

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE MINAS

DISEÑO DE UN SIMULADOR DE PROCESAMIENTO DE MINERALES CON ORO

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS

DANILO ALBERTO HERNÁNDEZ QUIROGA

PROFESOR GUÍA:
LETICIA CONCA BENITO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN
TOMÁS VARGAS VALERO
GONZALO MONTES ATENAS

SANTIAGO DE CHILE
SEPTIEMBRE 2012

RESUMEN

El oro rara vez se encuentra en la naturaleza formando compuestos, a diferencia de otros metales como cobre o zinc. Sus presentaciones habituales son en estado nativo o formando aleaciones, generalmente con plata. Se asocia de diversas formas con otros minerales. Entre los más comunes, se encuentran los sulfuros de hierro como pirita o arsenopirita, los sulfuros de cobre como calcopirita, o los carbonatos. En estas asociaciones, el oro puede presentarse en tamaños tan grandes que las partículas pueden estar liberadas, o tan pequeñas que puede distribuirse en forma atómica en la estructura cristalina del mineral, llegando incluso a estar completamente dentro de ella.

Esta multiplicidad de presencias del oro, en asociación y ocurrencia, es lo que a la fecha ha dificultado definir la mejor opción de procesamiento para las mineralogías desde donde se desea recuperar oro. Por lo tanto, la composición mineralógica del depósito mineral, influye fuertemente en la definición y selección del proceso de beneficio de minerales de oro.

Frente a esta dificultad, se ha desarrollado una herramienta computacional que permite simular, en estado estacionario, distintas rutas de procesamiento para minerales con oro a partir de criterios de diseño. Estos criterios pueden ser obtenidos de pruebas de laboratorio, información de benchmarking o la experiencia del usuario en el desarrollo de procesos.

Esta herramienta se construyó con el software Microsoft Excel, aprovechando sus poderosas funciones para dar solución a problemas de tipo práctico.

El simulador entrega como resultados el balance de materiales y agua de la ruta seleccionada, la composición del metal Doré, la composición de los descartes, los requerimientos de agua fresca y los requerimientos de reactivos necesarios para el procesamiento.

Se presenta también en el documento, información relevante a la definición del proceso productivo. El propósito de esta información, es dar a conocer las opciones de procesamiento de más uso en la industria basándose en las características mineralógicas del material a tratar.

Se presenta la simulación de un caso actual, entregando los criterios de diseño utilizados, las operaciones unitarias seleccionadas y los resultados obtenidos.

ABSTRACT

Gold is rarely found in combination with other elements, unlike other metals such as copper or zinc. The predominant occurrence is as native metal frequently allowed with silver. It is associated in many forms with others minerals such as iron sulfides like pyrite or arsenopyrite, copper sulfides like chalcopyrite, or carbonates. In these associations, gold can occur in an extent of sizes such as large liberated particles or atomically distributed in the crystal structure of minerals, being even totally enclosed within the cell structure.

This multiplicity of association and occurrence has hindered to define the best processing flowsheet for all types of gold ores. Because of this, the characteristics of an ore deposit determine the gold extraction process.

To deal with that difficulty, it has been developed a computational tool in steady state to simulate different processing circuits for gold minerals from the selected design criteria, which came from testworks results, benchmarking data and/or in-house user data.

This tool was created in Microsoft Excel, making use of its powerful features to solve practical problems.

The simulator will provide as results, the materials and water balance for the designed process route, the Doré and tailings composition, the reagents supply and fresh water requirements.

Relevant information to the gold recovery process options is presented in the early chapter to show the current industrial processes based on the gold ore mineralogy.

This document will illustrate the simulation of an actual example, giving the design criteria, the process selection and the results.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Angélica y Danilo, por estar siempre ahí cuando los necesito y necesité, por enseñarme lo que sé y hacerme quien soy. Las cosas materiales vienen y van, el cariño siempre se recuerda. Les debo todo.

A Nicole, mi hermana, por estar siempre disponibles cuando las necesito. Te quiero mucho!.

A la Sra. Leticia Conca, por el tema de memoria, por darme la oportunidad de crecer bajo el calor de la familia de Alquimia y por todo lo que he aprendido aquí. Muchas gracias.

A Michelle Silva, Karen Villalobos, Eduardo Ruz y Sergio Villalobos, por sacarme de los momentos de tensión y recordarme que siempre existe un momento para los amigos.

A las personas del departamento de ingeniería de minas que de alguna u otra forma hicieron que siguiera el camino de la metalurgia: Gabriel Riveros, Tomas Vargas, Leandro Voisin, Willy Kracht, H. Andrés Rebolledo, Magín Torres, Gonzalo Montes, Aldo Casali, Enrique Rubio y Raúl Castro.

Un especial agradecimiento a todas las personas de Alquimia que han aportado con su tiempo y paciencia logrando que aprenda algo nuevo, a Karina Bustos, Nancy Stari, Bárbara Abarca, Solange Saldía, Carla Ramos, Miguel Cartes, Juan Francisco Schwarze, Julio Castillo, Milton Vidal, Nubián Aravena y Oscar Rojas. A todos ustedes, muchas gracias.

A Juanita Vergara por ser la mejor secretaria de la U, ¡por lejos!

A SELM, por soportar estos meses que descuidé mis obligaciones.

Finalmente, pero no por ello menos importante, a Lucas, Ron y Macarena, por estar a mi lado cuando madrugaba leyendo, escribiendo o calculando.

Gracias totales, a todos Uds.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo General.....	2
1.1.2. Objetivos Específicos	2
1.2. Alcances	2
2. ANTECEDENTES GENERALES	3
2.1. Introducción	3
2.2. Desarrollos históricos en el procesamiento de oro	3
2.3. Mercado del oro	5
2.3.1. Oferta del oro.....	6
2.3.2. Demanda de oro.....	8
2.4. Mineralogías, mineralizaciones y materiales de procesamiento.....	9
2.4.1. Minerales de oro	10
2.4.2. Mineralizaciones y materiales provenientes de procesamiento.....	11
2.5. Ruta de procesos según mineralogía.....	19
2.5.1. Factores que afectan la definición del proceso	19
2.5.2. Opciones de flowsheet.....	20
3. METODOLOGÍA	31
3.1. Recopilación de información	31
3.2. Desarrollo del simulador.....	32
3.2.1. Diagrama de flujos general.....	32
3.2.2. Desarrollo de las secciones del diagrama general	33
4. RESULTADOS	42
4.1. Resultados y funcionamiento del Simulador	42
4.1.1. Selección de la ruta de procesamiento en el simulador	42
4.1.2. Ingreso de datos	44
4.1.3. Presentación de resultados	46
4.2. Validación de resultados.....	48

