGENES.</i> | 91 |
| <i>BIBLIOGRAFÍA DE TEXTOS.</i> | 92 |

1.

PROYECTOS MINEROS

1.1. Introducción la minería y características especiales de los proyectos mineros.

1.1.1. Introducción.

Extracción del mineral del suelo.

La minería es una de las actividades más antiguas de la humanidad. Es una actividad económica del sector primario representada por la explotación o extracción de los minerales que se han acumulado en el suelo y subsuelo en forma de yacimientos. El conjunto de individuos que se dedican a esta actividad o el conjunto de minas de una nación o región también son considerados minería.

Según el artículo 1º de la Ley de fomento de la minería, la cual “tiene por objeto promover y desarrollar, dentro y fuera del territorio nacional, la exploración investigación, explotación y beneficios mineros, con el fin de procurar el abastecimiento de materias primas minerales a la industria española “.

Los minerales a explotar pueden ser de tres tipos: **Metálicos, no metálicos y energéticos.**

Los minerales metálicos: Incluye todos los minerales de los que se extraen metales, tales como el hierro, plomo, cobre, oro, plata, cromo, mercurio, aluminio entre otros. Los cuales son empleados hoy en día como materias primas básicas para la fabricación de toda clase de productos industriales.

Los minerales no metálicos: Incluyen a las rocas y minerales en las que el propio mineral o roca o un compuesto derivado de él tiene una utilidad o una aplicación industrial (áridos, rocas ornamentales, minerales refractarios, abrasivos, absorbentes, lubricantes, entre muchos otros) como granizo, mármol, arena, arcilla, sal, mica, cuarzo, esmeralda zafiro, etc. son usados como materiales de construcción y materia prima de joyería, entre otros usos.

Y los de mayor significación de la actualidad son **los minerales energéticos o combustibles** empleados generalmente para generar energía, petróleo gas natural, carbón o hulla. Incluye a los combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas e hidrocarburos naturales), y los minerales de torio y uranio que se emplean como fuente combustible para los reactores nucleares.

Aunque en este trabajo de fin de grado nos vamos a focalizar en el cobre, y en su extracción y recuperación.

[4]

1.1.2. Características especiales de los proyectos mineros.

La minería desde el punto de vista económico tiene unas características especiales comparadas con otros sectores y que le configuran en el ambiente económico con una problemática de valoración única.

Se puede destacar:

Agotamiento de los recursos: El agotamiento de los recursos es sin duda alguna el factor que más diferencia la industria minera de otras actividades, ya que los recursos con que se trabaja no son renovables. En términos de necesidades humanas, los minerales no son renovables debido a que han sido formados por procesos geológicos, con lo que la velocidad de génesis es mucho inferior a la de consumo. Las consecuencias del agotamiento progresivo de las reservas en un depósito son muy variadas: por ejemplo, los ingresos en una explotación se obtienen siempre que se disponga de suficiente mineral en las diferentes etapas del proyecto, y con la calidad adecuada, y, por consiguiente, los beneficios se generan dentro de un plazo limitado por la vida de la mina, que depende de las reservas y el ritmo de extracción. Esta particularidad ha llevado a muchos países a dar un tratamiento fiscal exclusivo a las empresas mineras, tal y como se expondrá con detalle más adelante. En la mina en la que yo trabajo, por ejemplo, se están acabando los recursos y su tiempo de actividad finaliza.

Los yacimientos de minerales constituyen una de las partes integrante más importante de las fuerzas productivas de la sociedad humana. La corteza terrestre cuenta con una potente base de materias primas minerales. Sin embargo, los ritmos crecientes de la extracción de minerales, la necesidad imperiosa de hallar considerables recursos naturales adicionales concentrados en grandes yacimientos y de alta calidad, la necesidad de descubrir nuevos tipos de variedades de materias primas de minerales, requerirá una mayor ampliación y profundidad de las investigaciones geológicas. Con la particularidad de que el aumento de las reservas de todos los tipos de materias primas minerales transcurrirá en condiciones más complicadas de descubrimiento de nuevos yacimientos y de ampliación de los límites de los viejos a profundidades cada vez mayores, en condiciones de estructuras geológicas complejas.

A causa de que las más minas tienen duraciones limitadas, la mayoría de las compañías explotadoras necesitan efectuar programas de exploración e investigación, con vistas al descubrimiento de nuevos yacimientos o ampliación de los que se explotan, para garantizar la continuidad de las mismas más allá del horizonte marcado por un proyecto de cuestión.

El riesgo económico durante esa etapa de investigación es elevado, ya que la probabilidad de éxito suele ser pequeña, como se aprecia en la figura.

Situación de los yacimientos y periodos de desarrollo de los proyectos.

Esta es otra característica especial de este sector que diferencia la industria minera de la mayoría de las industrias, debido a la distribución espacial de los depósitos, totalmente aleatoria y caprichosa, los minerales deben extraerse en aquellos lugares donde se descubren, que en ocasiones son áreas remotas, alejadas y poco accesibles que implican unos costes altos de infraestructura, y sobre todo de transporte de los productos a comercializar.

Una vez determinada la localización exacta de un yacimiento, se requieren bastantes años de intenso esfuerzo para desarrollar el proyecto y llegar a producir la cantidad prevista de mineral o productos de forma continua. Los productos de preproducción pueden durar desde varios años, hasta más de una década, dependiendo de los métodos de explotación y tratamiento mineralúrgico, tamaño y localización del yacimiento, complejidad de los trámites oficiales para la obtención de permisos y licencias, así como de otros factores.

Capital de inversión y costes de producción:

Los tipos de inversión que pueden distinguirse en el sector minero se pueden agrupar fundamentalmente en dos grupos:

A.) Inversiones en investigación y desarrollo I(+D) e Inversiones de Pre-Producción

Adquisición de una propiedad minera desarrollada o no: Si la propiedad no está desarrollada, pero dispone de toda la información relativa al potencial de reservas recuperables, será preciso realizar un proyecto de explotación que contemple todas las instalaciones y obras necesarias para poner la mina en marcha. Si, por el contrario, el yacimiento ya se está explotando se tratará de simular el movimiento de fondos durante el resto de la vida que le quede a la mina, valorando todos los activos existentes y determinando la rentabilidad de inversión.

Investigaciones para descubrir posibles yacimientos o ampliar el volumen de reservas existentes: Se trata de inversiones caracterizadas por un alto riesgo, cuya justificación se basa en las expectativas de encontrar o identificar nuevas masas de mineral con vistas a su explotación.

Desarrollo y construcción de nuevas minas: Es el caso típico de inversión para poner en marcha un proceso productivo. Se partirá del conocimiento del depósito mineral, avalado por las investigaciones llevadas a cabo, y se realizara todo un conjunto de estudios previos o de apoyo que justificaran la consecución de los trabajos de ingeniería e inversión

B.) Inversiones de sostenimiento.

Ampliación de operaciones existentes: con las que se pretende aumentar la capacidad productiva de las explotaciones.

Mejora de métodos y procesos de producción: Destinadas a mejorar las líneas de proceso y sistemas de producción ya existentes, con vistas a aumentar los rendimientos y disminuir los costes de producción, así como la mejora de la calidad y revalorización de algunos de los productos obtenidos.

Sustitución de equipos: Aquellas destinadas a la compra de nuevos equipos que desarrollaran las funciones de otros ya existentes dentro del proceso de producción.

Propiedades o alquileres de equipos: Complementan a la adquisición de activos necesarios para llevar a cabo la explotación minera. En ocasiones también se imputan los costes de explotación.

Adquisición tecnológica- servicios: Suelen ser los servicios necesarios para adquirir una tecnología de la que carece la propia empresa, sobre todo en las primeras etapas de desarrollo de los proyectos.

Riesgo económico: Además de los riesgos evidentes asociados a la intensidad de capital y la de los plazos de maduración de los proyectos, los negocios mineros incluyen otros motivos de riesgo económico, algunos controlables por el inversor y otros no.

En general, estos riesgos se pueden subdividir en: **Riesgos geológicos, riesgos operativos, riesgos económicos y riesgos políticos.**

Por parte del yacimiento, el riesgo proviene de que al ser la evaluación del mismo un proceso largo y costoso, se realizan las estimaciones llegando a un compromiso entre la información y el coste de la misma, lo que implica que el grado de imprecisión en parámetros tales como las reservas, las leyes, etc. sean mucho más altos que los de partida en otros negocios.

Los riesgos técnicos se han reducido notablemente en los últimos tiempos y su incidencia se ha minimizado a través de una mayor mecanización y automatización de las instalaciones, y una mejora en la seguridad de las mismas.

En el ámbito económico no cabe decir lo mismo. Por un lado, las condiciones del mercado son cada vez más difíciles de prever y presentan fuertes fluctuaciones en plazos cortos, lo que unido a los importantes desembolsos de capital y a los dilatados períodos de preproducción en los nuevos proyectos configuran a estos con un alto riesgo. Además de estos factores, otra componente de incertidumbre económica es la que se deriva de la inflación. Los impactos que pueden tener los índices de inflación elevados en un proyecto son muy significativos. También relacionada con la inflación se encuentra la paridad entre las diferentes.

Indestructibilidad de los productos.

Muchos metales son indestructibles, lo que hace que sea otro aspecto diferenciador de la industria minera. La consecuencia inmediata es una producción secundaria creciente, en detrimento de la aportación del mercado primario. El reciclado tiene numerosas ventajas económicas debido a la menor cantidad de energía, así con el aluminio una tonelada de metal reciclado precisa solamente el 5 por 100 de la energía necesaria para producir esa misma cantidad de metal virgen a partir de bauxita, menores costes de obtención, menor contaminación ambiental etc.

En el caso de los metales básicos (aluminio, hierro, cobre, y plomo) y en otras sustancias minerales, la tendencia es aumentar la recuperación de los desechos o residuos, lo cual puede incidir en las condiciones de mercado y, consecuentemente, en las expectativas de desarrollo de nuevos proyectos.

Incidencia en el medio ambiente (Especial análisis, por su actualidad)

Peculiaridades que dotan a los proyectos mineros de ese carácter exclusivo. La tierra es rica en recursos mineros con aceptable demanda que son un bien de la humanidad y por tanto susceptible de ser aprovechados. Pero a nadie le cabe duda de los grandes impactos que origina la actividad minera sobre el medio ambiente, por lo que el aprovechamiento de este recurso debe realizarse de forma adecuada mediante la aplicación de técnicas mineras que sean ambientalmente viables y extremando al máximo las medidas que eviten o minimicen los daños sobre el entorno. Aunque en los últimos años se ha progresado mucho en la prevención de perturbaciones y en las técnicas de restauración de los terrenos afectados.

La minería es sin duda una de las actividades del hombre que provoca mayores alteraciones sobre el medio ambiente. El objetivo a alcanzar sería conseguir implantar un sistema de gestión medio ambiental en la minería abierto a cambios, ser una actividad productiva, respetuosa con el medio ambiente y competitiva.

[2]

1.2. Estudio de viabilidad en el desarrollo de un proyecto minero.

1.2.1. Introducción

La evaluación de proyectos se encarga de construir toda la metodología necesaria para reducir al máximo cualquier posibilidad de pérdida financiera y contar con una base científica que sustente las investigaciones realizadas, dicha metodología incluye diversos estudios tales como análisis de la demanda, de la oferta, del mercado, etc.

En el caso que nos ocupa, antes de que un proyecto minero exista como tal y se desarrolle como una explotación, debe pasar por la fase de comprobación de su viabilidad. Es la fase de estudios previos, en la cual se efectúan todos los estudios, investigaciones, e informes necesarios para poder tomar decisiones en relación con la ejecución o no de un proyecto.

Los estudios de viabilidad y evaluación de un proyecto minero abarcan el conjunto de actividades de investigación y desarrollo conducentes a definir y valorar el proyecto en todos sus aspectos técnicos y económicos.

El estudio de viabilidad tiene que basarse en el conocimiento de los siguientes elementos:

- El yacimiento
- La mena
- El mercado que deberá absorber el mineral
- El ambiente político, social, económico, y financiero en el que se desenvolverá el proyecto

Los estudios previos se reducen muchas veces a una serie de consideraciones, lo mejor argumentadas posible, sobre la viabilidad del proyecto en sus tres vertientes posibles, técnica, económica y comercial.

Debido a la gran inversión previa que se requiere en este tipo de proyectos, estos estudios tienen un carácter selectivo y de filtro, ya que con cualquiera de ellos puede detectarse una incompatibilidad con los objetivos que se persiguen.

El estudio de viabilidad solo puede completarse cuando el conocimiento del yacimiento es lo suficientemente amplio y profundo. A falta de esta condición, los análisis conducen a estudios previos, que son necesarios frecuentemente, pero que no son suficientes para la decisión definitiva.

Por lo que el termino de estudio de viabilidad debe aplicarse únicamente a la etapa final del proceso de evaluación del proyecto sobre la base de los resultados y recomendaciones habrá que adaptarse a la decisión de ejecución del proyecto o el abandono del mismo.

Concluimos que los estudios de evaluación y los estudios de viabilidad son parte de un mismo proceso de investigación cuyo objetivo es, en síntesis, dar respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Con qué recursos contamos?
- ¿Qué problemas se plantean?
- ¿De qué medios técnicos nos valemos?
- ¿Qué venderemos? ¿Cuánto? y ¿A qué precio?
- ¿En qué costes incurriremos?
- ¿Cuál será nuestro beneficio?

Los estudios de evaluación de los proyectos mineros, pueden agruparse por su alcance y objetivo, en una de las siguientes categorías 5 según Jose A. Botín:

Evaluación preliminar: Coincide con la etapa de exploración general, siendo escasa la información disponible sobre las reservas y leyes del yacimiento, así como, de otros aspectos del proyecto. Es un punto de partida y análisis para justificar nuevas inversiones en la obtención de información adicional. La inversión a realizar en esta etapa, que oscila normalmente entre 0,5 y 2 millones de euros, tiene por objetivo determinar el potencial económico del proyecto y ver si es recomendable o interesante continuar con el análisis del mismo invirtiendo más fondos.

Estudios técnicos-económicos intermedios: Una vez superada la primera evaluación se realizan estos estudios que generan una información más completa y detallada sobre el proyecto, siendo su objetivo fundamental el de justificar el paso de la existencia de un grado de certeza razonable sobre la viabilidad del proyecto. La inversión requerida en estos estudios normalmente oscilará entre 1 y 4 millones de euros, aunque continúan existiendo dudas razonables ya que se siguen utilizando hipótesis con un grado importante de incertidumbre en cuanto a los recursos minerales, técnicas de explotación y análisis de mercados y sensibilidad de precios.

Estudio de viabilidad: Finalmente es aquí donde se determina si el proyecto es económicamente viable, reduciéndose a límites razonables las incertidumbres existentes con una base de información soportada y real. Es en este estudio donde se define técnica, económica y organizativamente la etapa de construcción sirviendo como base para la ingeniería de detalle. En este estudio la inversión oscila entre los 2 y 15 millones de €.

El tiempo necesario para realizar un estudio de viabilidad depende, evidentemente, de la importancia del proyecto, de sus dificultades específicas y de la complejidad del ambiente general. Puede estimarse una duración comprendida entre uno y dos años para los diversos análisis. El informe final requiere unos pocos meses y se establece por síntesis de los análisis detallados de cada aspecto del problema.

Desde las primeras fases de la investigación de la investigación minera, se van realizando análisis económicos preliminares con los datos disponibles en cada instante. Se obtienen así estimaciones de la rentabilidad, que condicionan el desarrollo de las etapas sucesivas.

Los cálculos definitivos de rentabilidad no pueden realizarse hasta que no se dispone de una previsión de ingresos y gastos suficientemente segura.

[2]

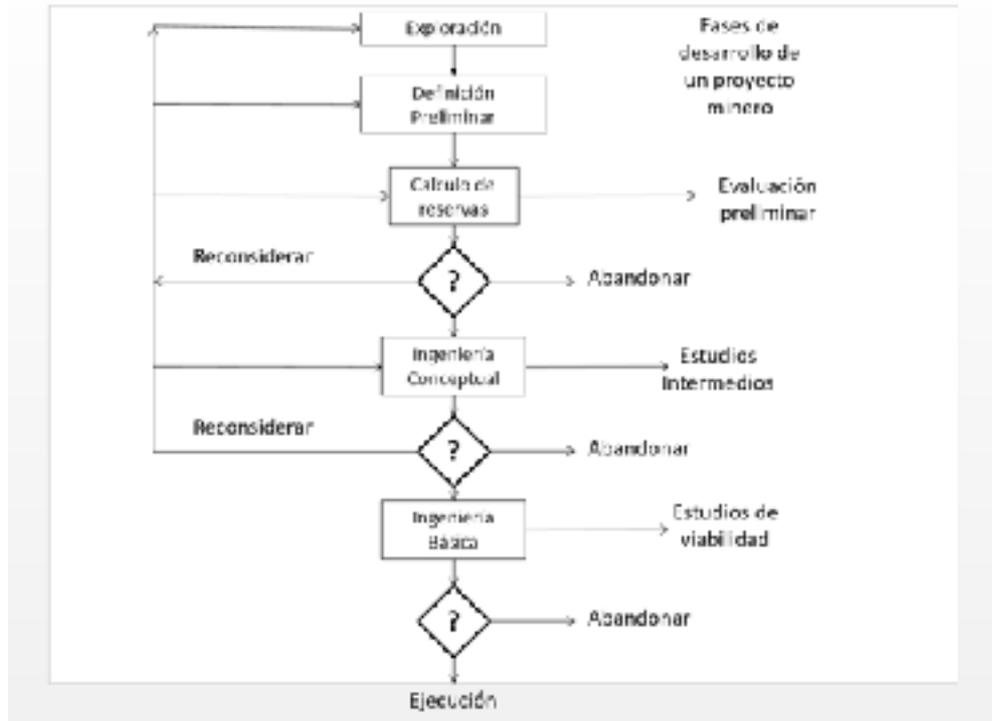


IMAGEN 2: Fases de desarrollo de un proyecto minero.

1.2.2. Elementos de estudio

Conocimiento del yacimiento

El estudio de viabilidad solo puede completarse cuando el conocimiento del yacimiento es lo suficientemente amplio y profundo.

El yacimiento es el depósito mineral que ha sido examinado y presenta suficiente tamaño, ley para ser puesto en producción y ser rentable. Parte de la corteza terrestre, en la cual, debido a procesos geológicos, ha habido una acumulación de materia prima mineral, la cual por sus características de cantidad, calidad y condiciones de depósito es redituable su explotación. Entendiendo por materias primas minerales a las sustancias que se extraen de la corteza terrestre para aprovechar sus propiedades físicas o químicas. Esta definición comprende todos los minerales y rocas utilizados por el hombre y los elementos y compuestos que se extraen de ellos.

La naturaleza y composición geoquímica, mineralógica y petrológica de nuestro planeta difiere por cada capa en que se divide; la composición en la zona más profunda (núcleo) es simple y homogénea, intermedia en el manto y, la capa más superficial (la corteza) presenta una composición más compleja y heterogénea considerándose desde un aspecto geoquímico es decir, que todos los elementos químicos están distribuidos de forma muy amplia en esta última zona por lo tanto, esta zona puede estar formada por rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.

Durante los procesos geológicos que llevan a la formación de una roca, algunos elementos o minerales pueden concentrarse selectivamente muy por encima de sus valores "normales" dando origen a concentraciones "anómalas". Para que esta concentración mineral se convierta en un yacimiento o depósito de minerales útiles, tienen que darse las condiciones necesarias que lo permitan; el mineral debe ser valioso en sí mismo o ser portador de algún elemento nativo y debe ser requerido por el mercado cumpliendo el requisito de que su explotación sea económicamente rentable. Prácticamente cualquier proceso geológico puede dar origen a yacimientos minerales.

Conocimiento del mineral

La mena: corresponde a la explotación de un yacimiento. Es el mineral cuya explotación presenta interés, refiriéndose al mineral del que se extrae el elemento químico útil (Cu de la calcopirita, Hg del cinabrio, Sn de la casiterita, entre muchos ejemplos posibles). Este término es más comúnmente utilizado en minerales metálicos.

Conocimiento del mercado

Ha de permitir la definición de la naturaleza del producto o los productos que se comercializan, sus volúmenes de producción posibles y los precios de venta probables.

Estos tres estudios se suelen desarrollar en paralelo, con numerosas interacciones mutuas, sobre todo entre el método de explotación, el procedimiento de concentración y el valor del producto final.

Elección de las técnicas

La elección de los procedimientos de extracción y tratamiento del mineral se va perfilando conforme progresan los estudios precedentes. Los costes resultantes pueden combinarse con los ingresos por ventas para determinar los flujos de fondos. Pueden considerarse diversos volúmenes de producción, que conducen a combinaciones distintas de desembolsos por inversión y por explotación. El cálculo de la rentabilidad de las diversas variantes del proyecto permitirá fijar definitivamente las dimensiones de la explotación minera y de la planta de tratamiento, así como la vida prevista.

Análisis Financiero

El análisis financiero no se inicia normalmente hasta que los estudios precedentes no están suficientemente avanzados, ya que el capital total no necesario-inmovilizado y fondo maniobra- no queda determinado hasta que no se define la capacidad de producción. Una vez definidas las fuentes de financiación, se conocen los costes financieros y puede completarse el estudio económico-financiero.

Análisis del medio general y local

El conocimiento del medio general y local en el que habrá de desenvolverse el proyecto interfiere continuamente con todos los demás estudios, contribuyendo a la elección de las técnicas, la determinación del volumen de producción óptimo, el ajuste de la estructura financiera, la estimación de las inversiones y el régimen fiscal.

El estudio de viabilidad se completa al llegar a las cuentas de explotación y tesorería previstas y a la determinación de la rentabilidad del proyecto.

A pesar de la exclusividad de cada mina, un proyecto minero se desarrolla siguiendo un modelo común a otras industrias, sin olvidar que cada mina se puede considerar como una empresa única, con objetivos, programas y presupuestos únicos.

1.2.3. Fases de desarrollo de un proyecto minero

1.Fase de exploración y evaluación

En esta etapa del proyecto se realizan los estudios de la exploración minera y los factores económicos que pueden influir en el proceso, como la exploración geofísica, geoquímica, perforación y la economía de la exploración del proyecto minero. Se pretende suministrar los datos necesarios para poder visualizar el criadero en un inventario o modelo codificado de los minerales y de los estériles que contiene para llegar a establecer la cantidad, la calidad y la distribución espacial.

La exploración minera es la fase en la que comienza el ciclo de vida de cada mina, es el proceso de búsqueda de depósitos de mineral, etapa de Identificación de un proyecto minero. En esta fase se intenta ubicar donde pueden estar presentes los minerales, la calidad del depósito, evaluar el tamaño y observar las realidades económicas de la extracción.

Las etapas de la exploración minera:

1. Geofísica

Los depósitos minerales que se ubican en la superficie de la Tierra están la gran mayoría descubiertos. Lo más difícil es encontrar los que tenemos debajo de la superficie, de esto se trata la geofísica.

La geofísica es el estudio interior de la tierra utilizando los principios de la física, y métodos aerotransportados y terrestres para localizar y mapear recursos como depósitos minerales, gas, petróleo y carbón.

Los depósitos de mineral suelen tener propiedades magnéticas, eléctricas o gravitacionales distintas que se pueden identificar y mapear utilizando métodos geofísicos a diferentes escalas de recolección de datos magnéticos, electromagnéticos, eléctricos, gravitacionales, radiométricos o sísmicos.

2. Geoquímica

La geoquímica se ocupa de identificar áreas potenciales de mineralización, utilizando las herramientas y los principios de la química. Una vez que se ha identificado un posible depósito mineral a través de la geofísica, las compañías de exploración utilizan la geoquímica para conocer más sobre el área y ubicar las ubicaciones más favorables para la perforación.

La geoquímica mide la concentración de elementos presentes en la roca, el suelo, los sedimentos del arroyo y las plantas para identificar anomalías en los patrones químicos. Estas anomalías a menudo indican la presencia de mineralización.

3. Perforación

Una vez que los equipos geólogos y geofísicos han identificado un posible depósito de mineral, y el equipo de geoquímica a muestreado el suelo consiguiendo así una reducción del área objetivo a un tamaño manejable, pueden comenzar los trabajos de perforación. Con la perforación podremos obtener información detallada sobre las características geológicas y la mineralización debajo de la superficie del suelo.

Una operación de perforación típica se basa en la experiencia de geólogos, geofísicos, muestreadores de campo, perforadores y personal de laboratorio. Los geólogos determinan las áreas, el espaciado y las prioridades para la perforación exploratoria. Las plataformas de perforación se utilizan luego para extraer muestras del sitio.

Los métodos de perforación varían de acuerdo con el tamaño del área del proyecto, el presupuesto, el tipo de roca, la topografía o el mineral que la compañía de exploración está buscando. Hay una variedad de métodos de perforación de exploración que se pueden usar, pero los métodos más comunes son: circulación inversa (RC) y perforación con núcleo de diamante.

Los agujeros se perforan verticalmente o en ángulo con varias profundidades. La sección transversal de perforación exploratoria típica es:

Ángulo de perforación, Sesenta grados (60°) es un ángulo común para la perforación de exploración, ya que atraviesa un rango de posibles zonas de mineralización.

Alineación de la perforación, Cada núcleo de perforación se solapa ligeramente con el núcleo anterior (principio u fin con otra perforación).

Muestra de mineral (línea roja), Las secciones rojas indican dónde el taladro ha golpeado el suelo que contiene mineral. Las muestras del núcleo se analizan cuidadosamente para construir una imagen más clara de la mineralización presente en el área.

Cuerpo de mineral mapeado (área roja), Los ingenieros usan las muestras del núcleo, la geoquímica, la geofísica y los datos geológicos para mapear el cuerpo del mineral

La roca se rompe con el taladro que avanza a través de la roca o el suelo y vuelve a la superficie como estacas (pequeños trozos de roca) o como núcleo (cilindros sólidos de roca o arcilla). El material perforado se recoge y se envía para análisis de laboratorio.

2. Fase de pre-viabilidad.

En esta fase se desarrollan normalmente dos tipos de estudio con distinto alcance:

- ✓ **Estudio Conceptual:** Representa una transformación de una idea de proyecto en una amplia proposición de inversión, mediante el empleo de métodos comparativos de definición de alcances que permiten identificar las oportunidades potenciales de inversión. En ámbitos especializados también se le denomina estudio de oportunidad (ONUDI), o estimación de orden de magnitud (AACE).
- ✓ **Estudio de pre-viabilidad:** También denominado estudio preliminar, es un ejercicio de nivel intermedio, que normalmente no es adecuado para tomar una decisión de inversión. Tiene objetivo de determinar si la idea de proyecto justifica un análisis detallado para un estudio de viabilidad, y si alguno de los aspectos del proyecto son críticos en su consecución y necesitan una investigación con profundidad por medio de estudios complementarios o de apoyo.

Un estudio de pre viabilidad debe considerarse como una etapa intermedia entre un estudio conceptual, que requiere poca inversión o gasto y un estudio de viabilidad que es más costoso.

Normalmente se examinan de un modo amplio, no riguroso, los siguientes apartados:

- Evaluación de las reservas de mineral
- Programa de producciones de estéril y mineral
- Métodos de explotación aplicables y selección de equipos
- Esquemas de tratamiento del mineral
- Servicios necesarios e instalaciones auxiliares
- Mano de obra y costes
- Esquema de implantación e infraestructura del proyecto
- Estudios de mercado
- Análisis económico y financiero, basado en los costes de producción, inversiones ingresos potenciales, y fuentes de financiación del proyecto.

La estructura de un estudio preliminar es prácticamente igual a la de un estudio de viabilidad detallado.

Esta etapa puede saltarse o excluirse cuando el estudio conceptual contiene datos suficientes sobre el proyecto, ya sea para proceder a la etapa del estudio de viabilidad o para deducir su terminación.

3. Fase de viabilidad

Fase donde se desarrolla el estudio de viabilidad, el cual proporciona una base técnica, económica y comercial para una decisión de inversión. Se usan procedimientos y técnicas interactivas para optimizar todos los elementos críticos del proyecto. Se define la capacidad de producción, la tecnología, las inversiones y los costes de producción, los ingresos y la rentabilidad del capital desembolsado. Normalmente, se define inequívocamente el alcance de los trabajos y sirve como un documento base para el progreso del proyecto en fases posteriores.

El estudio de viabilidad debe contener una descripción del proceso de optimización aplicado, una justificación de las hipótesis y soluciones escogidas y una definición del alcance del proyecto como suma de los factores parciales seleccionados. En el supuesto de que el proyecto no sea viable en todas las posibles variantes estudiadas la conclusión del estudio será la no viabilidad del proyecto y su no desarrollo.

Los diferentes tipos de estudios que normalmente se realizan son:

Identificación: Estudio conceptual o de oportunidad del proyecto en el cual se identifican las oportunidades

Análisis preliminar: en el que se realizan estudios de apoyo y estudios de previabilidad para determinar la alternativa u opción más viable.

Análisis final: Donde se realizan más estudios de apoyo, estudios de viabilidad y de evaluación y se realiza la elección final de las características del proyecto y los criterios de selección.

Evaluación del Proyecto: donde se adopta la decisión final en cuanto a la inversión.

En el estudio de viabilidad donde se optimizarán todos los análisis de las áreas críticas con lo que conseguiremos un alcance y un plan con base para la ejecución del proyecto y una aceptable estimación de costes que ayudarán a decisión de inversión definitiva.

4. Fase de construcción y puesta en marcha

En esta fase procedemos al diseño y construcción, es donde se desarrollará la ingeniería básica y de detalle, y la compra de terrenos, materiales y equipos y las actividades de construcción y ensamblaje. Aquí se producirán los desembolsos económicos más importantes.

Una vez superada la etapa anterior también se realizará las distintas pruebas individuales de los distintos equipos e instalaciones para comprobar la efectividad en el funcionamiento de los mismos y el arranque propiamente dicho del proyecto.

5. Fase de producción

Se comienza a suministrar mineral a la planta obtenido del yacimiento con el objeto de su transformación en un bien susceptible e introducirlo en los mercados. Todo el complejo empieza a funcionar de forma interrelacionada, comprobándose que se alcanzan los niveles operativos en cuanto a calidad y cantidad diseñadas en las fases anteriores. Una vez son corroborados estos primeros pasos o chequeos, se procederá a procesar en los niveles previstos de producción obteniendo los resultados perseguidos que no es otro que la obtención de un producto final susceptible de ser incorporado al mercado de consumo o transformación hacia otros productos que lleguen al consumidor final.

1.2.4. Estudios de viabilidad económica y de evaluación minera

Cualquier estudio de viabilidad tiene una amplia necesidad de información. Se parte de la constitución del grupo de trabajo que dirigirá, coordinará, y ejecutará las distintas fases del estudio de viabilidad hasta conseguir obtener la información necesaria y suficiente para poder tomar una decisión sobre la viabilidad o no del proyecto.

En el sector minero debemos plantearnos seis objetivos generales, evidentemente dependiendo de las características intrínsecas de cada yacimiento se dará más importancia a uno u a otro objetivo.

1. Organización del grupo de proyecto
2. Definición conceptual del proyecto
3. Ingeniería y diseño básico
4. Actividades de investigación y desarrollo
5. Plan de construcción
6. Análisis económico y financiero

1. Organización grupo de proyecto

La ejecución eficaz de un proyecto depende en gran medida de los servicios y gestión que realice el propio equipo de proyecto. Es el punto de partida de cualquier estudio de viabilidad. La ejecución de eficaz de un proyecto depende en gran medida de los servicios y gestión que realice el propio equipo del proyecto. Requerirá la participación coordinada de un elevado número de especialistas y el análisis de información en relación con una gran variedad de tecnologías y disciplinas científicas.

2. Definición conceptual

En esta fase se establecerán los objetivos y se definirá el alcance técnico y económico del estudio de viabilidad.

Se recopilará toda la información de interés disponible para el proyecto, se definirán los objetivos de la investigación, y de los recursos tecnológicos a aplicar y se identificara toda la información de interés disponible para el proyecto, se definirán los objetivos de la investigación y de los recursos tecnológicos a aplicar y se identificara la información necesaria a obtener y con las garantías suficientes, que permita adoptar una decisión sobre la viabilidad o no del proyecto dentro de los límites de un riesgo asumible.

3. Ingeniería y diseño básico

En la fase de ingeniería y diseño básico se pretende confeccionar la planimetría y condiciones técnicas suficientes que permitan definir el proyecto en su vertiente constructiva y operativa con un nivel de detalle que, aun no siendo suficiente para la construcción, permita determinar la inversión necesaria y los costes de operación del proyecto con un margen de error asumible, entorno al 15% pero que permita decidir sobre la viabilidad del proyecto.

Se deben contemplar los siguientes aspectos, con el suficiente detalle:

- Estimación de las reservas extraíble: Estimación de la forma del yacimiento y la distribución espacial de la mina mediante sondeos, calicatas o labores subterráneas necesarias para la estimación de las reservas y planificación minera.
- Diseño y planificación de la mina: Determinación del emplazamiento y dimensiones de las plantas de tratamiento, vertederos, depósitos de residuos, así como de las líneas de abastecimiento de energía eléctrica, accesos a mina y plantas y demás instalaciones fijas del proyecto.
- Diagramas de flujo del proceso de tratamiento
- Planos básicos de implantación de equipos y edificios
- Especificaciones preliminares de los equipos
- Especificación de los productos vendibles

4. Actividades de investigación y desarrollo

Para reducir la incertidumbre y minimizar el riesgo debemos incrementar el nivel de definición del proyecto, especialmente en los aspectos más críticos.

- Estudios técnicos monográficos: Estudios geo estadísticos, geotécnicos, hidrogeológicos, estudios de impacto ambiental y restauración del medio natural afectado, estudios de mercado y transporte de productos, estudios de organización y de plantillas para determinar las necesidades de personal...

●Actividades de campo: Necesarias para la definición del proyecto, y el desarrollo de alguno de los estudios técnicos mencionados en el punto anterior. Las actividades de campo pueden estar relacionadas con la definición del yacimiento, del proceso de tratamiento, impacto ambiental, etc.

5. Plan de construcción:

Una vez desarrolladas las actividades anteriores se pone de manifiesto la necesidad de preparar un plan de construcción. Con el siguiente esquema:

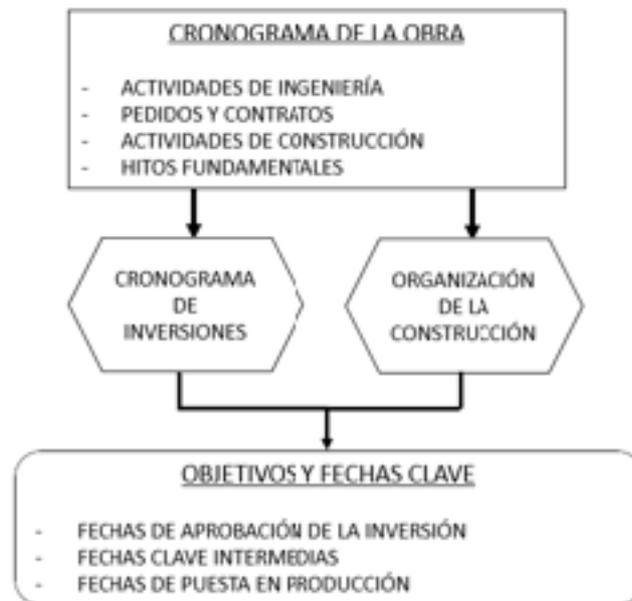


Imagen 3: Cronograma de la obra

6. Análisis económico y financiero

El análisis económico del proyecto tiene por objeto el desarrollo de un modelo económico que permita la cuantificación de la rentabilidad y el riesgo financiero, establecer flujos de caja o cash flows generados y determinar las necesidades de financiación.

Determinación del Cash Flow: Deberá tener en cuenta todas las entradas y salidas de caja.

Como los ingresos por venta de minerales y concentrados producidos, inversiones (inversión inicial característica debido al gran desembolso que supone) costes de operación,

También deben tenerse en cuenta otros costes no operativos como los relacionados con la comercialización y transporte del producto vendible, el pago a terceros de cánones o royalties, gastos financieros de explotación, etc.

Estudio de rentabilidad y análisis de riesgos

La evaluación económica del proyecto de inversión en la mina es el paso fundamental antes de la decisión definitiva sobre el mismo. El instrumento básico es el modelo económico, que refleja el movimiento de los fondos absorbidos y generados a lo largo del tiempo por el proyecto.

[2]

1.3. Riesgos en los proyectos mineros

Existen muchos tipos de riesgo, se suele medir por métodos estadísticos. Es intuitivamente obvio que existen algunas situaciones en donde el riesgo es mayor que en otras situaciones, es muy comúnmente aceptado que el significado de “grado de riesgo” es relativo a la probabilidad de pérdida tienen más riesgo que aquellos con una probabilidad menor. Si consideramos al riesgo en términos de individualidad, el riesgo entonces se mide en términos de la probabilidad de una desviación de lo que es esperado.

Todos los riesgos hacen referencia a la posible pérdida o daño derivado de un riesgo. Atendiendo su origen se clasifican en:

Riesgos naturales

Aquellos originados por fenómenos de la naturaleza. Los fenómenos naturales que han afectado en algún momento a la producción minera son numerosos: terremotos, inundaciones, erupciones volcánicas, nieve, crecidas, avalancha, derrumbe, deslizamientos en masa, explosiones de roca...

El evento natural más importante en los últimos 50 años, fue el terremoto de 1965 que generó el deslizamiento de masa del tranque de relave de la mina del Soldado, al norte de Santiago de Chile, matando más de 200 personas.

En el caso de CLC, ha ocurrido una catástrofe natural, hace menos de dos meses, se derrumbó la corta minera, lo que ha producido la pérdida de 1/3 del mineral que nos queda por extraer. Afortunadamente y debido al eficaz trabajo de sus trabajadores no hubo ningún herido ni ninguna víctima mortal.

Riesgos Tecnológicos

Debido a que no hay dos yacimientos iguales, hay que probar y tantear los equipos necesarios y considerar los avances tecnológicos a la hora de escoger los equipos.

Entre los principales riesgos tecnológicos se encuentra el fallo no previsible de los equipos y los riesgos geo-mecánicos. Los riesgos geo-mecánicos conducen al deslizamiento de taludes, explosiones de roca, y derrumbes.

Aquellos asociados a accidentes de origen tecnológico, como el riesgo químico, el nuclear o el transporte de mercancías peligrosas. Comprende asimismo los grandes apagones eléctricos. También se incluyen en riesgos tecnológicos los incendios y explosiones.

Riesgos antrópicos

Aquellos generados por la actividad del hombre: accidentes de transporte público, grandes concentraciones de personas (acontecimientos deportivos, festivos, etc..) colapso de un edificio, etc.

Riesgos financieros y no financieros

Los riesgos influyen en todas las situaciones donde hay una exposición a la adversidad. En algunos casos esta adversidad se relaciona con pérdida financiera, mientras que en otros casos no ocurre así, y el riesgo está relacionado con todos los aspectos del entorno humano.

Riesgos Dinámicos.

Los riesgos dinámicos son aquellos que resultan de cambios en la economía, cambios en el nivel de precios, en la demanda de los consumidores, en la tecnología etc., que pueden causar pérdida financiera a los miembros de la sociedad. Estos riesgos dinámicos normalmente tienen impacto en la sociedad a lo largo plazo, considerando que son el resultado de ajustes en la colocación equivocada de recursos.

Los riesgos dinámicos pueden afectar a un gran número de individuos, pero son menos predecibles que los riesgos estáticos, ya que no ocurren con ninguna regularidad.

Riesgos estáticos

Estos involucran aquellas pérdidas que ocurrirían aun si no hubiera cambios en la economía, se relacionan con la deshonestidad de los individuos y con su pericia. La pérdida estática está relacionada con la destrucción de algún bien o el cambio de su posesión como resultado de la deshonestidad del error humano. Los riesgos estáticos tienden a ocurrir con algún grado de regularidad y entonces son generalmente predecibles.

Riesgos fundamentales

Están relacionados con pérdidas que son impersonales en pérdida y en origen, son un grupo de riesgos que son causados fundamentalmente por economía, la sociedad, y los fenómenos políticos, así como también de los fenómenos físicos, afectan a largos segmentos de la población e inclusive a toda ella, como ejemplo se tiene: desempleo, guerra, inflación y terremotos.

Riesgos particulares

Están relacionados con pérdidas que afectan a los individuos más que al grupo entero, pueden ser estáticos o dinámicos.

Riesgos especulativos

Describen situaciones en donde hay posibilidad de pérdida, pero también de ganancia, en ese contexto el riesgo es deliberadamente creado con la esperanza de ganar.

El riesgo especulativo es una característica clave de la gran mayoría de las inversiones. El riesgo especulativo requiere una decisión consciente de tener en cuenta todos los factores de riesgo antes de elegir un curso de acción. Esto difiere del "riesgo puro", que se refiere a los acontecimientos que están garantizados para producir algún tipo de pérdida, y en los que no hay ninguna posibilidad de obtener un resultado beneficioso.

La forma más fácil de decir la diferencia entre los dos tipos de riesgos son los tipos de resultados que son posibles, y si el riesgo es voluntario. El riesgo puro sólo conduce a resultados negativos y es una parte inevitable de la vida. El riesgo especulativo tiene el potencial de generar resultados positivos o negativos y se celebra de forma voluntaria.

Riesgos puros

Designan situaciones en las que solamente existen dos casos: pérdida y no-pérdida

El riesgo puro es un término que se aplica a cualquier situación en la que no hay posibilidad de ningún beneficio a materializarse si un resultado específico. Por lo general, los eventos que se consideran a llevar este nivel de riesgo que está fuera del control de la persona que está asumiendo el riesgo, por lo que es imposible tomar realmente una decisión consciente para asumir el riesgo. El seguro se utiliza a menudo como un medio para reducir al mínimo las pérdidas de riesgo de este tipo, un factor que puede compensar el hecho de que no hubo aumentos reales que se puedan realizar a partir de la situación.

Con el riesgo puro, no hay esperanza real de obtener un rendimiento. Por ejemplo, si una planta es destruida en algún tipo de desastre natural, la empresa incurre en una pérdida que no puede ser compensada, es cuando los ingresos de la venta no reemplazan el activo.