4.3. Simulación de caso: Mineralización de oro oxidada y baja en cobre	49
4.3.1. Caracterización metalúrgica del yacimiento.....	49
4.3.2. Definición de ruta de procesos	50
4.3.3. Criterios de diseño de simulación.....	51
4.3.4. Resultados de la simulación.....	53
5. CONCLUSIONES	59
5.1. Trabajos futuros	59
6. REFERENCIAS.....	60
ANEXOS	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2–1 Contenido de oro coloidal en minerales sulfurados, Fuente (Marsden & House, 2006).	11
Tabla 2–2 Solubilidad de especies de cobre en solución de cianuro.....	14
Tabla 4–1. Pantalla de selección de operaciones unitarias.....	43
Tabla 4–2. Pantalla de ingreso de flujos de alimentación sección 4: Cianuración.....	44
Tabla 4–3. Página de ingreso criterios de diseño Sección 2: Flotación.	45
Tabla 4–4. Verificación del cumplimiento de la ley de conservación de materiales, caso Flotación Flash	48
Tabla 4–5: Composición mineralógica 100% base mineral muestra de yacimiento.....	49
Tabla 4–6: Flujos de tratamiento y leyes de alimentación	49
Tabla 4–7: Asociaciones oro/plata	49
Tabla 4–8: Tabla Resumen de resultados obtenidos de simulación	53
Tabla Anexo B–1. Página de ingreso de criterios de diseño Sección 1: Conminución.....	72
Tabla Anexo B–2. Página de ingreso de criterios de diseño Sección 2: Flotación	73
Tabla Anexo B–3. Página de ingreso de criterios de diseño Sección 3: Oxidación.....	74
Tabla Anexo B–4. Página de ingreso de criterios de diseño Sección 4: Cianuración.....	75
Tabla Anexo B–5. Página de ingreso de criterios de diseño Sección 5: ADR CIP / CIL	76
Tabla Anexo B–6. Página de ingreso de criterios de diseño Sección 6: ADR CIC	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2–1. Valor histórico del oro por año (FUENTE: SONAMI)	6
Figura 2–2. Variación en el precio del oro, US\$/ozt, desde el año 2005	6
Figura 2–3. Distribución de la producción mundial de oro.....	7
Figura 2–4. Producción mundial de oro según sectores	7
Figura 2–5. Demanda de oro dese 1980 en países desarrollados y en vías de desarrollo	8
Figura 2–6. Usos del oro, finales del año 2011	9
Figura 2–7 Representación esquemática de tipos de asociaciones de oro con sulfuros	15
Figura 2–8. Oro refractario en sulfuro.....	16
Figura 2–9. Oro fino ocluido en un mineral de marcasita.....	16
Figura 2–10. Opción de flowsheet para mineralizaciones tipo placer.....	21
Figura 2–11. Flowsheet para mineralizaciones Free-Milling y oxidadas por molienda y cianuración.....	21
Figura 2–12. Flowsheet de mineralizaciones Free-Milling y oxidadas por lixiviación en pilas ...	22
Figura 2–13. Opción de flowsheet para cianuración en pilas junto con cianuración agitada en minerales free-milling y oxidados	23
Figura 2–14. Opción de flowsheet para la flotación de sulfuros no refractarios.....	24
Figura 2–15. Opción de flowsheet para mineralizaciones sulfuradas refractarias	25
Figura 2–16. Opción de Flowsheet para mineralización con presencia de minerales carbonáceos	27
Figura 2–17. Opción de flowsheet para concentrados gravitacionales	28
Figura 2–18. Opción de flowsheet para concentrados de flotación.....	29
Figura 2–19. Opción de flowsheet para refinación.....	30
Figura 3–1. Diagrama de flujos general para el procesamiento de minerales con oro.....	32
Figura 3–2. Diagrama de bloques sección conminución	34
Figura 3–3. Diagrama de bloques sección Flotación.....	35
Figura 3–4. Diagrama de bloques sección oxidación	36
Figura 3–5. Diagrama de bloques sección cianuración	37
Figura 3–6. Diagrama de bloques sección cianuración y adsorción con carbón desde pulpas	39
Figura 3–7. Diagrama de bloques sección adsorción con carbón desde soluciones (CIC)	41
Figura 4–1. (a) Rutas de proceso disponibles para el mineral, (b) Ruta seleccionada Conminución-Flotación-Oxidación, (c) Ruta seleccionada Conminución-Cianuración	43
Figura 4–2. Ruta resultante de Conminución	44
Figura 4–3. Balance de masas sección 1: Conminución	47
Figura 4–4. Diagrama de flujos “Caso de estudio”	51
Figura 4–5. Balance de agua conminución caso de estudio	55
Figura 4–6. Balance de aguas cianuración caso de estudio.....	56
Figura 4–7. Balance de materiales conminución Caso de estudio	57
Figura 4–8. Balance de materiales cianuración Caso de estudio.....	58

Figura Anexo A–1. Pantalla de inicio simulador. Sección conminución.....	64
Figura Anexo A–2. Pantalla de inicio simulador. Sección flotación.....	65
Figura Anexo A–3: Pantalla de inicio simulador. Sección acidificación – oxidación – SX-EW de Cu	66
Figura Anexo A–4. Pantalla de inicio simulador. Sección cianuración	67
Figura Anexo A–5. Pantalla de inicio simulador. Sección CIL/CIP	68
Figura Anexo A–6 . Pantalla de inicio simulador. Sección CIL/CIP.....	69

GLOSARIO

ADR	: <i>Adsorption, desorption and recycle</i> , Adsorción, desorción y reactivación. Proceso de recuperación de oro desde solución o pulpa cianurada con carbón activado. Consiste en adsorber el oro, luego desorberlo por medio de una elución, y finalmente reactivar el carbón descargado para su reutilización.
BLS	: <i>Barren Leach Solution</i> , Solución descargada de metal de interés
CCD	: <i>Counter current decantation</i> , Lavado de sólido en contracorriente.
CIC	: <i>Carbon in column</i> , proceso ADR que adsorbe oro desde soluciones con oro disuelto.
CIL	: <i>Carbon in Leach</i> , proceso ADR que adsorbe oro desde pulpas, mientras se lleva a cabo la cianuración.
CIP	: <i>Carbon in pulp</i> , proceso ADR que adsorbe oro desde pulpas cianuradas.
COCHILCO	: Comisión chilena del cobre
Cp	: % de sólidos en un flujo de materiales
EW	: <i>Electrowinning</i> , Electroobtención.
P80	: 80% del tamaño pasante en el producto
PLS	: <i>Pregnant Leach Solution</i> , Solución cargada con metales disueltos.
POX	: <i>Pressure oxidation</i> , método de oxidación con el uso de presión.
ROM	: <i>Run of mine</i> , corresponde al material proveniente de la mina.
SONAMI	: Sociedad nacional de minería
SX	: <i>Solvent extraction</i> , extracción por solventes
Yoy	: Year-over-year
CN _{WAD}	: Especies de cianuro liberadas con un pH moderado (pH 4,5) como HCN y CN ⁻ acuosos, la mayoría de los complejos de Cu, Cd, Ni, Zn, Ag y otros con constantes de disociación baja similares.

1. INTRODUCCIÓN

El oro ha sido un metal de gran demanda a lo largo de la historia de la humanidad. Desde tiempos muy remotos se ha utilizado principalmente como materia prima de joyas y objetos ornamentales.

Con el pasar del tiempo, se convirtió en patrón económico y en la reserva de la economía mundial, principalmente por sus características físicas y químicas únicas, junto a su relativa escasez. Entre estas propiedades destacan que es un material pesado, maleable, fácil de fundir y prácticamente inerte por lo que no se corroe. Su escasez permite que sea un objeto comerciable. Si se encontrara fácil, no se compraría el oro que se vende.

Producto de la creciente explotación de oro, se comenzaron a acabar poco a poco los yacimientos que permitían un procesamiento económico y simple, donde el oro se presentaba generalmente en forma nativa como pepitas y su recuperación consistía en métodos gravitacionales, para dar paso al tratamiento de mineralizaciones de leyes más bajas y composiciones más complejas en las que se requería el uso de nuevas técnicas químicas para su procesamiento. De esta forma se comenzó a utilizar la cianuración, técnica que hasta el día de hoy es la pieza clave en el procesamiento de minerales con oro.

Desde fines del siglo XX hasta ahora, las mineralizaciones de oro se caracterizan por tener bajas leyes de oro -generalmente menores a 3 g/t-, y por tanto, requieren el tratamiento de grandes volúmenes de mineral para poder obtener cantidades económicas de oro. El problema asociado a la necesidad de aumentar el ritmo de tratamiento, corresponde a que se requieren equipos más grandes o mayor cantidad de equipos. Esto ha influido en que los costos asociados al desarrollo de proyectos de oro aumenten considerablemente. El tener costos altos y mineralizaciones de baja ley, obliga a obtener la máxima recuperación posible en el circuito productivo, lo que demanda mayores esfuerzos en el diseño de los procesos.

El oro puede presentar la característica que ocurrir de variadas formas y con distintos minerales en la naturaleza. Esto ha impedido definir la mejor ruta de procesamiento para minerales con oro, contrariamente a lo que pasa con otros metales como cobre o zinc, donde la ocurrencia de estos metales es bien conocida y ha permitido que sus procesos productivos sean relativamente estándares. Debido a esto, la definición de un buen programa de pruebas metalúrgicas permitirá reducir el riesgo y la incertidumbre intrínseca de los proyectos de procesamiento de oro.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Desarrollo de un simulador de balances en estado estacionario utilizando el software Excel, que permite estimar la composición de los productos y descartes de la ruta de procesamiento seleccionada en función de los resultados de las pruebas metalúrgicas del mineral con oro.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Estudio de las distintas asociaciones y ocurrencias mineralógicas del oro en la naturaleza.
- Desarrollo de un documento que presente información relevante a la definición de un proceso productivo de oro, basado en su mineralogía.
- Análisis de distintas rutas de procesamiento para un mineral de oro.
- Estudio de resultados simulados de procesos, obtenidos bajo distintos escenarios.
- Estimación de la recuperación de oro y otros metales en el proceso productivo de oro.

1.2. Alcances

El desarrollo de este trabajo se enmarca en los procesos productivos de oro, particularmente en la definición de una ruta de procesamiento según las características mineralógicas del material, utilizando la metodología aplicada por Alquimia Conceptos S.A. en el desarrollo de proyectos.

2. ANTECEDENTES GENERALES

2.1. Introducción

En el presente capítulo, se hace una breve reseña de la evolución del procesamiento de oro en la historia presentando los hitos más importantes. Posteriormente, se presentan las distintas ocurrencias mineralógicas del oro junto a sus asociaciones más comunes y las opciones de flowsheets disponibles para procesar cada una de ellas.

2.2. Desarrollos históricos en el procesamiento de oro

Desde tiempos remotos el oro ha sido un metal de interés para el ser humano. Junto al cobre, fueron los primeros metales utilizados para desarrollar herramientas y armamento, principalmente por las ventajas que proporcionan sus propiedades dúctiles. La extracción de oro comenzó a muy temprana edad. Es muy probable que el primer método de extracción haya sido manual y el procesamiento haya sido mediante sorting. Murales encontrados en Egipto que datan de aproximadamente el 1450 a.C., sirven como antecedente para demostrar que los egipcios fueron unos de los primeros pueblos –o los primeros- en extraer rocas portadoras de oro (Adams, 2005).

Cerca del año 1300 a. C. comenzaron los primeros desarrollos en la minería de oro. Las primeras minas podían alcanzar 90 m de profundidad y hasta 500 m de largo, siguiendo la forma de la veta portadora de oro. El oro era luego recuperado por variaciones de lo que hoy conocemos como concentración gravitacional y sorting (Marsden & House, 2006).

En Turquía, cerca del año 700 a.C. se produjo la primera moneda de oro. Pero posterior al año 560 a.C., después del desarrollo de la refinación a fuego, se forjó la primera moneda de oro puro.

Con el alza del imperio Romano, cerca del año cero, se incrementó la producción de oro debido a que era el método de pago por excelencia para el comercio de Roma con otros países. El método de recuperación más utilizado en la época, consistía en lavar las rocas portadoras de oro con abundante agua. El agua de lavado fluía en canales con arbustos espinosos en los que el metal quedaba atrapado (Marsden & House, 2006).

La caída del imperio romano de occidente, el siglo V d.C., provocó una disminución de la actividad minera que no vería una reactivación hasta cerca del año 1400 d.C. en Europa central, donde se realizaron importantes desarrollos en minería y metalurgia. Ejemplo claro de esto ocurrió en lo que hoy en día es Alemania, dónde los procesos de retorta y amalgamación fueron utilizados ampliamente.

Entre los años 1400 y 1600 d.C., se incrementó la producción mundial de oro debido a la exploración y colonización europea alrededor del mundo. Cerca del año 1550, en Europa, se detuvo el desarrollo minero de oro y plata, lo que generó en América central y América del sur un nuevo periodo de desarrollo en metalurgia, debido principalmente a la propagación de los conocimientos de los colonos europeos en este sector del mundo. Otras exploraciones que contribuyeron de manera importante a la producción mundial de oro fueron las del occidente africano donde se produjo cerca de un millón de ozt. También lo fueron las exploraciones de China, Japón e India.

En la primera mitad del siglo XIX, Rusia aportaba cerca del 60% de la producción mundial de oro. Los descubrimientos de oro en los ríos Ulderey y Lena Basin en Siberia, cerca de 1840, impulsaron una fiebre de oro en Rusia (Marsden & House, 2006). En esta época, el principal método de obtención de oro correspondía a la concentración gravitacional por paneo, aunque se comenzaba a utilizar la separación de oro en tambores estriados y otros equipos de concentración gravitacional.

Cerca del año 1850, otras fiebres de oro a nivel mundial opacaron la rusa. Estas fiebres ocurrieron en Sudamérica, Victoria (Australia), Nueva Zelanda y California, siendo esta última la más importante debido a que abrió el oeste de Norteamérica permitiendo el asentamiento de poblados mineros, lo que contribuyó significativamente al establecimiento de la nación (Marsden & House, 2006). Durante esta época, los métodos de procesamiento fueron en su mayoría gravitacionales debido principalmente a la gran cantidad de granos de oro libre que se presentaban en las arenas de lo que alguna vez fueron lechos de ríos. Los métodos de paneo fueron paulatinamente dando paso a métodos gravitacionales en húmedo con maquinarias. Ejemplo de esto fueron las “cunas” de paneo y “long tom” (Bruton, 1983).

Aunque el desarrollo minero de oro se extendió en gran parte de Estados Unidos y parte de Canadá, las reservas más fáciles de obtener y económicas se estaban acabando para dar paso rápidamente a la exploración subterránea de las duras vetas de Cuarzo con contenido de oro (Marsden & House, 2006).

El año 1886, se producía la siguiente gran era de la minería de oro en Witwatersrand, Sudafrica, con la introducción de la cianuración de oro en el proceso productivo. El mineral de Witwatersrand se caracterizaba por tener leyes mucho menores que las explotadas hasta ese entonces y gran porcentaje del oro ocurría como granos finos dentro de una matriz rocosa dura. El proceso de cianuración complementado con la cementación con zinc reemplazó la recuperación con métodos gravitacionales y aumentó la recuperación de oro de un 70% a un 95%. Producto de esto se reactivó la industria del oro que se acercaba al fracaso, y posicionó a Sudafrica como un importante productor de oro, pasando de producir menos de 300.000 ozt en el año 1888 a cerca de 3 millones de ozt en el año 1898 (Marsden & House, 2006).

Hasta el momento, los circuitos de recuperación de oro consistían en chancado, sorting manual, molienda, amalgamación, cianuración, separación sólido-líquido, y recuperación de oro de la solución por precipitación con zinc.

Entre los años 1904 y 1908 se avanzó tecnológicamente en el procesamiento del oro desarrollando entre otras cosas el filtro de vacío y los estanques agitados con aire.

Posterior al año 1918, se realizaron importantes avances en el procesamiento de oro, entre ellos, se reemplazó la amalgamación directa de oro con mercurio por la preconcentración con materiales menos contaminantes (textiles), lo que redujo significativamente el consumo de mercurio que se utilizaba. Este hecho permitió incluir equipos de concentración gravitacional dentro de los circuitos de molienda, y provocó que a finales del año 1980, cerca del 20% del oro producido en Sudáfrica se obtuviera de circuitos gravitacionales (Marsden & House, 2006). Cerca del año 1935, en Sudáfrica, se comenzó a utilizar la flotación para tratar arenas portadoras de oro, con el

fin de obtener un concentrado sulfurado de minerales. Este concentrado era luego remolido y cianurado. Sus relaves fueron también cianurados, lo que produjo mayores recuperaciones marginales a un costo significativamente menor, dando paso a tratar económicamente los minerales sulfurados con baja ley.

Desde aproximadamente el año 1900, se comenzó a estudiar una alternativa a la precipitación de oro con zinc desde las soluciones. Pero sólo en el año 1949, en San Andreas de Copan, Honduras, se desarrolló la primera planta CIP en usar carbón granular, con una capacidad de procesamiento de 250 tpd. Hasta ese entonces no existía ningún método que permitiera recuperar el oro del carbón y reutilizar el carbón posteriormente. El carbón cargado obtenido en esta planta, era vendido a una fundición donde se quemaba y fundía la ceniza obtenida. Producto de la investigación, cerca del 1950 se creó el método Zadra de elución. Una planta Zadra se instaló posteriormente en San Andreas de Copan.

Entre los años 1970 y 1990, los esfuerzos se orientaron a mejorar los procesamientos de aquellos minerales que no pueden ser tratados por simple cianuración –refractarios-. Los primeros minerales y concentrados que presentaban estas características fueron tostados hasta oxidar completamente la porción refractaria previa a la cianuración. De esta forma, variados métodos de tratamiento de material refractario fueron estudiados, entre ellos la cloración, la oxidación con presión (ácida y no ácida) y la bio-oxidación.