Riesgos sobre las posesiones de las personas

Estos riesgos se pueden dividir en dos, considerando la pérdida directa e indirecta

[2] y [5]

2.

LA FAJA PIRÍTICA IBÉRICA

2.1. Introducción.

El objetivo de este apartado es introducirnos en la historia de la faja piritica ibérica, un “tesoro” que es una de las zonas metalogénicas más importantes del mundo y quizás la concentración de sulfuros mayor del planeta. Es una franja de aproximadamente 220 kilómetros de longitud y 35-40 kilómetros de anchura que se extiende por el suroeste peninsular entre dos Países, el sur de costa atlántica de Portugal. Más concretamente, abarca las provincias de Huelva, Sevilla, Algarve y Alentejo.

Conocida como como la provincia metalogenética que contiene la mayor concentración conocida hasta la fecha de yacimientos VMS del mundo, posee una significación histórica muy notable, está considerada entre los lugares con una actividad minera más antigua (incluso se menciona en la Biblia) y ha influenciado el desarrollo histórico de varias culturas en su aspecto económico y tecnológico

Para averiguar porque se esconde semejante riqueza debajo del suelo Andaluz y portugués, nos remontaremos 350 Millones de años atrás, a la Era Paleozoica. Se produjo en el Carbonífero, la mayor actividad volcánica peninsular, dando lugar a 8 depósitos gigantes de sulfuros masivos polimetálicos asociados a los flancos conos volcánicos. Estos depósitos eran de hierro (pirita), cobre (calcopirita), estaño (casiterita), plomo (galena) y cinc (blenda).

La extracción minera se desarrolla desde el siglo VIII a.C., probablemente para producir bronce, pero fueron los romanos quienes lo hicieron a gran escala. Se han obtenido desde hace 5.000 años en la Faja Piritica 5/6 de mineral, quedando aun 400 millones de toneladas por explotar

[3] y [4]

MINAS PRINCIPALES DE LA FAJA PIRÍTICA

Portugal

- Canal-Caveira
- Lousal
- Aljustrel
- Neves-Corvo
- São Domingos

España

- Las Herrerías
- Tharsis
- La Joya
- El Buitrón
- Minas de Riotinto
- San Miguel
- Lomero-Poyatos
- Cueva de la Mora
- Sotiel
- Poderosa
- Concepción
- La Zarza
- Castillo
- Teuler
- Mina de Aguas Teñidas
- Las Cruces

[6]

2.2. Historia geológica de la Faja Pirítica

El origen de los sulfuros masivos de la Faja Pirítica es complejo y aunque tienen su análogo actual en las fumarolas hidrotermales y en algunas cuencas sedimentarias asociadas a arcos volcánicos, ninguno de los dos ejemplos los explica de forma satisfactoria. De hecho, aún hay cierta discrepancia en cuanto al origen, aunque este está indudablemente asociado con la tectónica reinante en el Paleozoico Superior.

El modelo más aceptado, aunque no el único, que pretende explicar este tipo de depósitos es el adelgazamiento cortical asociado con la tectónica y las fracturas que surgieron en la región permitieron el ascenso de magmas básicos que incrementaron el gradiente geotérmico y favorecieron la formación de magmas más ácidos al fundir la corteza. Los sedimentos depositados en la cuenca sufrieron una serie de procesos que cambiaron su química y su física (diagénesis y metamorfismo) y que les llevó a expulsar el agua salina que tenían en su interior. Esta agua, enriquecida además en metales, circuló a partir del gradiente térmico que implicaba la presencia de esos magmas, hasta que se acumuló en regiones concretas donde ahora se encuentran los depósitos metalogénicos. Complejo, pero espero que la siguiente imagen ayude un poco a comprender el movimiento de los metales disueltos en el agua.

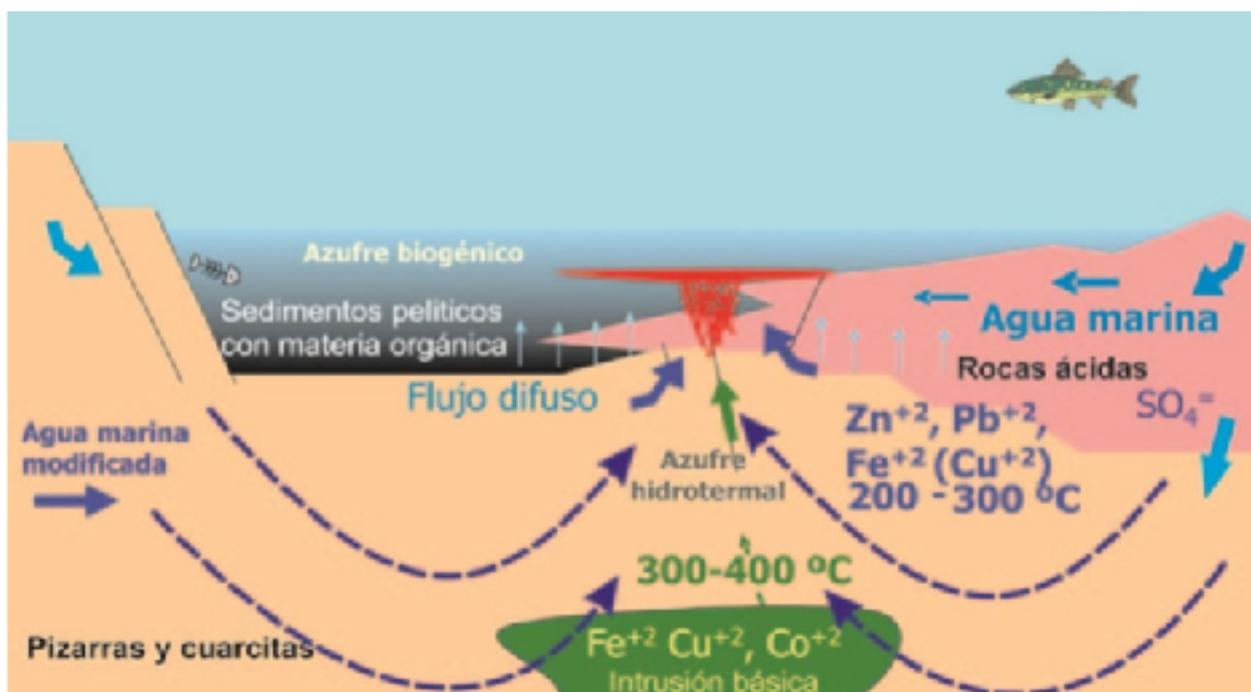


Imagen 4: Esquema de movilidad de los metales que acabaron por dar los depósitos de sulfuros masivos de la Faja Pirítica

Su historia se puede dividir en cuatro etapas:

Primera etapa: **La Preorogénica**, en la que se produjo una sedimentación marina de poca profundidad sobre una plataforma continental afectada por el oleaje.

La segunda es la **Sinorogénica Temprana**, en la que la cuenca estaba muy fragmentada por la compleja situación tectónica. “No podemos olvidar que se está formando Pangea”, señala en alusión a la creación del súper continente que existió al final de la Era Paleozoica y comienzos de la Mesozoica, que agrupaba la mayor parte de las tierras emergidas del planeta. Se formó por el movimiento de las placas tectónicas, que hace unos 300 millones de años unió todos los continentes anteriores en uno solo.

La tercera etapa en la historia geológica de la Faja Pirítica es la **Sinorogénica Principal**, la cual “tuvo eventos catastróficos muy importantes asociados con erupciones volcánicas, con el desarrollo de sulfuros masivos como característica más notoria. La última etapa que podemos distinguir es la **Sinorogénica Tardía**, en la que la cuenca se vio sometida a una intensa erosión y sedimentación.

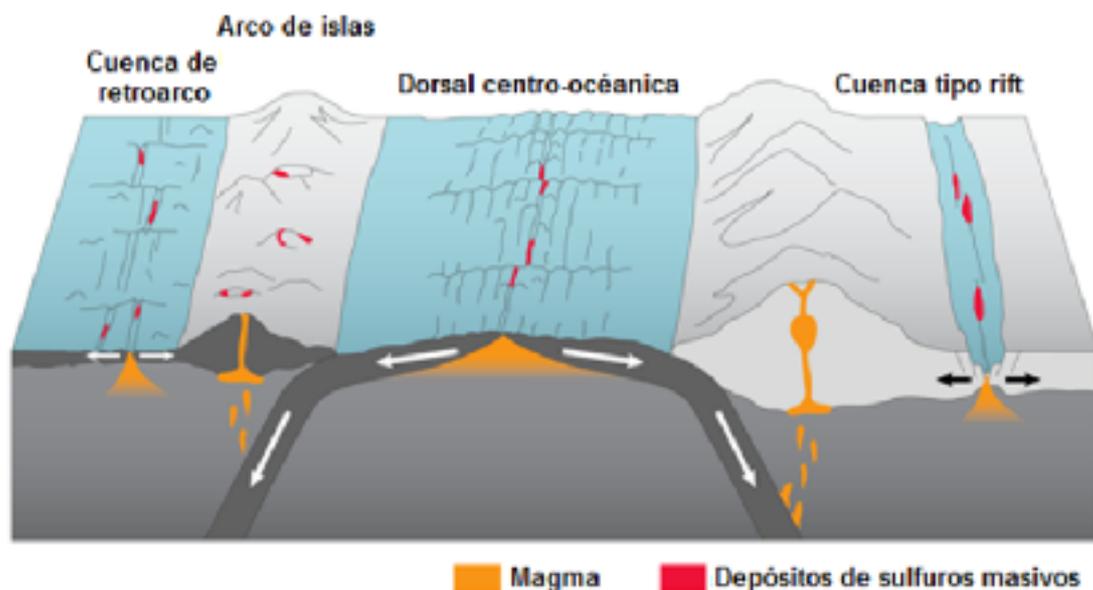


Imagen 5: Esquema de los principales ambientes en los que se producen depósitos de sulfuros masivos (modificado de Kathleen Cantner)

Todo lo anterior sirvió para que esta zona del sur de la Península se convirtiera en un tesoro mineral y que, desde hace más de 4.500 años, se vengán explotando los más de ochenta yacimientos existentes en esa franja de 250 kilómetros, situándose como uno de los distritos más antiguos del mundo. Aunque no hay datos concluyentes, muchos estudios coinciden en que desde entonces se han extraído unos 2.000 millones de toneladas de mineral.

Un boom que fue apagándose poco a poco con el paso de las décadas: los mayores yacimientos se agotan, a lo que se añade que gradualmente dejó de utilizarse la pirita como fuente del ácido sulfúrico. A pesar de tener unos recursos del orden de 1000 millones de toneladas de sulfuros, la minería de la FPI acaba de atravesar una de sus más profundas crisis debido a varios factores:

- ✓ El difícil tratamiento de los minerales complejos (Cu-Pb-Zn-Ag-Au).
- ✓ El agotamiento de la zona de oxidación de algunos depósitos de sulfuros metálicos (gossan con oro y plata).
- ✓ La escasa demanda de ácido sulfúrico en los mercados mundiales,
- ✓ Los reglamentos ambientales
- ✓ Los ciclos de cotizaciones bajas de los metales básicos en los mercados mundiales.

La situación llegó a tal extremo que en 2003 se cerró la última mina activa. Aquello parecía la muerte de la Faja Pirítica pero el aumento del precio los minerales -auspiciado en gran medida por la demanda china- y la aparición de nuevas tecnologías de extracción sirvieron para que muchas multinacionales volvieran a girar su mirada hacia Andalucía.

La minería en la FPI ha resurgido de sus cenizas, en la actualidad nos encontramos en llamado por algunos “súper ciclo”, en el que se ponen en marcha tres yacimientos de bastante importancia a escala europea (Cobre Las Cruces, Aguas Teñidas y Río Tinto-Cerro Colorado) y la previsión es que la cifra se incremente de manera significativa a corto y medio plazo.

[4] y [7]

2.3. El problema del Drenaje Ácido

No todo en este contexto tiene un interés metalogénico, pues también tenemos geosites con interés geoquímico. Esto es debido a que en áreas mineras en las que se extrae, o se ha extraído años atrás, ocurre en los metales un fenómeno que tienen asociadas unas características que no podemos olvidar. Un fenómeno de contaminación de las aguas naturales que drenan el terreno, y que es debido a la acción oxidante del aire o el agua, al que llamamos Drenaje Ácido.

Este se produce cuando hay sulfuros metálicos expuestos a la acción oxidante del aire o del agua, como ocurre en la Faja Pirítica, de manera que estos minerales se oxidan y se disuelven en el agua, haciéndola con ello muy ácida, de pH 1-3 cuando lo normal es que tenga pH 7. Y aunque estemos hablando de contaminación no siempre tiene un origen claramente humano, en cuyo caso se llama Drenaje Ácido de Minas, porque si esos sulfuros están de forma natural en la superficie, en las rocas de una región formando parte de la geología del lugar, también van a tener asociados un drenaje ácido natural.

Son muchos los lugares del país donde tenemos drenaje ácido, la mayoría en áreas mineras, pero en otras muchas de origen natural. Por lo general los ríos que tienen este tipo de contaminación tienen un agua rojiza por la presencia de óxidos de hierro (no olvidemos que el mineral principal suele ser pirita, que es un sulfuro de hierro), aunque también puede ser un agua transparente pero que discurre por un fondo rojo por la precipitación de esos óxidos. En estas aguas, dado su elevado contenido en metales y su alta acidez, es prácticamente imposible encontrar vida, pero no del todo imposible, ya que en estas aguas viven sobretodo bacterias, algunas de las cuales se alimentan precisamente de los metales y sin esta contaminación de las aguas no podrían vivir. Este es el motivo del que Río Tinto reciba este nombre, y por tanto, aunque hablemos de un impacto por contaminación, natural o humana, es lo que le da unas características únicas.

Los drenajes ácidos de antiguos minados de carbón y minería metálica son un problema ya que es una de las principales fuentes de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas en el mundo, siendo tóxicos en diverso grado para el hombre la fauna y la vegetación.

Estos drenajes tóxicos contienen metales disueltos y constituyentes orgánicos solubles e insolubles, que generalmente proceden de labores mineras, procesos de concentración de minerales, presas de residuos y escombreras de mina. Existen reportes de la muerte de miles de peces y crustáceos de ríos, afecciones ha ganado y destrucción de cultivos y riveras, así como la introducción de una coloración y turbiedad en aguas de ríos y lagos.

Los drenajes ácidos de mina además de un bajo pH contienen una gran cantidad de sólidos en suspensión con un alto contenido en sulfato y metales (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb, Hg, Cd, Ni), del orden de varios cientos de miligramos por litro. Estos elementos en altas concentraciones son

nocivos para la actividad biológica, contaminan los cursos de aguas y pueden llegar a causar daños a las estructuras construidas por el hombre.

Debido a que este problema puede persistir durante décadas e incluso cientos de años una vez finalizado el ciclo productivo, y que además el tratamiento en depuradoras convencionales tiene un coste muy elevado, existe la necesidad de prevenir su formación y aplicar el tratamiento más adecuado cuando se ha formado, es decir buscar una solución a este problema.

Los métodos de tratamiento pasivo debido a su bajo coste, fácil operación y mantenimiento, y gran eficiencia en el tratamiento de aguas ácidas constituyen una alternativa al tratamiento convencional de los drenajes ácidos de minas de carbón y metálica tanto si las instalaciones se encuentran en operación o en abandono.

Estos métodos van desde humedales construidos, drenajes anóxicos, balsas orgánicas, sistemas de producción alcalina hasta barreras reactivas permeables, en donde el objetivo principal es la supresión de la acidez, la precipitación de los metales pesados y la eliminación de sustancias contaminantes como los sólidos en suspensión, antimoniatos, arseniatos y otros.

La filosofía general de los tratamientos pasivos consiste en cambiar las condiciones de Eh y pH del influente de forma que se favorezca la formación de especies insolubles que precipiten como oxihidróxidos metálicos

Otro método es el empleo de bacterias para catalizar las reacciones y acelerar los procesos que forman precipitados, así como al uso de material alcalino para neutralizar la acidez (subir el pH). En el caso de humedales (wetlands) para aumentar el contacto entre el agua de mina y el oxígeno atmosférico, se diseñan sistemas de incluyan cascadas, lechos serpenteantes y balsas de grandes superficies y poca profundidad.

Para elegir el tipo de sistema pasivo se debe poner especial atención a las condiciones hidrológicas del lugar, al pH del influente, y al contenido de metales y sólidos en suspensión del drenaje. El diseño y la configuración del dispositivo de tratamiento deben asegurar una buena circulación y distribución del influente dentro del sistema, con el fin de maximizar el tiempo de contacto entre el flujo de agua y los substratos reactivos. Entre los principales parámetros a tener en cuenta en el diseño de un humedal, tenemos: el área o superficie, la geometría, la profundidad de las celdas, el tiempo de retención hidráulica y la composición del substrato.

[7] y [8]

3.

EL COBRE



Numero Atómico: 29
Símbolo: Cu
Peso Atómico: 63.5
Densidad: 8.9
Estado a temperatura ambiente: Sólido
Punto de fusión: 1,084 Grados Celsius
Punto de Ebullición: 2,927 Grados Celsius
Numero de Isotopos: 35
Isotopos más comunes: Cu-63 y Cu-65

3.1.Introducción.

El cobre un mineral muy común que se produce de forma natural y que se utiliza en la industria y en la agricultura especialmente para la fabricación de material eléctrico y para la construcción.

Debe su nombre a los romanos. Lo llamaron “aes Cyprium” (mineral de Chipre). Fue el primer metal que se explotó en Egipto y el mundo antiguo, uno de los primeros metales utilizado por el ser humano en la prehistoria y actualmente es el tercero más demandado del mundo, por detrás del hierro y el aluminio. Gracias a su abundancia y a la combinación de sus propiedades químicas, físicas, mecánicas y especialmente eléctricas, ya que es un gran conductor, es un material esencial para los cables eléctricos.

El cobre es un metal no ferroso, dúctil y de color rojizo. Es un elemento químico que pertenece al grupo de los metales de transición y su estado habitual es sólido. Su símbolo es Cu, situado en la posición 29 de la tabla periódica.

Se puede decir que el cobre es uno de los metales más importantes de nuestra tecnología. Con su descubrimiento, el ser humano fue capaz de utilizar un conductor realmente preciso de calor y la electricidad. Fue usado para crear herramientas que hicieron evolucionar la vida

de nuestros antepasados a pasos agigantados, permitiendo posteriormente que pudieran crear técnicas cerámicas y procesos metalúrgicos.

Desde el punto de vista de la evolución del hombre, el cobre ha sido realmente imprescindible, sin su descubrimiento seguramente no hablaríamos de una civilización tan avanzada como la nuestra.

En la actualidad, el cobre está presente en nuestras vidas más de lo que podemos imaginar; ya que la tecnología derivada del cobre es realmente amplia, pues ofrece un mayor ahorro energético que otros metales, además de contar con mayor durabilidad que otros materiales. Mientras otros metales con el tiempo pueden llegar a soltar sustancias nocivas, el cobre aguanta sin ningún problema, siendo por tanto muchísimo más higiénico.

Para que nos hagamos una idea, algo tan rutinario como un vehículo cuenta con cantidades realmente importantes de cobre. También máquinas, monedas, pesticidas, tuberías y herramientas varias.

Podemos decir que el cobre fue un material fundamental para poner fin a la edad de piedra e introducirnos en la era informática en la que nos encontramos.

3.2. Usos.

Como adelantábamos en el punto anterior, el cobre está más presente en nuestras vidas de lo que imaginamos y a continuación vamos a destacar algunos ejemplos:

Gran conductor:

Sus propiedades metálicas hacen del cobre un excelente conductor de calor y electricidad. El cobre es el segundo material con mayor conductividad térmica, estando solo por detrás de la plata, y esta propiedad explica el 50% de la importancia de su uso. Transporta electricidad agua y calor, mejora la eficiencia energética de los productos en los que se aplica y aumenta su durabilidad.

Se emplea en la industria eléctrica:

Como buen conductor de electricidad, el cobre se utiliza en el hilo de cobre, electroimanes, relés e interruptores eléctricos.

También se utiliza para tuberías de suministro de agua. Los tubos de vacío y los tubos de rayos catódicos, contiene cobre.

Las redes informáticas solicitan mayoritariamente cables de cobre, porque permiten transmitir datos con un excelente resultado, de ahí que se emplee con frecuencia para obtener un correcto funcionamiento del teléfono, internet, o la televisión tanto en hogares como en oficinas

Electrodomésticos:

El cobre se utiliza en refrigeradores y sistemas de aire acondicionado. Por ejemplo, los disipadores de calor de los ordenadores están hechos de cobre debido a que el cobre es capaz de absorber cantidad de calor. Por eso es utilizado también para el magnetrón, parte fundamental de los hornos microondas.

Construcción:

Las combinaciones de cobre con otros materiales son también muy utilizadas en la industria de la construcción. Por ejemplo, en la construcción naval se combina cobre con níquel para hacer un material resistente a la corrosión.

Otro de sus usos es el de material para fabricar pararrayos. Estos atraen los rayos y provocan que la corriente eléctrica se disperse en lugar de golpear y destruir la estructura sobre la que están colocados.

Faceta artística:

Este polifacético metal también sirve para traer música a nuestros oídos y belleza a nuestros ojos, dado su característico color rojizo. Muchos de los instrumentos musicales, en particular instrumentos de bronce, están hechos de cobre.

El cobre y las aleaciones de cobre son resistentes al agrietamiento y al desgaste, además de ser materiales muy duraderos y de apariencia atractiva. Por ello muchos arquitectos y diseñadores eligen el cobre para sus construcciones y creaciones como estructuras y estatuas. Un gran ejemplo es la estatua de la Libertad (Nueva York), está hecha de cobre.

También se utiliza a menudo para colorear el vidrio y es un componente del esmalte cerámico.



Imagen 6: Estatua de la libertad

Medios de transporte:

El cobre y sus aleaciones están presentes en todos los medios de transporte: coches, camiones, autobuses, trenes, barcos y aviones. Los nuevos automóviles eléctricos, por ejemplo, pueden contener hasta 33 kilogramos de cobre entre el motor, la batería, los cables y otros componentes.

Otros usos:

- ✓ Como recipientes para contener agua (desde tiempos muy antiguos) ya que es un material muy resistente al óxido.
- ✓ Para eliminar el moho se utiliza el sulfato de cobre. outletminero.org
- ✓ En la agricultura se usan muchas de sus aplicaciones, en especial en fungicidas e insecticidas.
- ✓ Como pigmentos
- ✓ En soluciones galvanoplásticas
- ✓ Como catalizadores
- ✓ Mantiene la temperatura, facultad por la cual se usa en plantillas de zapatos.

3.3. El cobre y salud.

El cobre es reconocido por la Agencia de Protección Ambiental en Estados Unidos como el primer material bactericida del mundo que tiene propiedades benéficas en la prevención de agentes patógenos.

Aunque la proporción de cobre que se encuentra en nuestro cuerpo podría caber en la cabeza de un alfiler, esta proporción es esencial para nuestra vida. Algunos los suplementos nutricionales se les añaden partículas de cobre ya que nuestro cuerpo no puede subsistir sin él.

Es importantísimo para prevenir problemas como la anemia, anorexia y astenia, y de la arteriosclerosis y las enfermedades del corazón, incluso para detener daños celulares. El cobre promueve el crecimiento y la respiración de las células, reduce calambres, dolor o reumática conjunta, y las infecciones virales y bacterianas.

El cobre se encuentra en todos los tejidos del cuerpo, promoviendo la asimilación de hierro en el intestino y actuando como un catalizador para la formación de hemoglobina. Junto con la vitamina C, la médula y las enzimas mantiene los vasos sanguíneos elásticos y el músculo del corazón activo. También lo protegen de la agresión de los radicales libres. Las concentraciones más altas de cobre en el cuerpo humano se encuentran en el hígado, corazón, cerebro, huesos y músculos. No solo es que estas partes del cuerpo son las que aglutinan mayor cantidad de cobre, sino que contienen más de 50% de la cantidad total en el cuerpo.

Tiene un antiséptico y desintoxicante que lucha contra los estados infecciosos y virales, aumenta el sistema inmunológico y activa el metabolismo. El cobre aumenta la producción de la formación de elastina y colágeno. Evita las arrugas y la flacidez de la piel y actúa en el mantenimiento de una piel sana. Además, es compatible con el desarrollo de los órganos sexuales femeninos y alivia el dolor menstrual.

Una de las funciones importantes en nuestro cuerpo es la de servir como constituyente de enzimas. Así, la función en el metabolismo del hierro es realmente importante. Asimismo, también protegerá nuestros huesos convirtiéndose además en un potente antioxidante.

Hay estudios que aseguran que, durante el embarazo, una dosis correcta de cobre puede ayudar al desarrollo cerebral del niño.

El requerimiento diario de cobre varía entre 1,5 y 5 mg. En particular: 0,9 mg para adultos, 1.0 mg para las mujeres embarazadas, 1,3 mg para las mujeres que amamantan.

Los bajos niveles de este metal en nuestro cuerpo, pueden traernos problemas futuros de gran importancia como osteoporosis, degeneración del sistema nervioso e incluso

enfermedades cardiovasculares. Así como trastornos en la formación de los huesos, la piel y la pigmentación del pelo. No obstante, como pasa con el hierro o el zinc, ingerir grandes cantidades puede ser también perjudicial para nuestro cuerpo ya que puede causar daño tóxico a la flora intestinal, que puede irritar las membranas mucosas del esófago, la faringe y el estómago.

[9], [10] y [11]

3.4. El cobre naturaleza.

El cobre se encuentra en nuestro planeta de forma natural y antropológica. En la corteza terrestre, su presencia media abunda en unos 60 miligramos por cada kilogramo. Los óxidos, los sulfuros y otros minerales de cobre son parte de los componentes de las rocas que forman la corteza terrestre y han dado lugar a los suelos y a los sedimentos a través de procesos de alteración y de transporte.

En el mar, el cobre se encuentra alrededor de $2,5 \times 10^{-4}$ miligramos por litro. Su presencia es notablemente más baja en los océanos a medida que nos alejamos de las costas. En aguas interiores, el metal rojo puede alcanzar fácilmente valores que superan el 2×10^{-2} mg/l.

Las actividades volcánicas, por su parte, han llevado el cobre a la atmósfera en forma de materiales en polvo y en partículas que después se depositan en el suelo y en las aguas superficiales.

Fuentes naturales

Los peces y otros organismos muertos al depositarse en el fondo de los océanos forman unos sedimentos ricos en cobre y otros materiales orgánicos, lo que supone una de las principales fuentes naturales de cobre.

Respecto de los procesos naturales, se estima que anualmente el depósito total de cobre en el ambiente acuático es aproximadamente cuatro veces superior al que produce el hombre.

Fuentes antropológicas

Entre las fuentes antropológicas del cobre están las emisiones de las actividades mineras de depuración o de las industrias metalúrgicas que producen o utilizan cobre, cinc, plata, oro y plomo.

También contribuyen a las emisiones de cobre, la incineración de basuras urbanas y la producción de energía a través de la combustión de carbón. Otras fuentes vienen de productos que usan el metal rojo en su fabricación, como barnices antimohos; en la agricultura, los alguicidas y fungicidas, y en zootecnia como integrador alimentario.

[12]

3.5. Propiedades químicas.

El cobre es el primer elemento del subgrupo Ib de la tabla periódica y también incluye los otros metales de acuñación, plata y oro. Su átomo tiene la estructura electrónica $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$.

El bajo potencial de ionización del electrón $4s^1$ da por resultado una remoción fácil del mismo para obtener cobre(I), o ion cuproso, Cu^+ , y el cobre(II), o ion cúprico, Cu^{2+} , se forma sin dificultad por remoción de un electrón de la capa $3d$.

El peso atómico del cobre es 63,546, tiene dos isótopos naturales estables ^{63}Cu y ^{65}Cu . También se conocen nueve isótopos inestables (radiactivos). El cobre se caracteriza por su baja actividad química. Se combina químicamente en alguno de sus posibles estados de valencia. La valencia más común es la de $2+$ (cúprico), pero $1+$ (cuproso) es también frecuente; la valencia $3+$ ocurre sólo en unos cuantos compuestos inestables.

Un metal comparativamente pesado, el cobre sólido puro, tiene una densidad de 8.96 g/cm^3 a 20°C , mientras que el del tipo comercial varía con el método de manufactura, oscilando entre 8.90 y 8.94 .

El punto de fusión del cobre es de $1083.0 (+/-) 0.1^\circ\text{C}$ ($1981.4 +/- 0.2^\circ\text{F}$).

Su punto de ebullición normal es de 2595°C (4703°F).

El cobre no es magnético; o más exactamente, es un poco paramagnético. Su conductividad térmica y eléctrica son muy altas. Es uno de los metales que puede tenerse en estado más puro, es moderadamente duro, es tenaz en extremo y resistente al desgaste. La fuerza del cobre está acompañada de una alta ductilidad. Las propiedades mecánicas y eléctricas de un metal dependen en gran medida de las condiciones físicas, temperatura y tamaño de grano del metal.

De los cientos de compuestos de cobre, sólo unos cuantos son fabricados de manera industrial en gran escala. El más importante es el sulfato de cobre(II) pentahidratado o azul de vitriolo, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$. Otros incluyen la mezcla de Burdeos; $3Cu(OH)_2CuSO_4$; verde de París, un complejo de metaarsenito y acetato de cobre; cianuro cuproso, $CuCN$; óxido cuproso, Cu_2O ; cloruro cúprico, $CuCl_2$; óxido cúprico, CuO ; carbonato básico cúprico; naftenato de cobre, el agente más ampliamente utilizado en la prevención de la putrefacción de la madera, telas, cuerdas y redes de pesca.

[13]

3.6. El cobre en el medio ambiente.

Como venimos viendo en apartados anteriores el cobre es un elemento que está presente en la corteza terrestre y en todos los medios, aguas, en océanos, lagos y ríos, sedimentos y suelos, desde cantidades mínimas a ricos yacimientos mineros. Su contenido en la corteza terrestre es, en promedio, del 0,006%. Además, es esencial para todas las formas de vida: las plantas, los animales y los seres humanos necesitamos el cobre para tener una buena salud.

El arroz y el trigo, los dos principales cultivos de alimentos a nivel mundial, son muy sensibles a los suelos con bajos niveles de cobre, lo que provoca pérdidas de producción y cosechas de menor calidad. Si un suelo contiene niveles insuficientes de cobre, no resulta apto para actividades agrícolas intensivas.

De hecho, en Europa se estima que el 19% de la tierra cultivable, que equivale a 18 millones de hectáreas de suelos cultivados, tienen una biodisponibilidad deficiente de cobre. Para compensarlo, es muy común abonar a los suelos fertilizantes ricos en cobre y con tratamientos de sulfato de cobre.

El cobre es natural, totalmente reciclable (100%) y duradero. No pierde ninguna de sus propiedades químicas o físicas en el proceso de reciclaje, puede ser fácilmente reincorporado en otros ciclos productivos y tiene pocas restricciones en su uso.

En condiciones normales de uso, no es persistente, ni bioacumulable, ni tóxico para el medio ambiente. Una exhaustiva evaluación de riesgos, llevada a cabo de forma voluntaria por la industria del cobre (abarcando la producción, el uso y aspectos sobre el final de la vida útil en la cadena de valor del cobre), demuestra que, en general, el marco normativo existente protege el medio ambiente y la salud de los trabajadores de la industria y de la población europea.

Además, el cobre ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero: Incrementar el diámetro de un conductor de cobre reduce las emisiones de CO₂. Entre las ventajas asociadas, se incluyen una elevada tasa de retorno (payback) medioambiental, una reducción de los costes del ciclo de vida y una reciclabilidad total al final de la vida útil.

El futuro de la energía sostenible en Europa depende de la interdependencia entre la eficiencia energética y las energías renovables. El cobre es un material esencial en la construcción de los sistemas energéticos del futuro. Juega un papel fundamental en los sistemas de energías renovables como la energía solar, eólica, mareomotriz, hidroeléctrica, de biomasa y geotérmica. El cobre es el mejor conductor térmico y eléctrico entre los metales que se emplean en infraestructuras y diseño de productos. Los sistemas que utilizan cobre generan, transmiten y usan la energía de forma más eficiente, lo que permite reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y optimizar los costes del ciclo de vida.

3.7. El Cobre en el mundo.

El cobre además de ser una de las materias primas con mayor uso industrial del mundo es un fiel indicador de la economía mundial, por lo que los inversores del sector de materias primas siguen de cerca la evolución de su precio. El interés de los inversores en su evolución se debe a que las fluctuaciones en el precio del cobre vienen determinadas por la demanda creada en el sector industrial. Desde el año 1900, el cobre ha tenido un crecimiento anual del 3% en la producción.

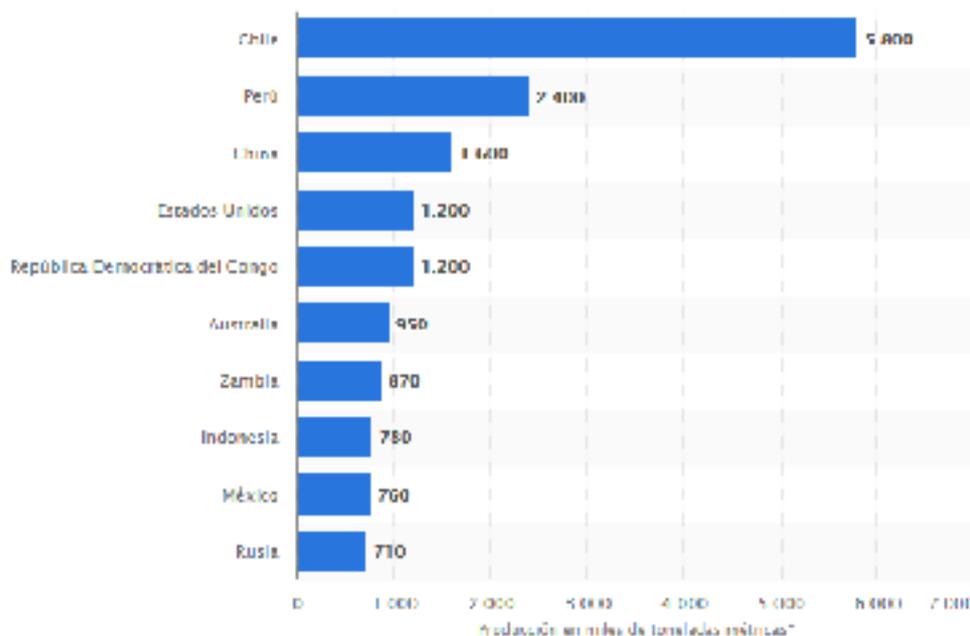


Imagen 7: Estadística del ranking de los principales países productores de cobre del mundo.

Esta estadística muestra un ranking de los principales países productores de cobre a nivel mundial en 2018. En ese año, el primer país productor de cobre fue Chile, con aproximadamente 5,8 millones de toneladas métricas producidas, seguido de Perú, con una cifra de aproximadamente 2,4 millones de toneladas métricas.

Existen importantes productores de cobre en el mundo, siendo Chile el mayor país productor del mundo con un 34% del total de producción de cobre, seguido de Perú y China.

Chile

Chile, con aproximadamente 5,8 millones de toneladas métricas producidas en el último año, ha sido y es en las últimas dos décadas el líder mundial en la producción de cobre, entre 1990 y 2010 se triplicó la producción en este país. En los últimos 20 años Chile ha elevado su participación en el mercado mundial un 17,3%, lo que lo sitúa como el principal productor de cobre en el mundo.

El 47% el presupuesto de Chile se financia a raíz de las ganancias obtenidas del alto precio que ha alcanzado el cobre en los mercados internacionales. La exportación a diferentes países del metal rojo es por tanto una riqueza clave económica y socialmente para este país. De hecho, el boom experimentado a partir de la década de los noventa se explica por el dinamismo sin precedentes alcanzado por la minería chilena y por el clima de apertura económica del país, que permitió a las inversiones extranjeras ocupar un lugar relevante en el auge del sector. Fruto de esta apuesta, la minería y en especial el cobre, ha sido protagonista del alto y sostenido crecimiento económico de las últimas décadas, hecho reconocido internacionalmente y que le valió a Chile ser aceptado por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE).

En Chile encontramos la empresa estatal Codelco (Corporación Nacional del Cobre de Chile) que es sin duda, el mayor productor de cobre más grande a nivel mundial. Otra de las grandes productoras de cobre también es chilena, Antofagasta (ANTO): la quinta mayor productora de cobre a nivel mundial.

Perú

Perú es el segundo mayor productor de cobre, con un 8% del total de la producción a nivel mundial. El cobre ocupa el primer lugar en el valor de las exportaciones del Perú.

La producción nacional de cobre, el principal producto de exportación del Perú, alcanzó 2.43 millones de toneladas métricas durante el 2018.

China

China se estima una producción de 1.600 millones de toneladas.

La producción china de cobre refinado trepó un 16,7 por ciento interanual a un máximo récord en diciembre, en momentos en que las fundiciones buscaron procesar la mayor cantidad posible del metal por menores cargos de tratamiento a fines de 2017. La producción anual de cobre refinado también alcanzó un récord de 8,89 millones de toneladas.

Desde el año 2000 en China, el uso del cobre aumentó cerca del 9,9 MT convirtiéndose el País en el mayor consumidor de cobre del mundo.

En 2018, **los Estados Unidos** registraron una producción de 1,1 millones de toneladas métricas de cobre refinado primario, mientras que la producción de cobre refinado secundario se situó en torno a unas 40.000 toneladas métricas. La producción minera del país está valorada en miles de millones de dólares, por lo que se trata de una industria importante para EEUU.

Australia es el quinto mayor productor mundial de cobre de cobre. Esto se debe a que cuenta con la cuarta mayor productora de cobre a nivel mundial; la empresa Biliton Billiton (BHP) con sede en Melbourne.

Zambia, en el sexto lugar es uno de los países productores de cobre más importantes del mundo, siendo conocido por el Cinturón de Cobre

Indonesia, Grupo México y Rusia ocupan el octavo, noveno y décimo lugar. México, destaca por grupo México incluye a mineras de cobre como Southern Copper Corporation (SCCO) y American Smelting and Refining Company

España, hace más de un siglo que no se encuentra en el ranking mundial de productores de cobre. En España el cobre se concentra mayoritariamente en la Faja Pirítica Ibérica y éste es escaso en el resto de Europa. Además, la producción minera representa sólo el 2,2 % de la cantidad consumida por la industria española. Por ende, las Empresas españolas para abastecerse de cobre en las diferentes producciones de aleaciones y productos semielaborados lo compran en el mercado mundial. Debido a la lejanía geográfica para su compra, utilizan cobre reciclable en más de un 40% (muchas usan hasta el 100%) ya que esta materia prima se puede reciclar indefinidamente sin que pierda sus propiedades.

[16], [17], [18], [19], [20], [21] y [22]

4. PROCESO DE EXTRACCIÓN Y TRITURACIÓN DEL COBRE.

4.1. Introducción.

La actual demanda mundial y el precio del cobre, hacen que este mineral sea de gran interés para la industria minera. Los minerales de sulfuros de cobre generalmente ocurren con la pirrotita, pirita, arsenopirita y molibdenita, y con el oro y la plata.

Hay que diferenciar dos zonas principales en la mina:

La corta a cielo abierto o mina subterránea: donde se encuentra el cobre, y donde realizaremos la extracción.

La planta: Planta industrial donde se procesa el mineral hasta obtener el cobre concentrado o puro.

Los sistemas de extracción de mineral comprenden dos tipos de yacimientos, entre los que la diferencia fundamental radica en el tipo de mineral presente mayoritariamente en la tierra. El mineral puede estar oxidado (extracción a cielo abierto) o sulfurado, asociado a azufre, que están presentes a mayores profundidades (extracción subterránea). Cuando se expone al aire, se forma una fina capa protectora de óxido que impide cualquier reacción posterior. Cuando se expone a una atmósfera húmeda durante un largo periodo de tiempo, se forma una pátina verde de sales de cobre que protege el metal contra la corrosión.

Extracción a cielo abierto: Se llama mina a cielo abierto o a tajo o rajo abierto a la explotación minera que se desarrolla en la superficie del terreno. Para la explotación de una mina es necesario excavar con medios mecánicos o explosivos los terrenos que recubren o rodean la formación geológica que forma el yacimiento. Se extrae en forma de roca, se carga en camiones y es transportada hasta la sección de trituración y molienda.

La extracción subterránea: Es aquella explotación de recursos mineros que se desarrolla por debajo de la superficie del terreno, la explotación de un yacimiento mediante minería subterránea se realiza cuando su extracción a cielo abierto no es posible por motivos económicos, sociales o ambientales. Para la minería subterránea se hace necesaria la realización túneles chimeneas, pozos y galerías y también cámaras para completar el proceso de extracción.

[23] y [25]

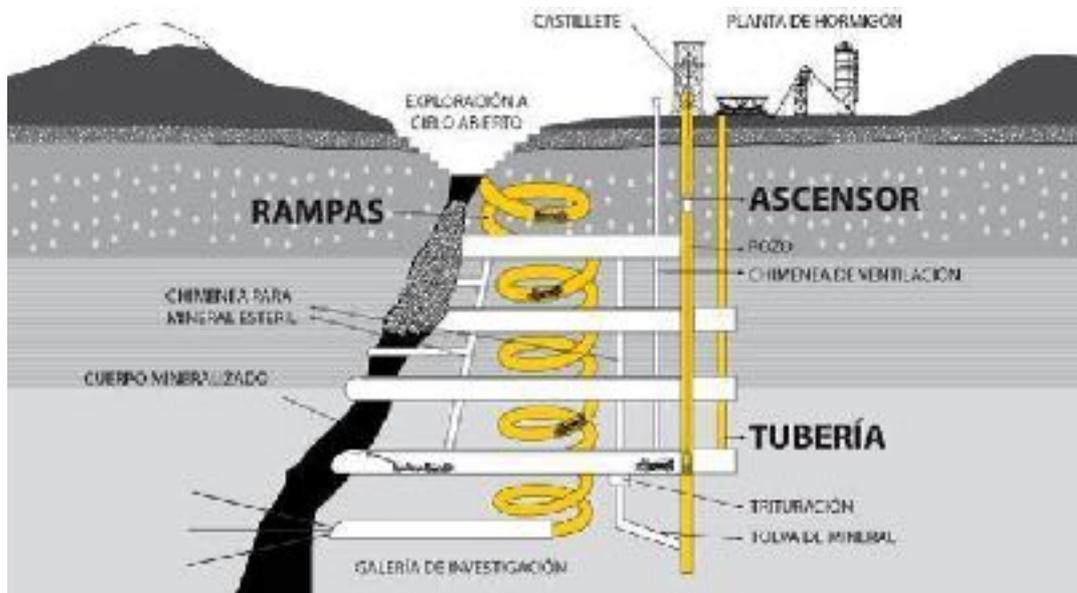


Imagen 8: exploración subterránea y a cielo abierto.