Los esfuerzos durante los últimos años se han concentrado en mejorar las recuperaciones de oro, disminuir los costos y lograr procesos más amenos con el medio ambiente. De este modo se han estudiado nuevos agentes lixiviantes, pero al momento ninguno ha podido mejorar el consumo, costo y selectividad por oro sobre otros metales que presenta el cianuro (Marsden & House, 2006) (Flatman, y otros).

2.3. Mercado del oro

En la presente sección se realiza una breve descripción del mercado del oro en los últimos años, presentando la evolución en el precio de este metal, los principales países productores y demandantes del metal precioso en el mundo.

El año 1934 el gobierno de Estados Unidos fijó un precio oficial de venta de oro de 35 US\$/ozt. Esto provocó que entre los años 1950 y 1970 la producción mundial de oro decayera generando un retroceso en la industria que limitó la explotación, y disminuyó los estudios y los desarrollos orientados a mejorar los procesos productivos.

Durante este periodo, el oro se producía principalmente como un subproducto del procesamiento del cobre y el plomo.

Aumentos posteriores en el valor del oro llegando hasta 600 US\$/ozt el año 1980, tal como lo presenta la Figura 2–1, permitieron mejorar las utilidades de las empresas mineras, incrementando la exploración y aumentando los esfuerzos por mejorar la producción alrededor del mundo.



Figura 2-1. Valor histórico del oro por año (FUENTE: SONAMI)

Durante la última década, el precio del oro ha ido en aumento desde casi los 250 US\$/ozt a aproximadamente 1600 US\$/ozt el año 2012. En la Figura 2-2 se presenta la evolución del oro gráficamente desde el año 2005 hasta el presente:



Figura 2-2. Variación en el precio del oro, US\$/ozt, desde el año 2005

Se puede ver en la tabla anterior, que a partir del año 2009 la pendiente de la curva del precio del oro es mayor que antes del 2008, lo que indica un mayor alza en el precio a partir de esos años. Desde mediados del año 2011 el precio se ha mantenido entre los 1.500 US\$/ozt y 1.800 US\$/ozt, lo que ha causado un gran interés por parte de las empresas mineras para desarrollar nuevos proyectos de extracción y procesamiento de oro.

2.3.1. Oferta del oro

La base para el cálculo de la producción de oro, corresponde a 350 minas y proyectos que cubren aproximadamente el 60% de la producción mundial de oro desde minas. En la Figura 2-3, se presenta la distribución mundial de la producción minera de oro desde el año 1984 al 2011:

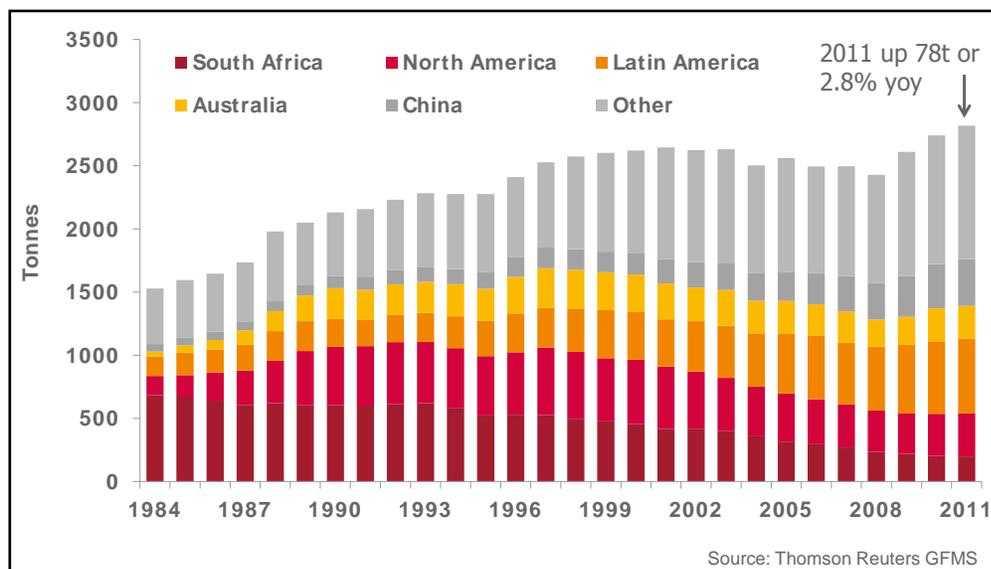


Figura 2–3. Distribución de la producción mundial de oro

Se ve en la Figura 2–3, que la producción mundial varía aproximadamente desde 1.500 t el año 1984 a cerca de 2.800 t el año 2011. Además, se muestra que la producción entre los años 2010 y 2011 aumentó un 2,8%, equivalente a 78t.

En la Figura 2–4 se puede ver la variación en la producción de oro por países entre los años 2010 y 2011. Los colores indican el aumento o disminución en la producción según la simbología presentada en la esquina inferior derecha de la figura:

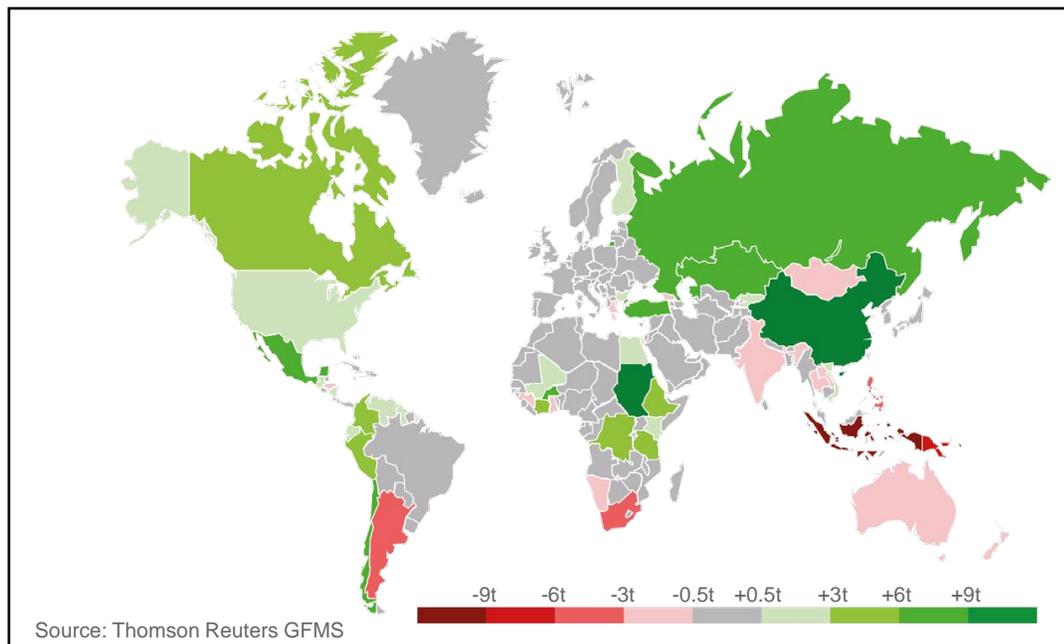


Figura 2–4. Producción mundial de oro según sectores

Se puede ver que el mayor crecimiento se produce en África, con un aumento total en la producción de 51 t, mientras que el mayor productor de la región, Sudáfrica, tuvo una

disminución de 5 t. Otros lugares donde la disminución es mayor a 3 t, corresponden a Argentina, Indonesia y al sector de Papúa y Nueva Guinea, mientras que los países que aumentaron en mayor medida la producción de oro –más de 9t-, corresponden a Sudán y China.

2.3.2. Demanda de oro

En la Figura 2–5 se presenta el consumo de oro mundial desde el año 1980 hasta el 2011, diferenciado por el consumo de los países desarrollados (verde) y los países en vía de desarrollo (azul):

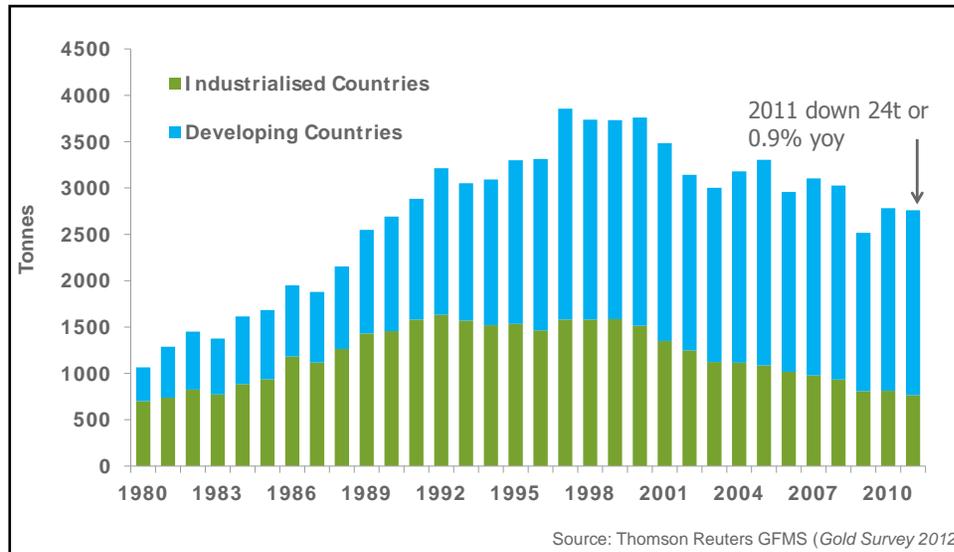


Figura 2–5. Demanda de oro dese 1980 en países desarrollados y en vías de desarrollo

En la figura anterior se puede ver que la demanda de oro cayó un 0,9% el año 2011 con respecto al 2010, lo que es equivalente a 24 t, y que el consumo de los países desarrollados corresponde a cerca del 20 % del consumo mundial de los últimos años.

En la Figura 2–6 se muestra la distribución de los usos que presenta el oro en la actualidad, considerando que 171.300 t de oro han sido extraídas desde la tierra hasta fines del año 2011:

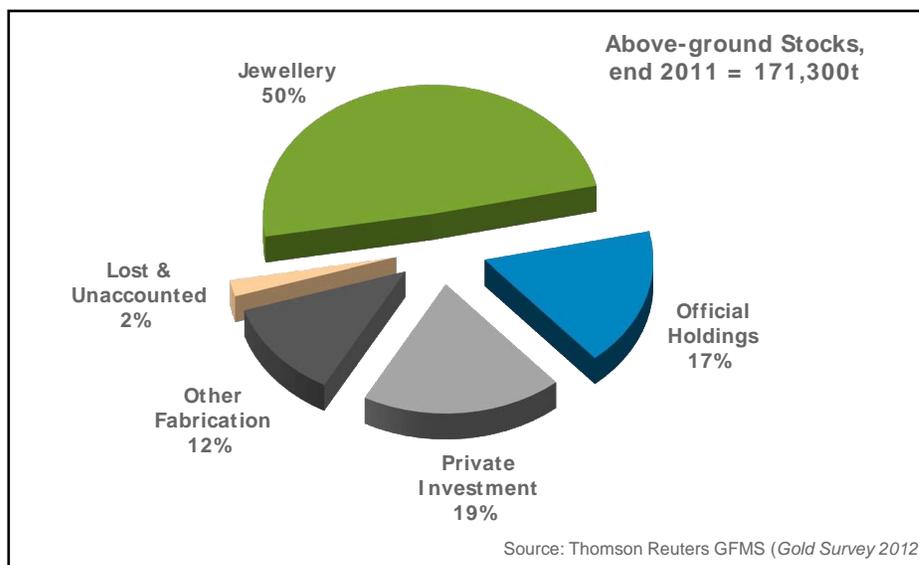


Figura 2–6. Usos del oro, finales del año 2011

En el gráfico anterior, se puede ver que el principal uso del oro sigue siendo la joyería, abarcando un 50% del consumo total. Le sigue con un 36% el uso de oro como un factor económico (oro con fines especulativos, como activo refugio y como objeto de inversiones). Finalmente, un 12% del oro es usado para la fabricación de distintos artefactos, la mayoría de ellos eléctricos.

2.4. Mineralogías, mineralizaciones y materiales de procesamiento

La caracterización mineralógica de un depósito mineral determina entre otras cosas el(los) método(s) minero(s), el método de procesamiento y en particular, el rendimiento de todos los procesos químicos involucrados en la extracción de oro. Es primordial entender que cada mineralogía es única, y será consecuencia de (Marsden & House, 2006):

- Minerales con los que se presenta el oro
- Distribución de tamaños de granos del oro
- Mineralogía de la ganga y roca huésped
- Distribución de tamaños de granos de la ganga y roca caja
- Asociaciones minerales
- Alteraciones minerales
- Variaciones de las anteriores dentro del depósito o en el tiempo.

A partir de los puntos señalados anteriormente, se determina el abanico de posibilidades de procesamiento para el mineral. Luego, al considerar las características políticas, económicas, medioambientales y sociales de cada región, será posible definir la ruta de procesamiento del mineral. A continuación, se presentan los minerales, mineralogías y asociaciones más comunes en las que se presenta el oro.

2.4.1. *Minerales de oro*

Debido a lo inerte que es el oro a temperatura y presión ambientales, existen muy pocos compuestos de este metal. La concentración media del oro en la corteza de la tierra es de 0,005 g/t (la ley de Ag es 0,07 g/t y la de Cu 50 g/t), lo cual indica que el proceso seleccionado debe mejorar esta concentración al menos entre 3.000 y 4.000 veces para lograr una concentración comercial. La ocurrencia más común de oro es en forma nativa, frecuentemente permitiendo hasta un 15% de plata. No existe ocurrencia natural de oro con óxidos, silicatos, carbonatos, sulfatos o sulfuros. Dado que el oro generalmente se presenta entre otros minerales - no formando compuestos-, es posible realizar una extracción selectiva desde otras mezclas minerales. A continuación, se presentan los minerales de oro más comunes según el elemento con que se asocie.

- **Oro nativo y Electrum**

El oro nativo es el mineral más común de oro. Se han conocido granos de oro nativo con un contenido de hasta 99,8% de oro, sin embargo, la composición de la mayoría de los granos oscila entre 85% y 95%, siendo plata la principal impureza. Este hecho se refleja en la diferencia de densidades que presenta el oro nativo comparado al oro puro: el oro puro tiene una densidad de $19,3 \text{ t/m}^3$, en contraste con el oro nativo que tiene una densidad cercana a los 15 t/m^3 . La alta densidad que presenta el oro nativo, permite separar sus granos por medios gravitacionales cuando éstos se encuentran liberados de la ganga (la densidad de ganga es aproximadamente $2,7 \text{ t/m}^3$).

Cuando el contenido de plata se mueve entre 25% y 55%, el mineral es llamado electrum. El electrum tiene un pálido color amarillo, debido al alto contenido de plata en su composición. Este hecho también se refleja en la baja densidad que presenta esta aleación, siendo 13 ton/m^3 , comparado a $19,3 \text{ ton/m}^3$ que es la densidad del oro.

- **Teluros de oro**

La química de estos compuestos es bastante compleja, siendo los teluros de oro más comunes la silvinita ((Au, Ag)₂Te₄), calaverita (AuTe₂) y petzita (Ag₃AuTe₂). Entre las formas menos comunes se encuentran la krenerita (AuTe₂), montbrayita (Au₂Te₃) y kostovita (CuAuTe₄). Las condiciones de ocurrencia de estos minerales son variadas, pero frecuentemente relacionadas con presencia de oro libre y minerales sulfurados. Sus densidades varían entre 8 y 10 ton/m^3 y sus colores son generalmente grisáceos. Se les encuentra frecuentemente con el mineral de plata Hesita (Ag₂Te).

- **Oro con sulfuros**

El oro no genera minerales sulfurados. Sin embargo, se puede presentar como inclusiones en los granos de minerales sulfurados, algunas veces tan pequeñas como un micrón. En tales casos, recibe el nombre de oro coloidal. Se han encontrado distintas cantidades de Au en sulfuros, tal como lo indica la Tabla 2-1 (Adams, 2005):

Tabla 2–1 Contenido de oro coloidal en minerales sulfurados, Fuente (Marsden & House, 2006).