4.2. Extracción y transporte a planta

El cobre es extraído de la mina mediante voladuras en las minas de extracción a cielo abierto y en las subterráneas, es necesario realizar una perforación y a continuación la voladura. Primero se realizan agujeros con perforadoras de aire comprimido o hidráulicas. A continuación, se insertan barrenos en los agujeros y se hacen explotar, con lo que la roca se fractura y puede ser extraída.

Una vez extraída la roca es transportada hasta la planta por medio de camiones de una media de 90 t y es vaciado a la Tolva de Alimentación, que suele tener una capacidad de 135 t vivas, la cual cuenta con una parrilla fija para retirar las piedras con sobre tamaño.

Hay que tener en cuenta que el cobre no se extrae directamente como metal, se encuentra mezclado con otros minerales de los cuales tendremos que separarlo posteriormente. Cuanta más cantidad de cobre metálico se obtenga, más pagaran por él.

[25]

4.3. Trituración

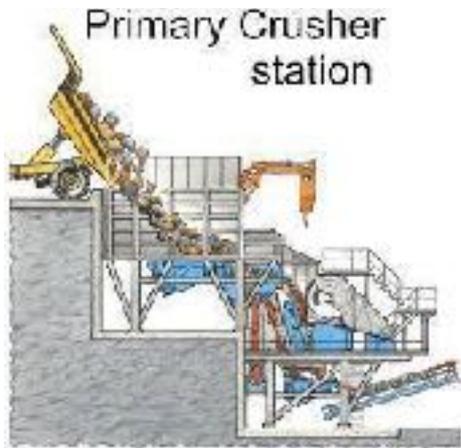


Imagen 9: Estación de trituración Primaria.

Una vez en la planta entra al proceso de trituración cuyo objetivo es reducir el tamaño del mineral, hasta obtener tamaños uniformes para su envío a molienda.

El mineral podrá pasar directamente a la tolva de alimentación de la trituradora primaria, o bien ser depositado en la zona de acopio de mineral junto a la tolva, desde donde se recogerá con una pala cargadora para introducirlo en la tolva cuando sea requerido.

La trituración consta de 3 etapas ya sea en circuito abierto o en circuito cerrado, y suele tener clasificadores por cribado antes de la trituración primaria y secundaria. Es posible y práctico para eliminar la tercera etapa mediante la incorporación de un molino de barras en la sección de molienda. Este es un diseño muy práctico y a menudo una necesidad cuando se tiene minerales húmedos y pegajosos.

Desde la tolva de alimentación donde es depositado el ROM (Run of Mine), el mineral es extraído por un alimentador de placas que alimenta el triturador primario de mandíbula donde es reducido desde un tamaño máximo de 1m, hasta obtener material más fino para ser enviado al triturador secundario.

El triturador primario cuenta con un martillo rompedor hidráulico para reducir el mineral de sobre tamaño que llega procedente de la mina y su producto es vaciado a la tolva de alimentación.

El producto de la trituración primaria es trasladado mediante cintas de velocidad constante y descargado a la siguiente fase de trituración (Trituración Secundaria) previa clasificación en una criba secundaria. Se utiliza en muchos casos la colocación de un electro-imán auto

limpiante y un detector de metales en la cinta transportadora que va de la trituración primaria a la secundaria para la extracción de partículas de acero magnético (Otra opción sería la instalación de una polea magnética).

Una vez en la criba secundaria el bajo tamaño es enviado a la cinta colectora de trituración secundaria/terciaria. El sobre tamaño de las dos bandejas superiores alimenta a un triturador secundario de cono. El sobre tamaño de la bandeja inferior es colectado y enviado hacia una criba terciaria. El sobre tamaño de ambas cubiertas es trasladado mediante una cinta a una tolva de trituración terciaria que descargara en un cono terciario.

El producto triturado corresponde al producto final y es conducido a una criba terciaria para su clasificación, donde el bajo tamaño es descargado hacia una tolva que contiene el producto final de la trituración.

A continuación el mineral triturado pasante será descargado a la cinta que alimenta el molino de Bolas.

Si la trituradora es de gran capacidad y no se puede descargar todo a la molienda, el mineral triturado y el pasante se conducirán a un acopio cerrado (domo) de capacidad viva de 24 horas (Figura 10). De ahí el material se descarga mediante alimentadores a la cinta que lo transportará a molienda.

Imagen 10: Ejemplo de Domo de acopio de mineral



Se pueden emplear zarandas para la separación de finos puede emplearse, cuando las condiciones lo exijan. Los finos son retirados por una parrilla instalada adelante de cada etapa de reducción para una mayor eficiencia y un menor desgaste en las superficies de trituración.

[25]

4.4. Molienda

La molienda, es un proceso constituido por un molino de bolas de etapa Única con clasificación de circuito cerrado, cuyo objetivo es obtener un tamaño objetivo necesario para poder pasar al espesador y poder ser tratados en la siguiente etapa.

Es una operación de reducción de tamaño de rocas y minerales de manera similar a la trituración, pero obteniendo productos más pequeños aún y de forma más regular. La molienda está constituida por molinos cilíndricos de movimiento giratorio en los cuales con la ayuda de bolas de acero el material es triturado permitiendo la liberación de la gran parte de las partículas de cobre.

El mineral triturado será trasladado del circuito de trituración al circuito de molienda por medio de una cinta transportadora. Esta cinta alimentara el mineral a la tolva de mineral fino, que es la tolva de alimentación del circuito de molienda.

Desde la tolva de mineral fino, el mineral triturado es transportado por medio de los alimentadores de producto por cintas finales al sistema de transporte de alimentación a molienda a un molino de bolas. El mineral es pesado en una báscula conectada al sistema de alimentación de molienda.

Es imperativo para el éxito del proceso el monitorizado de tamaño de partículas de producto de molienda para la recuperación global del cobre. Un tamaño de partícula muy fino es una indicación de una recirculación excesiva, que se traducirá en propiedades de lavado y filtrado insatisfactorias después de la lixiviación. Igualmente, un tamaño demasiado grueso puede ocasionar acumulaciones en el fondo de los reactores.

El control inmediato del tamaño de partícula es posible mediante el ajuste de velocidad del molino y alimentación de mineral.

La velocidad de alimentación del mineral está controlada por alimentadores de cinta con accionamiento de velocidad variable (VSD) ubicados en la sección de triturado. El control de la alimentación es esencial para la eficiencia de la molienda y ayuda a reducir las sobrecargas y las fluctuaciones a lo largo de toda la planta.

El grado de molienda es controlado por la velocidad y potencia del molino, que se ajusta mediante la adición de medios de molienda. Las variaciones en la velocidad de molienda son controladas por el accionamiento del variador de velocidad, que normalmente aumenta la velocidad con tipos de mineral difíciles de moler.

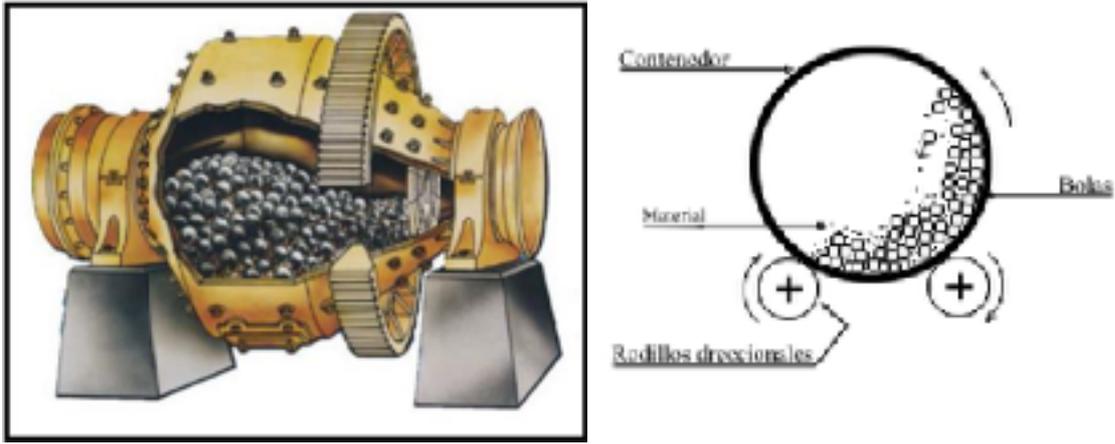


Imagen 11: Ejemplo de molino

Después de la molienda y la clasificación de la pulpa molida, es dirigida a través de hidrociclones y la sección fina es llevada al espesador de la sección de molienda. El hundido del espesador es bombeado al tren de lixiviación, más específicamente al tanque de alimentación a lixiviación. El rebose del espesador es parte del agua de proceso reciclada de vuelta a circuito de molienda, molino de bolas y clasificadores.

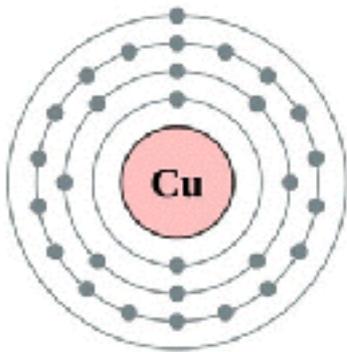


Imagen 12: Interior molienda.

Hay pruebas de que esta combinación de trituración y molienda se traduce en menores costos para reducir grandes tonelajes de mineral de flotación a tamaño.

[25] y [30]

5. PROCESOS DE PRODUCCIÓN DEL COBRE

El proceso de trituración y molienda es el común para minerales de primer grado y segundo grado, y es el primer paso del proceso de obtención. En el caso de minería subterránea el proceso es más extensivo, y se requiere un proceso de molienda húmeda. El siguiente paso de obtención puede ser distinto según el tipo de mineral que nos encontremos. Hay dos métodos de obtención del cobre:

- **Piro metalurgia**, técnica utilizada para el mineral primario (calcopirita) el cual tiene que ser concentrado antes de ser fundido en hornos a elevadas temperaturas.
- **Hidrometalurgia**, proceso totalmente distinto de extracción de metales por medios acuosos, que incluye otras formas de extracción por medio de lixiviación y recuperación de fluido.

5.1. Pirometalurgia (concentrados).

La pirometalurgia es una operación de tratamiento de mineral de bajo grado, formado principalmente por dos procesos, la flotación y la fusión. Esta operación obedece una planificación muy cuidadosa de diseño de su planta y selección de equipos.

El circuito de molienda debe ser lo más simple posible y para grandes tonelajes, y del menor número como sea posible.

Las operaciones de minera a gran escala, de los cuales los pórfidos de cobre son típicos, deben recurrir a la concentración antes de ser fundido. Existen diferentes métodos de concentración, para el caso del cobre se trabaja con flotación.

Esto es necesario porque los minerales son generalmente de bajo grado y requieren de flotación para producir un concentrado aceptable para las fundiciones.

5.1.1 Flotación.

La flotación es un proceso de separación físico-químico ampliamente aplicado en la concentración de minerales y se basa en la interacción entre burbujas y partículas finas de sólidos suspendidos en el agua separando las partículas sólidas mediante su fijación a burbujas de aire, que hacen flotar al conjunto formando espumas.

El mineral molido es conducido hasta la planta concentradora y es descargada del acondicionador (partículas finas) para ser tratada en un banco de celdas llamadas celdas de flotación donde se hace inyecta algún gas que puede ser aire

El mineral molido, la roca molida con el agua, que viene de molienda, forma una pulpa de material mineralizado, que es conducido hasta la planta concentradora y descargada al acondicionador para ser tratada en un banco de celdas llamadas celdas de flotación. Donde se inyecta un gas que puede ser aire y se hace burbujear por ejemplo oxígeno desde el fondo de manera que las partículas de cobre presentes en la pulpa se adhieran a las burbujas de aire y suban con ellas a la superficie y se acumulen en forma de espuma. De esta manera el cobre es retirado en forma de espuma espuma y en la solución acuosa se mantienen los otros componentes, que son sales de Fe, Al, Mn, Ca, Na, Mo, As, Zn, Hg, Pb, Cd y escoria, que pasan a ser contaminantes por qué ya no tienen valor.

La espuma rebasa hacia unas canaletas que bordean las celdas y que llevan el material al proceso de decantación.

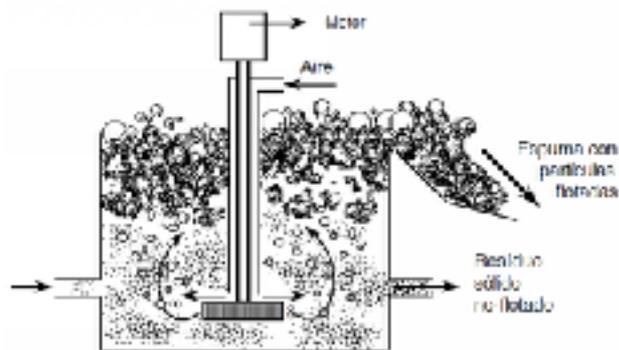


Imagen 13: Proceso de Flotación

La clave de este proceso y que permite la separación es que las partículas de sulfuros de cobre son hidrofóbicas, es decir que van a tener más tendencia a juntarse a las partículas de aire que a permanecer en la pulpa del agua, y van a juntarse a flotar con la burbuja de aire que tiene la tendencia de subir. Y van a hacer que se separen de la ganga los sulfuros de cobre y va a generar tres fases dentro de la celda:

- Zona de alimentación, por donde entran las partículas finas
- Zona de colección donde interactúan
- Zona de espuma (unión el aire con las partículas de sulfuros), van a generar una zona de espuma arriba, que es el concentrado.

Depende del mineral con el que estemos trabajando la zona de espuma va a ser más o menos estable, para poder separar la zona de espuma tiene que ser lo más estable posible para mantener una interfaz clara, para ello añadimos aditivos químicos que ayudan a estabilizar la zona de espuma.

Los sólidos que se quedaron en el fondo (relave), no tienen sulfuros, son hidrofílicas. La constante salida del concentrado y el relave van a permitir que se puedan seguir una recirculación constante.

Para que el proceso de flotación sea satisfactorio es necesario:

- Una densidad adecuada y variable
- Promover una zona calma, pulpa zona estable.
- Separación de la ganga constantemente
- Hacer la descarga de la espuma.
- Mantener un pH óptimo (juega un rol importante en el proceso de flotación)
- Realizar filtración, planta de filtros en la que se extrae el agua

Reactivos de Flotación de Cobre

Para un mejor resultado en la etapa de flotación y para que se acelere el proceso se utiliza la adición de acondicionadores, que permiten una alimentación más uniforme y por tanto efectiva. Es una práctica muy común y beneficiosa, que aseguran que los reactivos se mezclen bien con la pulpa antes de iniciar la flotación. Los reactivos añadidos se mezclan meticulosamente y reaccionan con la pulpa.

La cal se suele añadir al molino de bolas por un alimentador de reactivos secos. El espumante y el colector se agregan en el clasificador antes de flotación para aprovechar el efecto de los reactivos. Los reactivos pueden también ser adicionados por etapas o en las celdas en el circuito de flotación.

Otra medida de precisión es la **instalación de muestreadores automáticos** son instalados en el circuito. El uso de estos dispositivos elimina el error humano y asegura la precisión necesaria para el control y la evaluación.

Las celdas de flotación mecánicas deben estar diseñadas para una alta capacidad y con características de flexibilidad para manejar las condiciones fluctuantes de funcionamiento con un mínimo de atención. Relaves de bajo contenido de cobre y un concentrado de alta ley son asegurados a través de la acción selectiva de las “celdas de las etapas de flotación primaria, y el circuito de limpieza.

Tiene dos etapas principales:

Etapas de Flotación de Limpieza de Cobre

Para mantener las condiciones ideales de flotación y producir concentrados de alto grado, es muy común limpiar los concentrados primarios en una celda de flotación. Una mejor calidad de concentrado se logra tras dos o más etapas de limpieza en un banco, que además no necesita bombas auxiliares.

Los relaves de flotación de limpieza son devueltos a la cabeza del circuito de flotación primaria para retratamiento. En muchos circuitos de molienda, los relaves contienen partículas mixtas adheridas con partículas de ganga. En estos casos es necesario espesar o clasificar y remoler esta fracción. Los clasificadores centrífugos están siendo aplicados con mucho éxito para la clasificación, aunque no son de gran importancia al requerir un mayor mantenimiento que un espesador con su descarga inferior alimentando al circuito de remolienda.

Espesamiento y Filtración de Concentrados de Cobre

El diseño incorpora un espesamiento tanto para los concentrados y relaves para la recirculación de agua y de eliminación de relaves.

Una bomba de diafragma de carrera ajustable en el espesador de concentrados asegura un control absoluto de los volúmenes suministrados al filtro. Cuando el filtro está fuera de servicio temporalmente para algún trabajo de mantenimiento, los concentrados pueden ser recirculados al espesador.

Las primeras células producen un concentrado primario mientras que las últimas celdas permiten recuperar el mineral que no flota antes. El concentrado o producto intermedio de estas dos celdas es devuelto por gravedad a la quinta celda. El concentrado primario de las primeras ocho celdas se limpia en dos etapas en un banco de cuatro celdas del tipo “celda a celda”.

Los relaves de la flotación de limpieza se bombean de vuelta al molino de bolas para remoler. Para controlar la dilución se coloca un clasificador cónico en este circuito, los sólidos gruesos se remuelen, y el rebose es usado como dilución en el circuito de molienda. Es posible eliminar esta clasificación en algunos casos, pero el control es menos positivo. Una sección de remolienda independiente podría considerarse si la cantidad de productos intermedios justifica la inversión.

El concentrado final se bombea a un espesador. Una bomba de diafragma de carrera ajustable, montado en el espesador descarga el material espesado hacia el filtro de discos.

5.1.2. Fundición

En esta etapa, quedan atrás los baños de burbujas en celdas de flotación y entran en escena los hornos y el fuego para conseguir un cobre de mayor pureza, ya que el cobre retirado todavía mantiene impurezas.

El concentrado obtenido es expuesto a altísimas temperaturas para ser fundido y así conseguir el principal objetivo de la fundición: separar el cobre de otros minerales e impurezas.

1.Recepción y muestreo

El concentrado de cobre que proviene de la flotación se almacena en áreas especiales, desde donde se extrae una muestra del material y se lleva a análisis del laboratorio. El concentrado hay que analizarlo porque además de cobre contiene varios otros minerales. El objetivo de esta primera fase es determinar la cantidad de cobre, hierro, sílice y azufre además del porcentaje de humedad que presenta el material. Esta información es fundamental para poder avanzar en el proceso de fundición y llegar al segundo paso, la fusión. De acuerdo a los resultados, el material se clasifica en silos (construcciones de almacenaje), desde los cuales más tarde será despachado a los hornos de fundición.

2.Fusión

El material es llevado a hornos de fundición y expuesto a 1200°C. Se pueden utilizar dos tipos de hornos:

A. Horno de reverbero: con este tipo de horno se obtiene la escoria y el eje (también denominado mata) que contiene entre un 45 y un 48 por ciento de cobre.

B. Convertidor modificado de teniente (CMT): la característica principal de este segundo tipo es que realiza al mismo tiempo la fusión y la conversión. Cuando el concentrado pasa a estado líquido, los elementos que lo componen se separan de manera natural según su peso; quedando los materiales más livianos en la parte superior del fundido y el cobre, de mayor peso, acaba en el fondo.

3. Conversión

En esta fase el material proveniente de la fusión es procesado mediante combinaciones químicas para separar aún más el cobre de la denominada “escoria” (residuos del proceso) obteniéndose así metal blanco que contiene hasta un 75% de cobre. La conversión se realiza en reactores cilíndricos de 4,5 metros de diámetro por 11 de largo, y el mineral obtenido en esta etapa se denomina “cobber blíster” (el que se logra tras la fusión y la conversión) que alcanza, aproximadamente, un 96% de pureza.

4. Pírorrefinación

Este es el gran paso de la fundición y tiene como objetivo extraer los restos de oxígeno presentes en el blíster de cobre, para incrementar aún más la pureza del mineral. El blíster de cobre pasa por unos hornos anódicos en los que también se inyecta gas natural con vapor de aire. Esta combinación reduce el nivel de oxígeno presente en el material fundido, logrando ánodos del 99,7% de pureza. El producto resultante de la fundición es moldeado en planchas de cobre (ánodos), de un peso que puede llegar a superar, incluso, los 400kg dependiendo del tipo de faena. Estas pueden ser vendidas directamente o llevadas a una última etapa de procesamiento llamada electro refinación.

5. Electro refinación

Es el último proceso en el que mediante corriente eléctrica (electrólisis) se transforma los ánodos producidos en la fase anterior en cátodos de cobre de una muy alta pureza: 99,9%

[26]

5.1.3 Esquema resumen del proceso.

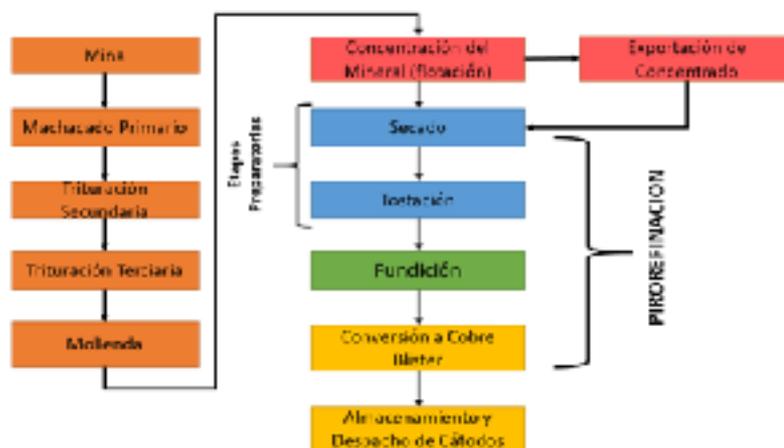


Imagen 14: Esquema resumen proceso Pírorrefinación.

5.2. Hidrometalurgia (cátodos)

5.2.1. Introducción

Una vez pasado por el proceso de trituración y molienda, proceso común para ambos modelos de extracción (eso sí, sujeto a alguna variación), que genera una importante cantidad de material particulado, se realiza el lixiviado del mineral ya molido, el cual consiste en solubilizar el cobre mediante la adición de ácido sulfúrico.

El cobre separado es vuelto a pasar a una solución acuosa, en donde se realizará una electrólisis que requiere grandes cantidades de energía. Las grandes cantidades de roca que se manejan requieren también grandes cantidades de agua, por lo que el uso eficiente de esta resulta fundamental.

El cobre lixiviado se recuperará de la solución mediante las operaciones de extracción por solventes y electro-obtención.

[25]

5.2.2. Lixiviación

La lixiviación es un tipo de extracción sólido-líquido en el que un componente sólido pasa a disolución mediante reacción química. El principal objetivo del proceso de lixiviación es disolver el cobre, contenido principalmente en forma de calcosita (Cu_2S), bajo condiciones atmosféricas.

El mineral molido será bombeado desde el circuito de molienda al circuito de lixiviación por vía del espesador. Una vez en el espesador se separará el mineral del agua, el agua caerá por el rebose y el mineral será llevado a los pre-reactores de lixiviación.

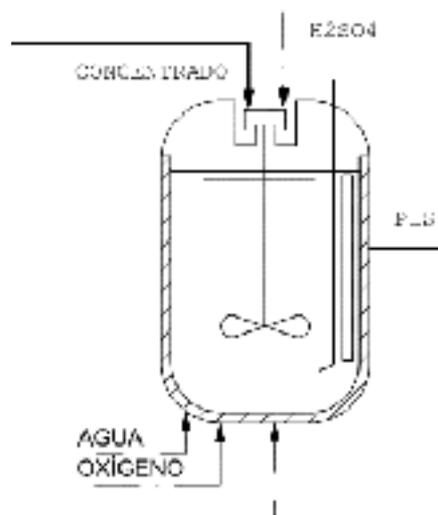


Imagen 15: Lixiviación en reactor

La alimentación a los reactores de lixiviación se prepara en el tanque de alimentación donde parte de lixiviación tendrá lugar. Se agregará a este tanque de alimentación la mayor parte del ácido sulfúrico que causará un leve aumento de la temperatura. El objetivo es disolver los minerales de carbonato lo más completamente posible. El refino que entra en el circuito de lixiviación está dividido entre el tanque de alimentación a lixiviación y el primer o segundo reactor de lixiviación según disponibilidad.

La temperatura del tanque de alimentación es de unos 70-80 °C. La temperatura de refino es de unos 80-90°C. El tiempo de residencia depende de la disponibilidad de reactores, rondará las 7-8 horas.

El mineral reacciona con el ácido y el hierro férrico contenidos en el refino en el tanque de lixiviación. La pulpa de lixiviación fluye por gravedad a través del circuito de lixiviación formado por un conjunto de reactores de lixiviación atmosférica en cascada conectados en serie (con oxígeno y ácido sulfúrico.). Según los requerimientos de mantenimiento regular de los reactores, la mayor parte del tiempo habrá en funcionamiento todos los reactores menos uno.

La recuperación de calor en la lixiviación es económicamente importante para el ahorro de vapor el precalentamiento del refino. La reacción de oxidación de pirita genera la mayor parte de calor que se usa en la planta de proceso. El exceso de calor de reacción generado es extraído de los reactores de lixiviación por circulación de agua de enfriamiento, y es transferido para calentar refino, agua de lavado de filtros y PLS primaria mediante intercambiadores de calor separados.

La solución de lixiviación proveniente del último reactor fluye al espesador de lixiviación para su desagüe. El rebose del espesador es bombeado a dos torres de enfriamiento para enfriamiento por evaporización de la solución. Estas torres pueden operar en paralelo o serie dependiendo de las condiciones de proceso.

El objetivo de las torres de enfriamiento es enfriar el rebose del espesador con el fin de maximizar la precipitación de yeso. La solución enfriada en las torres de enfriamiento fluye por gravedad al espesador de yeso. El hundido del espesador de yeso se recircula de vuelta al tanque de rebose del espesador de lixiviación mientras que el rebose del espesador de yeso fluye por gravedad a la balsa de PLS.

La solución de PLS es bombeada a los filtros de pulido y una vez filtrada es bombeada a la unidad de extracción por solventes. La torta de filtro proveniente de los filtros de pulido es bombeada al tanque de pulpa y de vuelta al espesador de lixiviación. El hundido del espesador de pulpa de lixiviación es desaguado y lavado en filtros relaves.

Además del cobre se solubilizan otros metales, que finalmente quedarán como residuos. El cobre es retirado de la mezcla a través de una extracción con solventes orgánicos y los demás compuestos quedan en la fase acuosa. Estos son sales ácidas de Fe, Al, Mn, Ca, Na, Mo, As, Zn, Cd, Hg, Pb, etc. El destino de estos residuos es de suma importancia, ya que, si son arrojados a un río, provocarían serios daños a los equilibrios iónicos del sistema. También al aplicarse a suelos, alterarían la carga iónica de éste, provocando problemas de degradación.

[25]

5.2.3. Pre-neutralización:

El principal objetivo de la fase de pre neutralización es ajustar el pH, de la alimentación de PLS (Process Leaching Solution) de la extracción secundaria a nivel apropiado para que se puedan obtener niveles aceptables de recuperación de cobre.

Con el fin de controlar el balance de agua y posiblemente los niveles de hierro y zinc se extrae una purga de solución de refino de lixiviación del circuito de proceso según necesidad. La purga es guiada a través del proceso de pre-neutralización hasta el proceso de extracción por solventes secundario con el fin de recuperar cobre de la purga antes de que esta sea llevada a la neutralización final y a descarga. La purga es bombeada fuera de la balsa de refino mediante la bomba de refino (en una operación). También el agua de lavado del decantador de lavado del proceso de extracción por solventes es llevada mediante la bomba de purga de solución acuosa a los reactores de pre-neutralización.

5.2.4. Extracción por solventes

Se trata de un método de separación de una o más sustancias de una mezcla mediante el uso de solventes. En el proceso de extracción del cobre se utiliza una resina orgánica diluida en un solvente orgánico (parafina), la cual se mezcla por agitación con la solución PLS proveniente de la lixiviación. La resina orgánica permite capturar el cobre en solución, dejando las impurezas, tales como el hierro, aluminio, manganeso y otros en la solución original. La solución orgánica cargada con cobre es separada en otro estanque, donde se la pone en contacto con electrolito que tiene una alta acidez. Esto provoca que la resina suelte el cobre y se transfiera a la solución electrolítica, la cual finalmente es enviada a la planta de electro obtención.

El principal objetivo de la sección “SX” es transferir el cobre soluble de la alimentación (Solución de Lixiviación Cargada) al lado de circulación de electrolito limpio.

La extracción por solventes primaria consiste en un tren que tiene tres mezcladores-decantadores de extracción operando en serie, dos mezcladores-decantadores de re-extracción, un mezclador decantador de lavado de orgánico y un tanque de orgánico cargado.

La solución PLS clarificada, enfriada y filtrada que contiene el cobre es bombeada del tanque de almacenamiento de la solución de lixiviación a través de filtros de solución de lixiviación y de un calefactor de ajuste al área SX. La solución PLS es mezclada con solución orgánica semi-cargada proveniente del mezclador-decantador

La solución formada recogida por el sistema de drenaje pasando a un proceso de extracción iónica en la que se transfiere selectivamente el cobre de la solución a otra solución llamada electrolito rico.

[22] y [25]

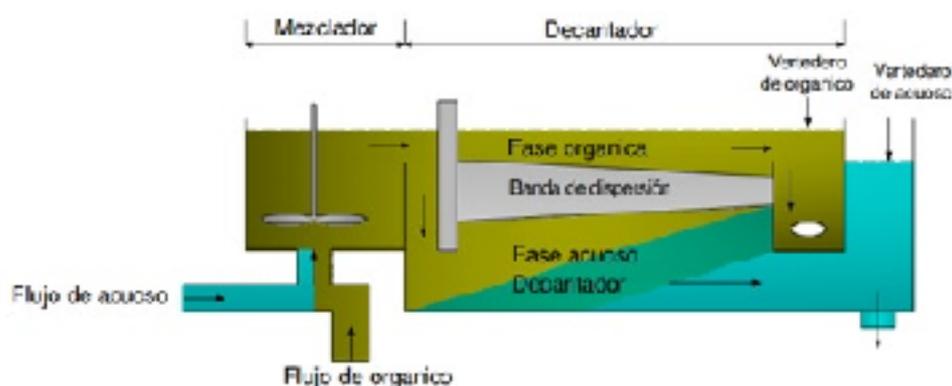


Imagen 16: Extracción por solventes. Mezclador-Decantador

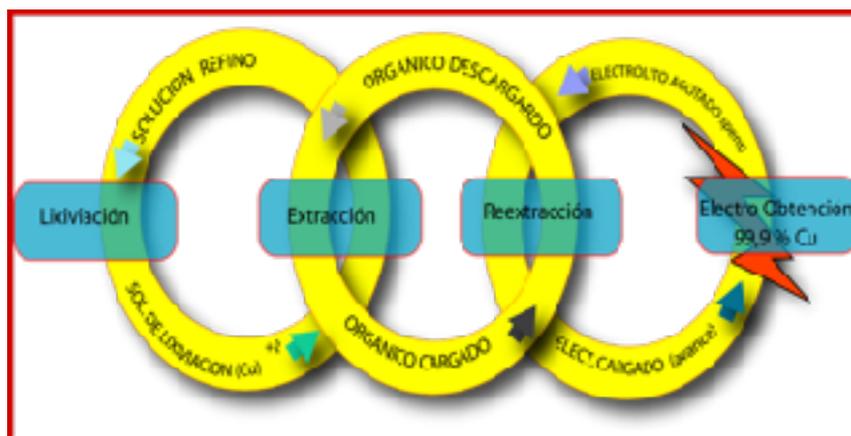


Imagen 17. Esquema Extracción por solventes de Cobre.

Extracción por solventes secundaria:

La extracción por solventes secundaria consiste en dos mezcladores decantadores de extracción. La purga proveniente de la extracción por solventes primaria, es purgada nuevamente al área de pre-neutralización con el fin de controlar los niveles de hierro y zinc en el circuito de lixiviación, como también el balance global de agua. También se combinan aguas de lavado provenientes de SX y filtrados de residuos de lixiviación para formar la solución a la extracción por solventes secundaria, PLS secundaria.

[25]

5.2.5. Neutralización.

El objetivo de la planta de neutralización es tratar el refino secundario originado en el proceso de extracción por solventes de cobre secundario. El tratamiento consiste en neutralización con lechada de cal, oxidación con aire, precipitación de yeso e hidróxidos metálicos, floculación y separación sólido/líquido.

La planta está diseñada como una planta de Pulpa de alta densidad (HDS). El proceso HDS consiste en producir una pulpa de alto contenido de sólidos mediante la recirculación de pulpa a la cabeza del proceso. La pulpa de alto contenido en sólidos obtenida con este proceso tiene muchas ventajas.

El refino secundario a tratar se bombea a dos reactores en serie en los que el refino secundario se combina con la pulpa reciclada y una mezcla de cal para alcanzar la neutralización. Como resultado de esta neutralización los metales pesados precipitan como hidróxidos metálicos $Me(OH)_n$, y el sulfato como sulfato de calcio, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$

También en los reactores se agrega aire a la mezcla para oxidar de ion ferroso a ion férrico. Después de la neutralización y oxidación, la pulpa rebosa hacia el espesador para la separación sólido/líquido. Se agrega polímero para mejorar la aglomeración de los precipitados y facilitar la clarificación.

El agua clarificada se transfiere hacia un tanque de almacenamiento antes de ser descargado a un río, o se usa en la planta de proceso o en el regadío de caminos.

Una proporción de pulpa del espesador es recirculada hacia el tanque de mezcla de pulpa/cal donde se mezcla con lechada de cal. Los sólidos recirculados actúan como semilla en el proceso de precipitación, lo cual ayuda a formar flóculos precipitados más grandes y pesados, evitando la formación de depósitos en las paredes y rastras del espesador.

El resto de la pulpa se transfiere hacia el tanque de almacenamiento de pulpa antes de ser desaguada mediante un filtro de presión. El filtrado recuperado del filtro a presión y el agua de lavado se acumularán en un tanque de filtrado desde donde se bombeará de vuelta al tanque reactor, aguas arriba del proceso de neutralización. La pulpa desaguada se mezcla con el residuo de lixiviación para luego ser dispuesta en las instalaciones de almacenamiento de pulpa.

5.2.6. Electro obtención.

El cobre es recuperado de la solución electrolítica en celdas de electro-obtención mediante un proceso de electrólisis en el cual pasa una corriente directa a través del electrolito entre los ánodos de plomo y los cátodos de acero inoxidable. Las celdas de electro-obtención están conectadas a dos circuitos de solución electrolítica, parte de las celdas operando como celdas de “limpieza” (Scavenger) y el resto como celdas “comerciales” normales.

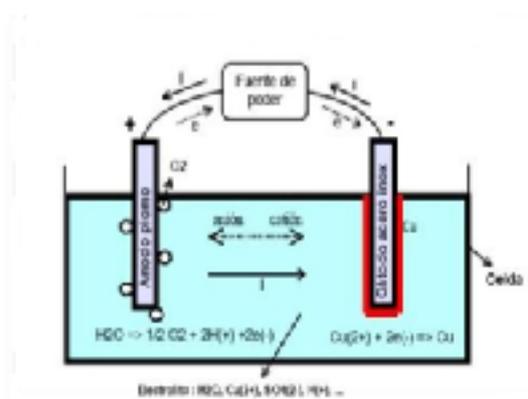


Imagen 18: Electro-obtención

Las celdas de limpieza se utilizan para separar cualquier eventual remanente de solución orgánica de electrolito rico antes de que este entre al circuito de solución electrolítica mediante una técnica tipo flotación que usa burbujas de oxígeno generadas en el ánodo durante la reacción electrolítica.

La solución de alimentación de electrolito a las celdas de limpieza contiene una concentración de cobre más alta que la solución de alimentación a las celdas comerciales. Esto normalmente implica una producción de depósitos de cobre de una calidad levemente más alta. Como opción, también es posible utilizar todas las celdas como celdas comerciales.

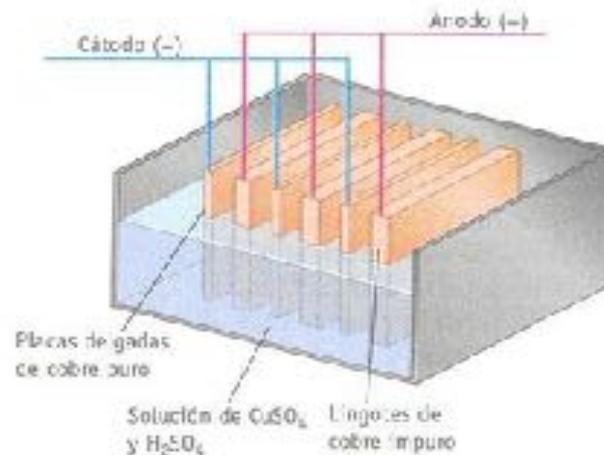


Imagen 19: Electro-obtención.

La solución de electrolito es circulada en el tanque de circulación de electrolito, que consiste de compartimento rico y pobre. Estos dos compartimentos están conectados por un vertedero hundido que mezcla las soluciones. La solución filtrada de electrolito rico proveniente de la extracción por solventes es calentada en intercambiadores de calor y bombeada a las celdas de limpieza. Una vez sale de las celdas de limpieza es combinado con la proporción de electrolito pobre proveniente de las celdas comerciales y fluye al compartimento rico del tanque de circulación de electrolito.

El electrolito pobre proveniente del resto de las celdas comerciales retorna al compartimento electrolito pobre del tanque de circulación. Aquí se enfría parte del electrolito pobre, siendo bombeado a la etapa de re extracción de la planta de extracción por solventes, pasando el resto por un vertedero hundido al compartimento de electrolito rico del tanque de circulación. Esto se mezcla con el electrolito enriquecido entrante que proviene de las celdas de limpieza, formando el electrolito de alimentación a las celdas comerciales.

La corriente eléctrica es alimentada a las celdas electrolíticas desde transformadores-rectificadores y sistemas de barras conductoras. Las barras conductoras superiores de las celdas conectan las celdas y las barras conductoras principales a los rectificadores. Durante el

proceso el cobre es depositado sobre los cátodos de acero inoxidable, se libera oxígeno sobre los ánodos regenerándose ácido sulfúrico en la solución electrolítica. Los cátodos se dejan crecer durante 7 días antes de ser cosechados de las celdas por un puente grúa. Durante la elevación los cátodos son lavados automáticamente.

El puente grúa transfiere los cátodos extraídos de las celdas al sistema de transporte de recepción de la máquina des laminadora, donde son lavados y despegados automáticamente. Las placas despegadas son levantadas del sistema de transporte de descarga de la máquina des laminadora por el puente grúa, siendo transferidos de vuelta a las celdas.

Automáticamente se toman muestras de los cátodos de cobre, y luego estos son corrugados y apilados también automáticamente en paquetes. Finalmente, los grupos de cátodos son pesados, etiquetados y flejados.

La neblina ácida generada en el proceso de electrolisis por el oxígeno anódico es removida eficazmente mediante el sistema de captación de neblina ácida que utiliza campanas instaladas sobre cada celda. Este sistema, acompañado de la ventilación natural de EW, asegura las mejores condiciones de trabajo y mejora las condiciones ambientales.

En esta etapa se aplica corriente continua a la solución con lo que se consigue que el cobre se deposite en placas de acero inoxidable, el resultado final son cátodos de cobre de alta pureza.

La electro-obtención de cobre cuenta con un sistema lavador de gases para evitar la emisión de aquellos vapores ácidos que son susceptibles de generarse en esta etapa.

[25]

5.3. Embarque

Tanto el concentrado como los cátodos de cobre son transportados hasta los puertos de embarque donde son embarcados para su exportación.

5.4. Esquema resumen del proceso

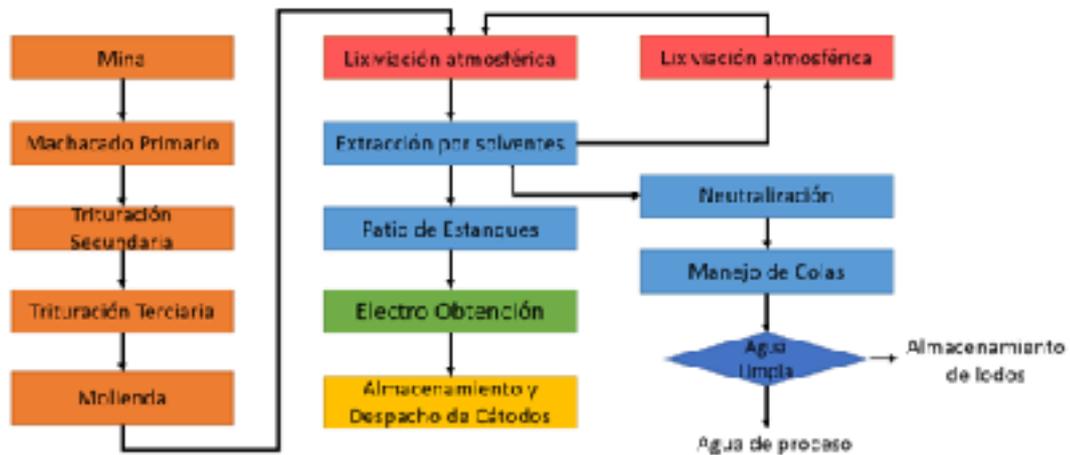


Imagen 20: Esquema resumen proceso Hidrometalurgia.