Sulfuro	Fórmula química	Rango [g/t]
Arsenopirita	FeAsS	0,2 - 15.200
Pirita	FeS ₂	0,2 - 132
Tetraedrita	(Cu,Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃	0,2 - 72
Calcopirita	CuFeS ₂	0,2 - 7,7

Esta ocurrencia tiene gran importancia, sobretodo en los minerales refractarios, definidos como aquellos minerales que no pueden ser tratados por simple cianuración por entregar recuperaciones económicamente inviables. Históricamente los minerales refractarios o sus concentrados han sido enviados a tostación u otro proceso, con el fin de oxidar la porción refractaria del mineral y liberar el oro cianurable. Típicamente estos minerales son sulfuros, carbonatos, telurios o combinaciones de éstos.

• **Otros minerales de Oro**

El oro ocasionalmente se presenta con bismuto en el mineral denominado maldonita (Au₂Bi) que tiene una densidad de 15,5 kg/m³ y una baja dureza de Mohs (1,5 a 2). Tiene una solubilidad muy baja ante la presencia de cianuro. El cobre junto a oro forman un compuesto intermetálico aurocuproso (AuCu₃) y otro tetra-cuproso (AuCu). El AuCu₃ natural contiene solo un 40% de oro en vez del estequiométrico 50,8 %.

2.4.2. *Mineralizaciones y materiales provenientes de procesamiento*

Los materiales portadores de oro se pueden organizar en dos categorías según sea su formación: mineralizaciones y materiales secundarios. Las mineralizaciones corresponden a los materiales portadores de oro que se forman naturalmente por procesos geológicos. Los materiales secundarios corresponden a materiales portadores de oro pero que no son de origen natural. Generalmente producto del procesamiento de mineralizaciones de oro, aunque también pueden ser obtenidos de reciclaje.

A continuación, se enlistan los materiales portadores de oro separados por las categorías definidas anteriormente (Marsden & House, 2006):

Mineralizaciones de oro

- Placeres
- Mineralizaciones “Free milling”
- Óxidos
- Sulfuros: Fierro, Arsénico y Cobre
- Telurios
- Minerales carbonáceos

Materiales secundarios

- Concentrados gravitacionales

- Concentrados de flotación
- Relaves
- Materiales de refinería
- Oro reciclado

Las distintas clases de materiales portadores de oro, presenta características mineralógicas especiales que afectan su procesamiento. En la siguiente sección, se presenta cada una de ellas.

Mineralizaciones de oro

Placeres

Los depósitos tipo placer se forman como resultado de la liberación de partículas de oro desde una mineralización primaria por meteorización, para luego ser transportadas de forma hidráulica –generalmente por ríos-, y finalmente depositadas a grandes distancias desde su posición inicial. Los beneficios del procesamiento de este tipo de mineralizaciones tienen relación con los bajos costos de capital y operacionales que presentan, lo que ha permitido en algunos casos financiar la explotación posterior del depósito primario. En el año 2006, se estima que de la producción mundial, entre el 2% y 5% correspondía a depósitos de este tipo.

Mineralizaciones “Free milling”

Las mineralizaciones “free milling” se definen como aquellas mineralizaciones en las que la cianuración puede extraer aproximadamente el 95% del oro, cuando éste se encuentra 80% bajo los 75 μm (Marsden & House, 2006). Los tipos más comunes de mineralizaciones free-milling son los paleo-placeres (depósitos placeres fosilizados) y las vetas de oro-cuarzo. Las dos mineralizaciones presentan minerales de oro en una matriz rocosa dura. Algunos depósitos epitermales pueden ser free-milling, pero comúnmente contienen gran cantidad de sulfuros por lo que sus minerales estarían en la categoría de refractarios (Marsden & House, 2006).

Mineralizaciones oxidadas

Un depósito oxidado corresponde generalmente a un depósito sulfurado primario, en el que alguna zona ha sido oxidada o erosionada. Debido a esto, es muy probable que la roca se encuentre fracturada, lo que aumenta su permeabilidad y permite una alta extracción de los metales en la cianuración. Este tipo de mineral permite una alta extracción de oro al cianurar en pilas, incluso si el material es ROM (Run Of Mine) y el tamaño de partícula es grueso. Sin embargo, este tipo de mineralización puede presentar distintos problemas operacionales según el grado de meteorización de la mineralogía, ya que se caracterizan por presentar alta disolución de los metales en presencia de soluciones de cianuro. Este hecho, complica el posterior tratamiento de la solución PLS debido a que contiene diversos metales en solución, y algunas veces se puede ver perjudicada la recuperación de oro desde la solución. Debido a esto, los consumos de cianuro puedan ser tan altos que el proyecto puede llegar a ser inviable. Otra dificultad que presenta este tipo de mineralizaciones, es que el grado de erosión está ligado con la cantidad de arcillas que se forman en el proceso. Las arcillas pueden acarrear distintos problemas según la operación unitaria. A continuación, se presentan algunos ejemplos de los problemas que causan las mineralizaciones arcillosas en el proceso productivo:

- Disminuye la permeabilidad en la pila de cianuración.

- Aumenta la viscosidad de las pulpas, lo que aumenta los requerimientos energéticos en procesos en los que se requiere mezclar.
- Cubre las partículas de oro evitando su cianuración.
- Obstaculiza la adsorción de oro en el carbón activado.
- En mineralizaciones oxidadas, es probable encontrar minerales con el compuesto CO_3^{2-} . Sus efectos se presentan en la sección de mineralizaciones carbonáceas.

Mineralizaciones ricas en plata

El oro se presenta mayoritariamente con plata, como se explicó anteriormente en la sección de minerales de oro. Cuando la ley de plata es mayor a 10 g/t, y el oro está presente como electrum, se debe considerar en el diseño del procesamiento que el electrum se pasiva fácilmente en presencia de iones S^- , formando una capa de entre 1 μm y 2 μm de espesor (Marsden & House, 2006), lo que impide el ingreso de cianuro al oro y por tanto, disminuye la extracción general del proceso.

El valor de la plata es comparativamente mucho menor que el valor del oro (aproximadamente un 2%) (COCHILCO), pero tiende a ocurrir con leyes mucho mayores por lo que puede evaluarse como una buena fuente de ingresos anexo en el proceso de obtención de oro. El problema que acarrea recuperar un gran volumen o masa de plata, es la caída que presenta la recuperación de oro, ya que la plata influye en el comportamiento del oro en las distintas etapas de proceso.

Mineralizaciones sulfuradas

En la presente sección, se describen las principales características de ocurrencia de oro con minerales sulfurados, separándolos en sulfuros de fierro, arsénico y cobre.

- Sulfuros de Fierro

El oro suele no estar liberado en la matriz de los sulfuros de fierro, o puede ocurrir que esté liberado pero a tamaños muy pequeños. Debido a esto, generalmente el mineral sulfurado es el que define las condiciones o los métodos de procesamiento del material.

La pirita es el sulfuro de fierro que más se asocia con oro. Es el mineral más común entre los sulfuros y está presente en todas las mineralizaciones sulfuradas. Es un mineral muy estable y no es reactivo bajo las condiciones de la cianuración. A causa de esto, las inclusiones finas de oro en la pirita requieren de más molienda y/o condiciones extremas de oxidación para liberar el oro. La ausencia de reactividad de la pirita puede ser positiva, como en el caso de Witwatersrand, que presentaba oro lo suficientemente grueso y accesible para que se llevara a cabo la cianuración, y la no reactividad presentada por la pirita favorecía un bajo consumo de reactivos. La pirita sólo se presenta como un problema cuando no permite que el oro se libere, desafío actual que presenta la minería del oro con los minerales refractarios. Otra forma factible de tratar la pirita es mediante flotación, con el fin de obtener un concentrado sulfurado rico en oro, obtener un concentrado de pirita como subproducto del procesamiento de oro, u oxidar este concentrado para obtener ácido sulfúrico (H_2SO_4) o azufre elemental.

La marcasita es otro sulfuro de fierro que tiene la misma composición química que la pirita (FeS_2), pero que se encuentra en menor proporción en los cuerpos mineralizados. Al igual que la pirita, puede contener inclusiones de oro. La gran diferencia entre estos dos minerales es la gran

capacidad de consumo de oxígeno y cianuro que presenta la marcasita en el proceso de cianuración, frente al nulo consumo de reactivos presentado por la pirita. El consumo excesivo de reactivos por parte de la marcasita se puede solucionar con oxidación.