5.5. Contaminación de la minería de cobre

5.5.1. Cobre en el suelo

La minería de cobre afecta con sus emisiones los ríos y a la vez los suelos, que pueden tener utilidad para cultivo o conservación, afectando la flora y fauna.

La contaminación de suelos es fundamentalmente por metales pesados. Estos metales una vez que llegan al suelo están expuestos a diversos tipos de procesos como oxidación, reducción, adsorción, precipitación entre otros. Pero a diferencia de la contaminación con sustancias orgánicas, como por ejemplo hidrocarburos, estos contaminantes inorgánicos no se pueden biodegradar, produciéndose en consecuencia su acumulación. De aquí se origina, entonces, el principal problema de tener que enfrentar este tipo de contaminación acumulativa y persistente en el tiempo.

Para encarar esta situación, en primera instancia se debe establecer reglas que permitan disminuir la emisión de estos metales, así como privilegiar el uso de tecnologías limpias en producción. Esto se traduce en normas de emisión para y de calidad para regular a la concentración descargada de metales a las aguas superficiales y subterráneas.

La elaboración y vigencia de estas normas pueden ayudar a controlar el problema. No obstante, es necesario considerar la existencia de pasivos que contienen estos elementos contaminantes, por lo cual se requiere tomar medidas para que no lleguen a los receptores (plantas, animales, hombres), disminuyéndolos o impidiendo su adecuada dispersión.

La gran cantidad de pasivos ambientales que genera la minería han sido enfrentados cada vez con técnicas mejores y de esta forma se está llegando a un impacto ambiental reducido. Resulta interesante que la actividad tenga la conciencia y la capacidad de dar oportunidad de desarrollar diversas técnicas para la descontaminación.

El caso más interesante es el uso de la **Fito estabilización**, que apunta a encontrar la solución al tratamiento de un desecho aplicando tecnología, ciencia y naturaleza.

Para cumplir con estas normas las mineras deben establecer planes que contemplan tres estrategias posibles: confinamiento, extracción y estabilización

- **Confinamiento:** las primeras medidas que se han utilizado, consisten en confinar mediante una matriz los metales pesados, mediante métodos como la vitrificación y barreras de contención, cuyo objetivo es aislarlos en el mismo suelo. Esta no es una solución definitiva, ya que siempre existe la posibilidad de que la matriz que los contenga se rompa, liberando los contaminantes.
- **Extracción:** consiste en eliminar los metales pesados mediante técnicas de lavado y excavación y remoción de suelos para ser trasladados a sitios más adecuados y realizar electroremedación, Estos son métodos de alto costos y además requieren métodos de tratamiento para los lavados. Dentro de esta clasificación se encuentra la **Fito extracción**, que es económicamente más factible.
- **Estabilización:** existen diversos métodos de estabilización, los cuales plantean la inmovilización de los metales. Este se lleva a cabo in situ. Compost y biosólidos provenientes de tratamientos de aguas servidas y compuesto de fosfatos son algunos de los agentes ocupados para la inmovilización de los metales pesados.

[24]

5.5.2.La dispersión de metales en el suelo

La dispersión de desechos y productos de la minería del cobre a la tierra depende del grado de biodisponibilidad de este metal, del suelo receptor y del tipo de cultivos.

- **Biodisponibilidad del cobre:** Contenido total de cobre que hay presente en los distintos desechos y productos generados por el procesamiento de minerales sulfurados de cobre, solo una parte se encuentra biodisponible. Esta característica varía entre los distintos materiales, pudiendo diferenciarse en varios ordenes de magnitud.
- **Capacidad amortiguadora del suelo:** Los suelos están constituidos básicamente por una matriz de material particulado de distintos tamaños y tipos (arcillas, arena y limo) y una cantidad variable de materia orgánica aportada por los seres vivos. En esta matriz se difunde el oxígeno de la atmósfera y se infiltra agua de las precipitaciones y del riego. Por eso, los suelos son reactivos químicamente y reaccionan a la incorporación de diversos desechos industriales.

Los suelos son capaces de neutralizar en forma natural los efectos de una gran diversidad de compuestos, siempre y cuando sean incorporadas en cantidades moderadas. Pero esta cualidad es variable, ya que depende de ciertas características físicas y químicas propias, tales como la textura, el pH, el contenido de materia orgánica y la cantidad y el tipo de minerales y arcilla.

- **Sensibilidad de las plantas:** Todas las plantas necesitan de elementos minerales para su crecimiento normal, pero muchas de ellas los requieren en pocas cantidades. Estos productos los obtienen del suelo, a través de sus raíces, pero solo son capaces de absorber la fracción de metal biodisponible. Sin embargo, las plantas presentan distintos grados de sensibilidad cuando son expuestas a cantidades crecientes de materiales biodisponibles en el suelo. La lechuga es una especie sensible que responde rápidamente al ser enfrentada a niveles crecientes de metal biodisponible, incluido el cobre.

[25]

6. LA TÉCNICA MÁS INNOVADORA DEL SECTOR MINERO: POLY

METALLURGICAL REFINERY, PMR.

6.1. Definición

El término Poly Metallurgical Refinery (PMR), se refiere a la capacidad tecnológica para producir varios metales, ya que al cobre que es el principal elemento que extrae, se pueden unir zinc, plomo o plata, todo ello en una sola refinería integrada.

El mineral secundario está próximo a agotarse, las reservas de la mina de Cobre Las Cruces durarán un año y medio más, según las previsiones de la compañía. Pero la mina aún tiene una faja más profunda con gran cantidad de cobre, cinc, plomo y plata, de una ley mucho más baja que la actual ya que el mineral es primario. Sería una explotación completamente distinta. La principal diferencia radicaría en que para este nuevo mineral a extraer la minería sería subterránea, ya que se encuentra aproximadamente a unos 200 metros de profundidad desde la finalización de la corta.

Para poder explotar un yacimiento dentro de la faja piritica, lo primero que necesitan es contar con los permisos administrativos para poder explotarlo, y se requiere la realización de numerosos ensayos y experimentos metalúrgicos. Se trata de una serie de pruebas y testeos de alta complejidad a escala laboratorio que permitan poder analizar la viabilidad de una implantación industrial minimizando los riesgos. Por eso se creó en CLC una planta a escala piloto donde se han estado realizando continuamente pruebas y ensayos con el mineral subterráneo con resultados muy positivos. La explotación será más favorable cuanto más alta sea la ley del mineral.

En CLC se prevé lograr autorizaciones para poder seguir explotando el yacimiento con la nueva tecnología que han desarrollado y, con ello, esperan alargar la vida de la mina de Gerena hasta el horizonte de 2034. Sin embargo, y como queda claro con la explicación anterior, esto no será una tarea sencilla y tampoco barata, pues se necesitará una inversión de otros 400 millones de euros que incluiría la construcción de una planta a escala real para tratar los minerales.

Actualmente no existe un proceso tecno-económicamente viable para la extracción in-situ de metales de yacimientos complejos o polimetálicos de baja ley, siendo la única salida de estos minerales la flotación selectiva para producir y posteriormente vender concentrados, que conllevan bajas tasas de recuperación para poder alcanzar leyes comerciales y con cada vez

de menor calidad debido a los elementos penalizantes como son Mercurio(Hg), Arsénico (As), Antimonio (Sb), etc.

La empresa ha invertido en los últimos años millones de euros para desarrollar esta tecnología y ha construido una planta piloto para ver si es capaz de extraer estos minerales y obtener rentabilidad de ello, ya que las instalaciones de la planta no pueden tratar concentrados por lo que necesitamos adecuar las instalaciones actuales para que podamos procesar el Polimetall y extraer cada uno de sus minerales.

Esta adaptación también nos permitiría tratar materias primas externas, lo que despertaría un interés en otras minas de la Faja Pirítica y también a nivel internacional. Esto daría más solidez al negocio y podría alargar indefinidamente la vida de la planta. Con el uso de la nueva tecnología aún pueden extraer 300.000 toneladas de cobre, 585.000 toneladas de cinc, 315.000 de plomo y 600 de plata. Con la nueva planta, Cobre Las Cruces mantendría todo el empleo directo que tiene -250 personas - y solo la construcción de la nueva planta requeriría una contratación de 600 empleados.

[25]

6.2. Proceso de Producción

Es necesario y primordial realizar un estudio geológico y caracterización mineralógica de los recursos. Los minerales complejos y polimetálicos de sulfuros primarios objeto del proyecto no han sido beneficiados previamente mediante métodos hidrometalúrgicos. Por esta razón se requiere una caracterización mineralógica en detalle de estos minerales, previa al estudio de los nuevos métodos.

6.2.1. Acopio, trituración y molienda del mineral.

La trituración es una operación básica que sigue el mismo proceso que en las plantas actuales cuyo objetivo es reducir el tamaño de grandes fragmentos de mineral que provienen de la mina.

La molienda también sigue el proceso de las plantas actuales, que ya ha sido explicado.

Tras haber pasado estas dos etapas y haber alcanzado el tamaño considerado objetivo, el rebose de la molienda pasará a la alimentación de la etapa de flotación.

6.2.2. Flotación global del mineral polimetálico.

Al tratarse de una nueva vía de tratamiento de concentrados, es necesario evaluar las características del proceso de concentración global y las distintas secuencias posibles de flotación de las que se dispone. Están ante la producción de un nuevo tipo de concentrado del que hasta el momento no era viable su comercialización por vía convencional.

Después de pre-airear y acondicionar el mineral en los respectivos tanques agitados, este será flotado en una primera etapa, denominada desbaste. En esta etapa se producirá un concentrado que se combinará con el obtenido en la siguiente etapa, denominada de apure.

Este concentrado de apure se unirá al concentrado de desbaste obtenido anteriormente para producir el concentrado global, y los residuos se enviarán a un espesador de residuo/pirita desde donde una parte importante se distribuirá para su tratamiento en la planta de producción de pasta.

El concentrado pasará a una remolienda, tras la que se espesará y filtrará para minimizar su contenido en agua y se enviará como torta a la siguiente etapa de proceso.

6.2.3. Lixiviación vía férrica (Primaria)

En esta etapa se procederá a la lixiviación férrica del cobre y del cinc contenido en el concentrado global de flotación.

Previo al proceso de lixiviación, se dispondrá de una etapa de alimentación al proceso.

La torta de concentrado se repulpa en medio férrico y se envía hacia 4 pre-reactores (tanques agitados) de lixiviación, para posteriormente alimentar la batería de 8 reactores en cascada. En los reactores se producirá el proceso de lixiviación en medio sulfato férrico a presión atmosférica, con inyección de oxígeno y adición de ácido sulfúrico para mantener unas condiciones idóneas de reacción.

6.2.4. Extracción por solventes de Cobre

La extracción por solventes es una operación de transferencia de masas en un sistema de dos fases líquidas inmiscibles en la que un componente soluble (el soluto, en este caso el cobre) se mueve desde una fase líquida a la otra. Generalmente un líquido (o fase) tiene naturaleza orgánica (la fase receptora del soluto), y el otro es de naturaleza acuosa (la fase portadora).

Mediante este proceso se extraerá selectivamente el cobre disuelto de la solución ácida resultante del proceso de lixiviación (PLS), sin interferir el cinc también disuelto en la corriente. Este proceso no sólo concentrará el cobre disuelto, sino que también purificará la solución de cobre como preparación para la electro-obtención. Un extractante de elevada efectividad permitirá separar físicamente el cobre recuperado en las soluciones ácidas de lixiviación y transferirlo a la fase orgánica.

Siendo HR el extractante orgánico, constituido por una mezcla de aldoximas y ketoximas, ampliamente utilizado en la mayoría de las plantas de extracción por disolventes de cobre.

La extracción por disolventes constará de tres fases: extracción, lavado y re-extracción. La fase de extracción extraerá el cobre disuelto de la corriente PLS, produciendo el refino, así como la solución orgánica cargada. Esta última llevará el cobre disuelto concentrado a la fase de lavado, para eliminar las impurezas disueltas, que puedan reducir la calidad del cátodo de cobre.

El refino se dirigirá a una etapa de acondicionamiento del hierro existente en la solución para poder extraer posteriormente el cinc de forma selectiva. Desde la fase de lavado, se bombeará a la fase de re-extracción, donde se empleará el electrolito empobrecido, una fuerte solución ácida que procederá del circuito de electrodeposición, para captar el cobre disuelto en la solución orgánica cargada. Esta fase de re-extracción producirá la solución orgánica agotada y el electrolito enriquecido. La solución orgánica agotada volverá a la fase de extracción, para comenzar de nuevo el proceso de recuperación del cobre disuelto en la corriente PLS.

Asociado al proceso de extracción por solventes ocurre la generación de “borras”, una sustancia mezcla de fase acuosa, fase orgánica y partículas sólidas. Esta mezcla es enviada a una planta de tratamiento con el objeto de recuperar ambas fases, orgánica y acuosa y separar los sólidos que serán tratados como residuo del proceso. La caracterización de esta sustancia se especifica en los documentos medioambientales del proyecto.

6.2.5. Electro-obtención de Cobre

La electro-obtención de cobre consiste, básicamente, en la transformación electroquímica del cobre contenido en el electrolito cargado (enriquecido) a cobre metálico depositado sobre el cátodo, siendo la fuerza motriz una fuente externa de corriente continua.

El electrolito enriquecido se bombeará a la nave de celdas donde se desarrollará el proceso de electro-deposición. La nave de electrolisis de cobre dispone de una serie de cubas con ánodos y cátodos, dispuestas en serie y conectadas a los rectificadores de corriente, que producen la corriente continua necesaria para que se desarrolle el proceso.

La electrodeposición reducirá la concentración de cobre en el electrolito, convirtiéndolo en el electrolito agotado o empobrecido, que se recircula a la fase de re-extracción del circuito de extracción por disolventes. En el cátodo se va depositando el cobre metálico hasta que se alcanza el tiempo de cosechado. Estos cátodos se recogen y pasan a un sistema automatizado donde el cobre depositado es despegado. Los cátodos de cobre son a continuación pesados y empaquetados para su transporte.

6.2.6. Acondicionamiento de hierro

Previo a la recuperación de cinc mediante extracción por solventes, será necesario eliminar por completo el hierro del PLS de cinc.

La eliminación de hierro se realizará mediante la adición de cal, inyectando aire u otro oxidante para asegurar la completa oxidación de Fe(II) a Fe(III) y la consiguiente precipitación en forma de una pulpa (conteniendo el licor e hidróxido de hierro III y el yeso producido por la neutralización), que pasará al espesador donde se separará: por un lado el líquido en el rebose que alimentará a extracción por solventes de cinc tras su paso por un clarificador de cono para eliminar sólidos en suspensión; y por otro lado el residuo de hierro en la descarga o hundido. Parte del hierro precipitado se reciclará en la etapa de lixiviación para aportar el sulfato férrico necesario para la oxidación y extracción de cobre y cinc. El resto del hierro se envía a la planta de tratamiento de efluentes.

La cal adicionada en esta etapa para la eliminación de hierro se almacena en forma de hidróxido de calcio sólido en dos silos ubicados en el área a este fin.

6.2.7. Extracción por solventes de Cinc

Al igual que para el cobre, la extracción por solventes del Cinc contará con tres fases: **extracción, lavado y re-extracción.**

La solución cargada de cinc (PLS de cinc), una vez libre de hierro, alimentará a la etapa de extracción por solventes (Zn), donde el cinc será separado selectivamente de los otros componentes disueltos en el PLS y transferido a la fase orgánica gracias a un extractante de gran efectividad.

La fase orgánica cargada se lavará a continuación para eliminar ciertas impurezas que pueden afectar negativamente a la electrolisis de cinc, como son el Ca, Cl, F, etc. Una vez lavada, en la posterior etapa de re-extracción, se recuperará el cinc transfiriéndolo al electrolito agotado para su posterior electro-obtención. Se emplean filtros de carbón activo para minimizar el arrastre de fase orgánica.

El refino producido en la etapa de extracción será enviado nuevamente a la etapa de lixiviación vía sulfato férrico, cerrándose así el circuito de la planta de extracción de cobre y cinc. Parte de la corriente de refino de cinc no se recircula, sino que se purga. La purga se

trata con cal para ajustar el pH de la corriente y que sirva de alimentación (PLS secundario) a la etapa de extracción secundaria, para aumentar la eficiencia de la recuperación de cinc. El refino producido en esta etapa de extracción secundaria será enviado a la planta de tratamiento de efluentes.

Al igual que en la extracción por solventes de cobre, en el proceso de extracción por solventes de cinc también se generan “borras”. Las borras están constituidas por una mezcla de fase acuosa, fase orgánica y partículas sólidas, la cual requiere ser tratada para separar el sólido de las fases líquidas y recuperar tanto el orgánico como la solución acuosa. Los sólidos una vez separados son gestionados como residuo del proceso.

6.2.8. Electro-obtención de Cinc. Fundición y moldeo

El electrolito será dirigido desde extracción por solventes hacia la electrolisis como electrolito rico en cinc, y retornará al circuito de extracción como electrolito pobre una vez que se electro-deposita el cinc en forma de cátodos de la máxima calidad.

Al igual que en la línea de cobre, la nave de electrolisis de cinc dispondrá de una serie de cubas con ánodos y cátodos dispuestas en serie y conectadas a los rectificadores de corriente que producen la corriente continua necesaria para que se desarrolle el proceso.

Los cátodos se cosecharán con una grúa y pasarán luego a un sistema automatizado donde serán despegados y apilados. En este punto del proceso, los cátodos de cinc serán fundidos en un horno y moldeados en forma de lingotes para su comercialización. Existe la posibilidad de comercializar directamente los cátodos de cinc, sin pasar por la etapa de fundido y lingoteado, si bien el mercado es limitado.

6.2.9. Lixiviación vía cloruro

El objetivo de esta etapa será disolver el plomo y la plata contenida en el mineral primario, para alimentar las etapas siguientes para la recuperación de ambos metales.

El residuo de lixiviación férrica, en forma de sulfatos sólidos, una vez que haya pasado por la etapa de filtración y lavado volverá a someterse a un proceso de lixiviación, idéntico al anterior, pero cambiando el medio lixivante (en concreto, el medio será salmuera de cloruro sódico).

Tras la lixiviación se procederá a la separación sólido/líquido mediante espesado, filtración y lavado de sólidos (estériles de proceso). Por tanto, al igual que para la primera etapa de lixiviación, se formarán dos corrientes principales: por un lado, la solución cargada que contiene el plomo y la plata, y por otro el residuo que contiene los estériles a tratar previamente a su deposición.

Tras la etapa de lixiviación secundaria será necesario filtrar el residuo (estéril) antes de tratarlo para su depósito. Para ello se hará pasar el residuo por una secuencia de filtros de vacío con el objetivo de lavarlo y secarlo.

6.2.10. Cementación

La cementación es un proceso de precipitación química que permite retirar iones en solución agregando un reactivo precipitante. En el caso de iones metálicos disueltos la reacción se favorece agregando un metal más activo, según la serie electroquímica, como reactivo para formar un precipitado conocido como cemento.

1. Cementación de Plata

La solución que contiene el plomo y la plata, tras pasar por el proceso de lixiviación secundaria, será dirigida en primer lugar a la etapa de recuperación de plata mediante cementación. Esta etapa será la encargada de separar la plata del resto de componentes y producir el cemento de plata para su comercialización, para lo cual se añadirá un metal menos noble, por ejemplo, plomo en forma de polvo.

Cabe destacar que, la mayor parte de la producción de plata será empleada como catalizador para la etapa de lixiviación primaria.

Como etapa final, el cemento de plata producido es sometido a un proceso de secado.

2. Cementación de Plomo. Fundición y moldeo de cemento de plomo

Una vez cementada la plata, el resto de la solución lixiviada enriquecida en plomo será dirigida a la fase de producción del cemento de plomo. La cementación de plomo se efectúa añadiendo un metal menos noble, por ejemplo, hierro o aluminio metal, que pasan a disolución.

En esta etapa es necesario realizar una purga para evitar la acumulación de metal cementante y sulfatos en el circuito. Dicha purga es tratada, obteniéndose un sólido final que posteriormente es enviado a depósito.

El cemento producido, cemento de plomo, es sometido a un proceso de compactación. Una vez compactado, es sometido a un proceso de transformación en el que cada cemento se funde y moldea para su comercialización.

[25]

6.3. Situación actual

El desarrollo del proyecto PMR es difícil y complejo, e involucra a un numeroso equipo de personas de todos los departamentos de CLC, ya que hay muchos aspectos críticos que requieren un trabajo cuidadoso y detallado para minimizar riesgos y estar preparados frente a posibles eventualidades.

Actualmente se ha terminado la experimentación en planta piloto y la empresa está tratando de reunir la información técnica y de proceso necesaria para el diseño de la nueva refinería industrial polimetalúrgica, de la cual se está realizando un estudio viabilidad definitivo del Proyecto PMR.

Los resultados de la experimentación en la planta piloto han sido muy favorables, mientras que la investigación sobre la viabilidad técnica y económica de la refinería polimetálica continúan.

La continuidad de este proyecto de ampliación, que ha absorbido ya una inversión de más de seis millones en una planta piloto y la construcción de una rampa subterránea, es la clave de futuro fundamental que quedó en el aire tras venirse abajo al menos 14 millones de metros cúbicos de rocas y balsas mineras.

Se dispone a asumir un fuerte recorte de su producción de cátodos de este metal tras el gran derrumbe sufrido el pasado 23 de enero. En los dos años que tenía previsto seguir trabajando en la corta minera, 2019 y 2020, la planta hidrometalúrgica anexa al yacimiento fabricará 45.000 toneladas anuales, desde las 70.800 con que cerró el pasado año.

[25] y [29]

7.

MI EXPERIENCIA EN CLC

En Cobre Las Cruces, se vienen desarrollando distintos proyectos que se ajustan a la definición marcada por la ley española como de Investigación y Desarrollo (I+D) y/o innovación Tecnológica (i).

Esto se debe principalmente a que el Complejo Minero de Cobre Las Cruces y su planta hidrometalúrgica cuentan con una tecnología completamente novedosa a nivel europeo, por tanto, la mayoría de las mejoras realizadas en el proceso productivo o soluciones propuestas a dificultades encontradas en el mismo son resultado de un trabajo previo de investigación y presenta, generalmente, carácter innovador, además de a las políticas de mejora continua e innovación desarrolladas, con las que siempre se busca la optimización del mismo.

Esta situación supone una oportunidad de incrementar el beneficio de la empresa pudiéndose acoger a ventajas como las deducciones fiscales por el desarrollo de este tipo de proyectos.

Las deducciones fiscales son uno de los instrumentos utilizados por la Administración General del Estado para fomentar la I+D+i empresarial, vía reducción de impuestos. Su destinatario son los sujetos pasivos de dicho impuesto. En el caso que nos ocupa, Cobre Las Cruces S.A.

El sistema español de deducciones fiscales por I+D+i es de los más favorables del mundo, pudiendo alcanzar hasta un 42 % de los gastos directos. Frente a otros incentivos, las deducciones fiscales presentan las siguientes ventajas:

- Efectos económicos equiparables a los de la subvención, pero no tributan.
- Compatible con otras formas de ayuda.
- La aplicación es libre y general.
- Es proporcional a la inversión.
- Cabe su utilización en ejercicios posteriores (hasta 18 años).
- No se requiere éxito en el proyecto para su aplicación (aunque si es necesario generar conocimiento).

Para conseguir beneficiarse de estas deducciones es necesario certificar el carácter innovador de los proyectos, mediante la presentación de documentación técnica y económica que justifiquen la novedad aportada y los gastos asociados.

Mi trabajo en CLC, ha sido elaborar la documentación técnica y económica, al principio de la mano de mi jefe y tras el derrumbe de la corta, mi departamento fue parcialmente disuelto, mi jefe fue traslado de la noche a la mañana al departamento de mantenimiento cancelándose así la mayoría de los proyectos que se llevaban a cabo, ya que la empresa priorizo sus trabajos en la recuperación de la mina tras el derrumbe. Y por tanto quedándome yo “ al mando” de aquellos proyectos que no fueron cancelados y con el que finalmente recaudamos casi medio millón de euros.

En el año anterior a mi entrada a CLC, se había trabajado en un total de 13 proyectos, de los cuales, 5 consiguieron la calificación de innovación tecnológica y 1 de Investigación y Desarrollo. Esto supuso un beneficio total de: 583.409 euros.

Gracias a ley española como de Investigación y Desarrollo (I+D) y/o innovación Tecnológica (i) ha sido posible desarrollar los estudios de nuestro proyecto PMR. Os dejo a continuación algunas fotos de mi experiencia en CLC.

Os muestro a continuación algunas imágenes de mi experiencia en CLC:



Imagen 21: Con mis compañeros bajo los 8 reactores de lixiviación en cascada.



Imagen 22 Con mis compañeros subida en una máquina excavadora dentro de la corta.



Imagen 23: Imagen dentro de la corta.

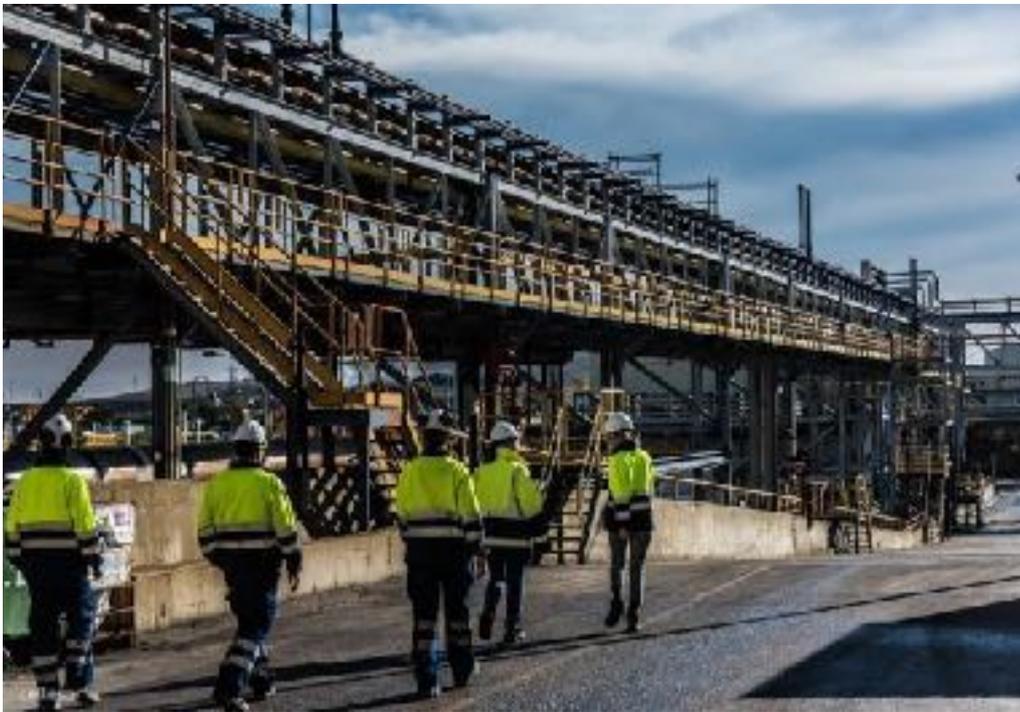


Imagen 24: Con mis compañeros paseando por la planta.



Imagen 25: Bajando de la máquina excavadora.

GLOSARIO DE TÉRMINOS MINEROS.

- ✓ **Acceso:** Cualquier labor minera que sirve de comunicación entre interior y superficie
- ✓ **Apertura mínima, trabajo anual:** Perforación para cumplir el requisito de una cantidad prescrita de trabajo a ser completado anualmente en una pertenencia minera no titulada para retener la licencia.
- ✓ **Avance:** Longitud de túnel realizada por unidad de tiempo
- ✓ **Barreno:** Agujero relleno de pólvora u otra materia explosiva en el frente de un depósito mineral
- ✓ **Bonanza:** Zona de yacimiento de más riqueza de lo normal
- ✓ **Cantera:** trabajo a cielo abierto o superficial, o excavación para la extracción de piedra de construcción, mineral, carbón, grava o minerales.
- ✓ **Celda:** compartimento de una celda de flotación.
- ✓ **Cobre Nativo:** Cobre metálico en pepitas suficientemente pequeñas para cogerlas de la masa de la roca y ponerlas en el horno sin preparación mecánica.
- ✓ **Concentrado:** Producto limpio recuperado por flotación de espumas o por otros métodos de separación mineral.
- ✓ **Criadero:** Conjunto de terreno que se cree suficientemente mineralizado como para ser de importancia bajo el punto de vista económico.
- ✓ **Cuerpo mineralizado o depósito mineral (ore body):** Se refiere a la mezcla de mena y ganga y puede encontrarse a profundidad o en la superficie.
- ✓ **Derecho minero:** Un derecho a entrar y ocupar una determinada porción de terreno con fines de explotación para obtener menas minerales que pueden hallarse depositadas en el mismo.

- ✓ **Descubrimiento:** El hallazgo de un yacimiento de mineral valioso.
- ✓ **Economía minera:** El estudio y aplicación de los procesos empleados en la administración y financiación relacionados con el descubrimiento, explotación y comercialización de minerales.
- ✓ **Estación de aforo:** Punto de una galería de ventilación en el que se mide periódicamente el volumen de aire que circula.
- ✓ **Estéril:** Aquella roca que no contiene mineral aprovechable y forma parte del criadero.
- ✓ **Explotación:** La extracción de menas, gas, petróleo y minerales de la tierra, hallados por exploración y su utilización.
- ✓ **Explotación minera:** Es el proceso o conjunto de procesos por el cual se extrae un material natural terrestre del que podemos obtener un beneficio económico (puede ser desde agua, hasta diamantes) y se lleva a cabo mediante pozos (caso del agua o del petróleo, entre otros), en minas (subterráneas o a cielo abierto), o en canteras.
- ✓ **Explotación por galerías:** Laboreo de vetas o capas de poca profundidad por galerías o pozos abiertos desde la superficie.
- ✓ **Exploración:** La búsqueda de depósitos rentables, de minerales, petróleo, gas, carbón etc. Por servicios geológicos, prospección geofísica, sondeos y pozos de ensayo, o frentes, galerías o túneles superficiales o subterráneos.
- ✓ **Frentes beneficiables:** Los frentes en los que la masa de mineral puede beneficiarse provechosamente, siendo el factor limitador el contenido del metal del todo uno según resulta de los ensayos.
- ✓ **Ganga:** Comprende a los minerales que acompañan a la mena, pero que no presentan interés minero en el momento de la explotación (cuarzo, calcita, etc.). (parte no aprovechable de una mena). Minerales considerados como ganga en determinados momentos se han transformado en menas al conocerse alguna aplicación nueva para los mismos.
- ✓ **Ley:** Es la concentración de cada metal de mena en una muestra de roca, usualmente expresada en porcentaje en peso. Proporción de peso de una sustancia útil en un mineral cualquiera.
- ✓ **Ley límite o de corte (cut-off):** Es la ley más baja (en términos económicos) con la cual puede explotarse un yacimiento mineral, es decir la concentración mínima que debe

tener un elemento en un yacimiento para ser explotable. Por ejemplo, si la ley promedio de un yacimiento es 1.2% Cu la ley de corte puede ser 0.5%.

- ✓ **Ley media:** Es la concentración que presenta el elemento químico de interés minero en el yacimiento. Se expresa en tantos por ciento (%), gramos por tonelada (g/t) partes por millón (ppm) u onzas por tonelada (oz/t).
- ✓ **Estéril:** Término minero que se refiere roca que no contiene mena explotable, las rocas que no contienen mineral o lo contienen en cantidades muy por debajo de la ley de corte. No suele corresponder con la ganga ya que esta se refiere a los minerales acompañantes de la mena.
- ✓ **Factor de concentración:** Es el grado de enriquecimiento que tiene que presentar un elemento con respecto a su concentración normal para que resulte explotable.
- ✓ **Mineral:** Parte aprovechable de una mena. Cuerpo sólido que puede aparecer de formas muy diversas en la naturaleza ya sea aislado o como componente fundamental de las rocas, y que lo hace económicamente explotable.
- ✓ **Mineral comercial:** Mineral cuyos contenidos poseen un valor económico comercializable en los mercados con base en el cual se justifica la explotación.
- ✓ **Mineral explotable o beneficiable:** Mineral que puede extraerse bajo las condiciones económicas y tecnológicas actuales.
- ✓ **Minerales asociados:** Aquellos que en el momento de la explotación pueden o no, tener un valor comercial.
- ✓ **Mineral aluvial, minería en aluviones:** La explotación de depósitos aluviales por dragado, extracción hidráulica o abertura de galerías.
- ✓ **Metalogenia:** El término se ha utilizado en geología económica para designar el conjunto de conocimientos que estudian a los yacimientos minerales.
- ✓ **Pendiente:** Ángulo que forma el plano medio de un yacimiento con la horizontal. El yacimiento se considera de poca pendiente o tumbado si no se supera los 25 grados sexagesimales y de fuerte pendiente si supera los 50 grados.
- ✓ **Perforación de reconocimiento:** Perforación de barrenos para localizar, identificar y reconocer una masa de mineral.

- ✓ **Pórfidos de cobre:** Son yacimientos formados por circulación de fluidos hidrotermales ligados a la última etapa de intrusión de ocks subvolcánicos de composición tonalítica, granodiorítica, monzogranítica o andesítica de naturaleza calco-alcalina.
- ✓ **Permiso de investigación y concesión de explotación:** Documento que concede la licencia nacional o estatal a una entidad física o jurídica para explorar o explotar minerales de determinadas propiedades.
- ✓ **Recurso:** Cantidad total de mineral existente en la zona, incluyendo el que no podrá ser explotado por su baja concentración o ley.
- ✓ **Reservas:** Cantidad (masa o volumen) de mineral susceptible de ser explotado. Depende de un gran número de factores (ley media, ley de corte) y de las condiciones técnicas, medioambientales y del mercado existentes en el momento de llevar a cabo la explotación. Comprenden las Reservas Medidas (calculada con datos concretos), Reservas indicadas (calculadas a partir de la proyección de las anteriores sobre el terreno considerado como productivo y en función de diversos indicadores geológicos) y, Reservas inferidas (basadas en el conocimiento del contexto geológico general).
- ✓ **Roca de caja:** Roca que rodea a un depósito y no se encuentra mineralizada.
- ✓ **Subproductos (by-products):** Suelen ser minerales de interés económico, pero que no son el objeto principal de la explotación, por ejemplo, el manganeso contenido en los pórfidos cupríferos.
- ✓ **Recobrado:** Material de valor, resultante de una recuperación.
- ✓ **Reserva de mineral:** El tonelaje total y el valor promedio del mineral comprobado, más el tonelaje y el valor totales de minería probable.
- ✓ **Reservas potenciales:** Clase de mineral cuya existencia es de una posibilidad razonable, basada en las relaciones geológicas-mineralógicas y en la importancia de masas de minerales ya descubiertas.
- ✓ **Riqueza media:** El resultado de las pesadas de los ensayos obtenido de varias muestras multiplicando la riqueza de cada muestra por el ancho o espesor del frente de mineral en que se ha tomado y dividiendo la suma de dichos productos por el ancho total de la sección recta de la masa de muestreo.
- ✓ **Sondeo:** Agujero taladrado en la tierra para obtener información sobre las reservas o sobre las rocas debajo de la superficie.

- ✓ **Subproducto:** Sustancia útil que se puede obtener en las operaciones de concentración de la mena, distinta al mineral que la califica.
- ✓ **Trabajos auxiliares:** Cualquier tipo de trabajo en una mina que no concierne directamente a la producción o al transporte; literalmente, es el trabajo detrás del frente, por ejemplo, las reparaciones en las vías de acceso.
- ✓ **Testigo:** Muestra de roca, que se extrae de un sondeo para reconocer la naturaleza del subsuelo.
- ✓ **Valor bruto recuperable:** Parte recuperada del total de un mineral multiplicada por el precio.
- ✓ **Valor unitario bruto:** El peso de metal por tonelada larga o corta determinado por el ensayo o análisis, multiplicado por el precio del metal en el mercado.
- ✓ **Vida de la mina:** Tiempo en el que, a través del empleo de capital disponible, las reservas de mineral pueden ser extraídas.
- ✓ **Yacimiento, deposito, criadero:** Estructura geológica donde se encuentra, en forma natural, una roca o un mineral determinado. Se emplea el termino criadero cuando se hace referencia a la génesis del yacimiento.
- ✓ **Zafra:** Roca que contiene material de desecho de la explotación de una mina o cascotes de la extracción y labra en una cantera (escombro).

[2] Y [3]

BIBLIOGRAFÍA DE IMAGENES.

Imagen 1: Faja piritica iberica de <http://life-etad.com/index.php/es/faja-piritica-iberica-fpi> [life-etad.com]

Imagen 2: Fases de desarrollo de un proyecto minero. [Creación propia.]

imagen 3: Cronograma de la obra [Creación propia.]

Imagen 4: Esquema de movilidad de los metales que acabaron por dar los depósitos de sulfuros masivos de la Faja Piritica de <https://geologicalmanblog.wordpress.com/>

Imagen 5: Esquema de los principales ambientes en los que se producen depósitos de sulfuros masivos (modificado de Kathleen Cantner) de <https://geologicalmanblog.wordpress.com/>

Imagen 6: Estatua de la libertad de <https://guias-viajar.com/estados-unidos/nueva-york/isla-estatua-libertad-horario-visita-precio-entradas/>

Imagen 7: Estadística del ranking de los principales países productores de cobre del mundo de <https://es.statista.com/>

Imagen 8: exploración subterránea y a cielo abierto de <http://bestsupportunderground.com/>

Imagen 9: Estación de trituración Primaria de <https://www.911metallurgist.com/>

Imagen 10: Ejemplo de Domo de acopio de mineral de <http://www.mch.cl/>

Imagen 11: Ejemplo de molino de <http://especialidadmetalurgiaextractiva.blogspot.com>

Imagen 12: Interior molienda. Fuente: CLC

Imagen 13: Proceso de Flotación de <http://www.industriaminera.cl/>

Imagen 14: Esquema resumen proceso Pirometalurgia. [Creación propia.]

Imagen 15: Lixiviación en reactor Fuente: CLC

Imagen 16: Extracción por solventes. Mezclador-Decantador de <http://www.scielo.mec.pt/>

Imagen 17. Esquema Extracción por solventes de Cobre de http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-5000/UCG5074_01.pdf

Imagen 18: Electro-obtención de <http://metalurgiaextractiva2016.blogspot.com/2016/>

Imagen 19: Electro-obtención. de <https://slideplayer.es/>

Imagen 20: Esquema resumen proceso Hidrometalurgia. [Creación propia.]

imagen 21,22,23,24,25 fotos hechas por Cellecesar en cobre las cruces.

BIBLIOGRAFÍA DE TEXTOS.

1. ABC de Sevilla, Economía, E.Freire, Febrero 2012, en
2. Ramon Naranjo, Jose Antonio Botín (2006), “Evaluación económica financiera de Proyectos Mineros.” Madrid, 13-11.
3. Revista de la sociedad española de mineralogía, macla numero 10, noviembre 2018, en <http://www.ehu.es/>
4. Grupo Ditecsa, Octubre 2017, en <http://www.grupoditecsa.com/>
5. Marcial Cordoba Padilla (2006), “Formulación y evaluación de proyectos.” Bogota.6. <http://www.life-etad.com/index.php/es/faja-piritica-iberica-fpi>.
7. Hombre geológico, Septiembre 2015, en <https://geologicalmanblog.wordpress.com/>
8. Información Geocientífica del IGME, Osvaldo Aduvire 2002, drenaje de mina y generación y tratamiento en <https://www.igme.es/>
9. El cobre es el primer material material bactericida del mundo, Marzo de 2008, en <https://www.fayerwayer.com/>
10. Javier Labrada , Marzo 2016, en <http://www.cultivarsalud.com/salud-natural/cobre-los-beneficios-la-salud/>
- 11.El cobre crea hogar, <https://el-cobre-crea-hogar.es/>
12. Codelco, en <https://www.codelco.com>
13. lenntech, en <https://www.lenntech.es>
14. Instituto de Cobre de Europa, en <https://copperalliance.es/beneficios-cobre/medio-ambiente/>
15. Derivados del cobre, en decooper.com
16. Statista es.statista.com
17. Guía Minera de Chile, Febrero 2019, Cochilco. Editado por S.R. Comunicaciones), en <https://www.guiaminera.cl/>
- 18.This is Chile, en <https://Thisischile.cl>
19. Gestion Pe, en <https://gestion.pe/economia/produccion-anual-cobre-peru-disminuyo-0-4-2018-258081>
- 20.UPcommons, Juan Carlos Sarmentero, Junio 2010, en <https://upcommons.upc.edu>
21. Rankia, Amparo Sisternes, Julio 2013, en <https://www.rankia.com/>
- 22.Ministerio de minería, en <http://www.minmineria.gob.cl/glosario-minero-e/extraccion-por-solvente/>
- 23.Mine class, en <https://mine-class.com/course/introduccion-mineria-cielo-abierto/>
24. Cobre y ambiente, diciembre 2016, en <http://cobreambiente2.blogspot.com/>
25. Fuente CLC. Toda aquella información que he ido sacando durante mi estancia en Cobre las Cruces de manuales y profesionales.
26. Codelco, en <https://www.codelcoeduca.cl/>
27. GSMC, en <https://www.fewo-drescher.de/Fri11-05/19815.html>
28. Minemining en <https://www.minemining.com>
29. Febrero 2019, el confidencial https://www.elconfidencial.com/empresas/2019-02-19/cobre-sevilla-mineria-inversion-toronto-derrumbe_1830154/
- 30.911 Metallurgist, en <https://www.911metallurgist.com/>

También he sacado información que he ido utilizando a lo largo del proyecto de los siguientes sitios:

- <https://elementos.org.es/>
- <https://mexicominero.org>
- <http://oa.upm.es/>
- <https://www.911metallurgist.com/>
- <http://www.minmineria.gob.cl/>
- <https://www.europapress.es/>
- www.outletminero.org