La pirrotina (Fe_{1-x}S) también puede presentar inclusiones de oro y tiende a oxidarse más fácilmente que la pirita. Al igual que la marcasita, es un consumidor importante de reactivos en la cianuración.

- Sulfuros de Arsénico

La arsenopirita (FeAsS) es el mineral que más se relaciona con el oro después de la pirita. Las asociaciones de oro en pirita y arsenopirita se han encontrado semejantes, aunque la concentración de oro puede ser mucho mayor en ésta última debido al mayor espacio inter-celda de la estructura molecular y la semejanza de condiciones de formación que presenta con el oro. La ventaja que presenta este mineral desde el punto de vista de procesos sobre la pirita, es que al tener una menor dureza su molienda resulta más fácil.

El oropimente (As_2S_3) y rejalgar (As_2S_2) son minerales de muy poca importancia en la industria del oro, excepto por el hecho que son solubles bajo las condiciones de cianuración, por lo que introducen especies de arsénico en la solución.

- Sulfuros de Cobre

La importancia de los sulfuros de cobre radica principalmente en que se encuentran asociados a pirita, y algunas veces a sulfuros de arsénico como arsenopirita. Desde el punto de vista del procesamiento de cobre, es bueno tener sulfuros con oro dado que se puede hacer un concentrado de cobre rico en oro. Aunque la ley de oro en los yacimientos de cobre es típicamente bajo (menor a 1 g/t), obtener oro como subproducto es importante por los grandes volúmenes de mineral tratado, de hecho, cerca del 80% del oro obtenido como subproducto proviene de yacimientos de cobre (Marsden & House, 2006). El resto, proviene en su mayoría de yacimientos mezcla de cobre-plomo-zinc. La presencia de sulfuros de cobre dentro del procesamiento de oro puede tener distintos efectos en función de la mineralogía y ley de cobre presente en el mineral a procesar. En la Tabla 2–2 se presentan las solubilidades de las distintas especies de cobre a 23°C.

Tabla 2–2 Solubilidad de especies de cobre en solución de cianuro

Mineral de Cobre	Fórmula química	Solubilidad en CN a 23 °C
Azurita	$2\text{CuCl}_2\text{O}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	94,5
Bornita	Cu_5FeS_4	96
Calcocita	Cu_2S	90,2
Calcopirita	CuFeS_2	5,6
Crisocola	$\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	11,8
Covelita	CuS	96
Cuprita	Cu_2O	96,6
Enargita	Cu_3AsS_4	65,8
Malaquita	$2\text{CuCO}_3(\text{OH})_2$	99
Cobre Nativo	Cu	90
Tetraedrita	$(\text{Cu,Fe,Ag,Zn})\text{Sb}_4\text{S}_{13}$	21,9

- Asociaciones de oro en sulfuros

El oro puede asociarse de diversas maneras con los minerales sulfurados tal como se presenta en la Figura 2-7.

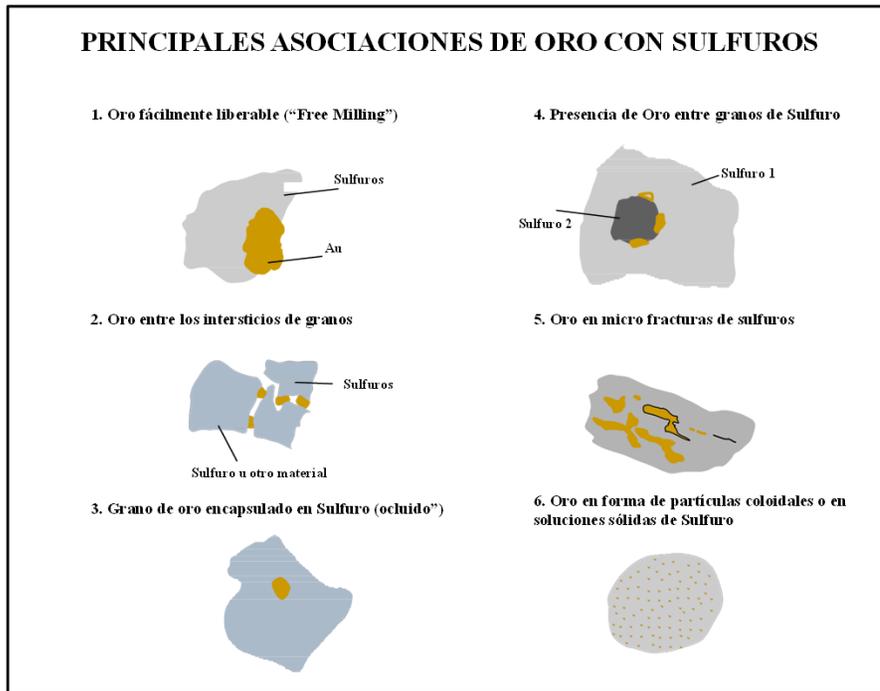


Figura 2-7 Representación esquemática de tipos de asociaciones de oro con sulfuros

Para las asociaciones de oro 1 a 3 en la figura, el oro tiene más probabilidades de ser liberado. Aunque el tipo 3 sea refractario, es posible liberar el oro por molienda fina u oxidación. Contrariamente, para los tipos 5, 6 y posiblemente 4, el oro puede seguir sin liberarse incluso a tamaños finos. Actualmente se están procesando minerales conteniendo asociaciones del tipo 6, donde los granos de oro son tan pequeños como $1\ \mu\text{m}$, y se encuentran dentro de una matriz de sulfuro. Generalmente, un tratamiento oxidante de estas mineralogías permite incrementar las extracciones de oro. En la Figura 2-8, se presenta el ejemplo de un mineral refractario (tipo 3). En la Figura 2-9, se muestran finas partículas de oro ocluidas en un grano de marcasita (tipo 6).



Figura 2-8. Oro refractario en sulfuro.

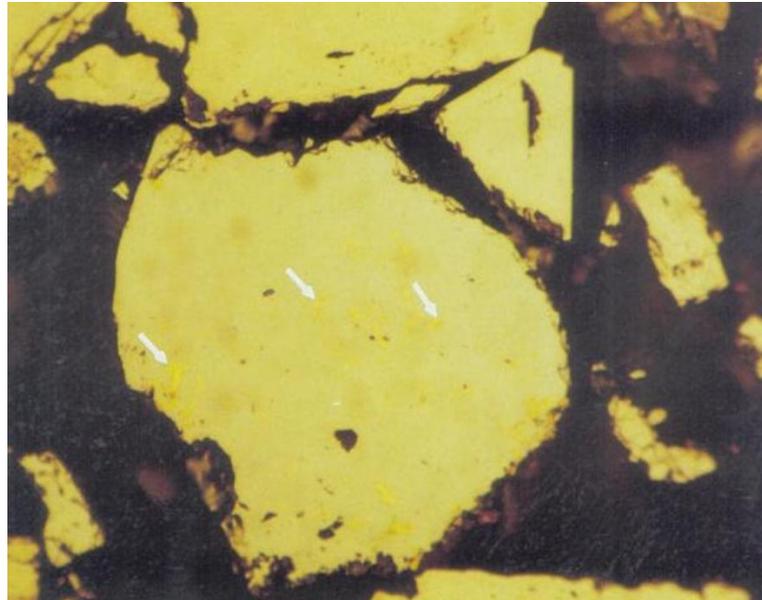


Figura 2-9. Oro fino ocluido en un mineral de marcasita.

Teluros

Las aleaciones de oro con teluro, junto a las de oro-plata y al oro nativo, son los únicos minerales de oro con importancia económica. Las mineralizaciones de este tipo usualmente contienen oro en forma nativa. Depósitos de este tipo de minerales se han encontrado en Colorado, Estados Unidos y Tavatu, Fiji (Marsden & House, 2006).

Las mineralizaciones que contienen minerales de oro-teluro, tienen un único y generalmente poco optimizado método de tratamiento. La mayoría se disuelve lentamente en soluciones de cianuro, y usualmente requieren de una etapa de oxidación para obtener extracciones económicamente viables.

Mineralizaciones carbonáceas

La importancia desde el punto de vista de procesos de este tipo de mineralizaciones, viene dada por el hecho que los minerales carbonáceos adsorben el oro disuelto durante la cianuración de una forma similar al carbón activado creando una competencia con él, lo que afecta directamente la recuperación de oro en el proceso. Se reconocen dos tipos de formas en las que actúa el material carbonatado en este caso, denominadas *preg-borrowing* y *preg-robbing*. La primera, ocurre cuando el mineral carbonáceo remueve el oro desde la solución reversiblemente, y la segunda, ocurre cuando el oro es removido desde la solución irreversiblemente. Ni las causas ni los métodos por lo cuales el oro es adsorbido por estos minerales es bien conocido, aunque existen teorías sobre el tema (Marsden & House, 2006) (Domic, Esteban, 2001).

Para estos casos, se requiere realizar una oxidación previa a la cianuración, ya que hasta un 0,1% de carbono en la mineralización puede producir *preg-robbing* o *preg-borrowing*.

Materiales secundarios

Concentrados gravitacionales

Entre los materiales secundarios, los concentrados gravitacionales son una clase especial debido a su inusual composición, consistente principalmente por partículas gruesas -entre 50 μm y 2 cm-, que puede presentar altas concentraciones de mineral oxidado grueso y sulfuros. Este producto, se obtiene usando una variedad de equipos de concentración gravitacional. La mayor cantidad del oro obtenido por estos métodos corresponde a partículas de oro liberado. Algunas partículas pueden presentarse con pirita o cuarzo, y otros pueden estar cubiertos con calcio, fierro, óxidos de magnesio y/o carbonatos.

Concentrados de flotación

Los concentrados de flotación en el procesamiento de oro, contienen oro y otros minerales hidrofóbicos provenientes de generalmente una mineralización sulfurada. Las pulpas del concentrado de flotación de sulfuros presentan la característica inusual de ser extremadamente hidrofóbica y tener la propiedad de asentarse rápidamente, lo que conlleva dificultades en su manejo y posterior tratamiento por concentración gravitacional, oxidación o cianuración (Marsden & House, 2006) (Adams, 2005).

Relaves

Los relaves corresponden a materiales que han sido descartados del proceso productivo de las plantas de procesamiento. Las características del mineral procesado y el proceso desde el cual se produce, establecen la mineralogía y la ocurrencia de oro en este material. En la mayoría de los casos, la recuperación aceptable de oro desde los relaves varía típicamente entre 40% y 70%, y están limitados por al menos un factor mineralógico. Para estos relaves, donde la ley varía típicamente entre 0,05 g/t y 2 g/t de oro, es extremadamente importante entender la ocurrencia de oro para proponer y optimizar un proceso de producción apropiado. Los relaves obtenidos de plantas de procesamiento de oro más comunes, corresponden a relaves gravitacionales, de cianuración y de flotación.

Los relaves gravitacionales, pueden ser tratados por un método gravitacional más eficiente como separadores centrífugos o jigs, con el fin de recuperar partículas más finas que las recuperadas por el método de concentración original.

El contenido de oro en los relaves de cianuración suele ser muy bajo, debido a que en este proceso se obtienen recuperaciones de metal cercanas al 90%. Las causas principales para que se presente oro en los relaves corresponden a:

- Presencia de minerales refractarios,
- Cianuración incompleta de partículas gruesas de oro, y
- Pasivación de las partículas de oro con iones de azufre durante la cianuración.

Los relaves de flotación, pueden presentar oro debido a que se encuentra cubierto con minerales no flotables como silicatos u óxidos de hierro, o dentro de minerales hidrofílicos. Es por tanto posible recuperar el oro de relaves con una cianuración posterior.

Materiales de refinería

Los materiales de refinería corresponden a los descartes producidos en métodos pirometalúrgicos o hidrometalúrgicos de refinación, y que pueden ser procesados posteriormente para recuperar el oro contenido. Ejemplos de estos son los barros anódicos obtenidos desde la producción de cobre, y escorias provenientes de fundición.

Es de importancia recuperar el oro obtenido en las escorias de fundición. En este caso, dado que la escoria es un material poco poroso, y poco cianurable, generalmente es chancada, molida y enviada a concentración gravitacional donde se recupera el oro liberado, algunos sulfuros con oro, y aleaciones de oro-plata, oro-cobre y oro-antimonio.

Oro reciclado

El oro reciclado proviene de productos portadores de oro desechados -chatarra de joyería o componentes eléctricos-. La ocurrencia de oro es generalmente desde virutas de alta pureza a delgados hilos cubiertos con oro en componentes eléctricos. Se puede obtener de estos materiales un concentrado conteniendo 1,2 kg/t de oro (Au), 13,7 kg/t de plata (Ag), 38% de cobre (Cu), 27% de aluminio (Al) y 9 % de fierro (Fe), con una recuperación metalúrgica de entre 50% y 60%, y una recuperación en peso cercana al 15% (Marsden & House, 2006).

2.5. Ruta de procesos según mineralogía

La selección de la mejor ruta de procesamiento de minerales de oro es un tema de importancia en la industria, ya que muchas veces en función del desarrollo de este punto un proyecto puede ser viable o no. Los objetivos que debe cumplir el procesamiento del mineral en el caso del oro, son generalmente dos:

- Optimizar los aspectos económicos del proyecto, en particular la recuperación de metales, el ritmo de tratamiento, los costos de capital y los costos operacionales.
- Desarrollar un proceso que satisfaga todos los requerimientos, por ejemplo, las restricciones políticas y medioambientales.

El último punto es de particular importancia para el diseño del procesamiento con oro, dado que aproximadamente el 85% de los procesos diseñados para recuperar oro utiliza métodos químicos, donde el químico más importante es un material de gran toxicidad: Cianuro. (International Cyanide Management Institute).

El riesgo asociado a la incertidumbre en la definición del proyecto, puede ser minimizado considerablemente a través de la buena administración y el desarrollo de un buen plan de pruebas.

En las secciones siguientes, se presentan los factores a considerar al momento de seleccionar la ruta de procesamiento y las opciones de procesamiento utilizados en la industria según la ocurrencia y asociación del oro en las mineralizaciones.

2.5.1. Factores que afectan la definición del proceso

La mineralogía no es el único agente que influye en la definición del proceso. A continuación se presentan otros factores importantes a considerar en el desarrollo de un proyecto:

- Geológicos
- Mineralógicos
- Metalúrgicos
- Medioambientales
- Geográficos
- Económicos y Políticos

Los factores geológicos, medioambientales, geográficos, económicos y políticos tienen un efecto indirecto en el desarrollo del proceso, los cuales variarán en función de las condiciones específicas y requisitos del proyecto. Sin embargo, los factores mineralógicos y metalúrgicos tienen un impacto directo en la extracción y la selección del proceso debido a que determinan la respuesta del mineral al tratamiento químico.

2.5.2. *Opciones de flowsheet*

Una gran cantidad de flowsheets para la recuperación de oro se han desarrollado alrededor del mundo. No existe un único proceso de tratamiento para el oro, cada flowsheet debe ser específico según las diferentes clasificaciones mineralógicas revisadas en el capítulo anterior.

Para los efectos de este documento, los factores considerados para la selección del proceso son un conjunto de particularidades provenientes de los factores principales. En la siguiente lista, se presentan los factores que están dentro del alcance de este estudio para la definición de procesos:

- Mineralogía
- Ley de Au, Ag y Cu
- Contenidos de otros elementos o compuestos de interés
- Tamaño y distribución de oro por malla
- Forma en la que está el oro (asociación)

A continuación se realiza un análisis de opciones de tratamiento en función de la manera en que se presente el oro, según lo presentado en las secciones 2.4.1 y 2.4.2.

Yacimientos tipo placer

Los yacimientos tipo placer son en su mayoría procesados por algún método no químico de concentración. Generalmente se necesita poca conminución o se puede procesar directamente el mineral ROM. El método típico de procesamiento corresponde a la concentración gravitacional. En la Figura 2–10 se presenta un diagrama simplificado de este procesamiento. El avance tecnológico ha permitido que se pueda recuperar oro libre de hasta 10 μm utilizando eficientes equipos centrífugos como el Knelson o Falcon (Adams, 2005). La aplicación de concentración gravitacional previo a un proceso químico como cianuración, puede ser muy beneficioso para mejorar la recuperación de oro. Un ejemplo de esto, corresponde a la recuperación temprana de las partículas gruesas de oro por métodos gravitacionales en el circuito, para luego realizar una cianuración intensiva de este concentrado. Las partículas gruesas de oro requieren de mayor tiempo de cianuración por métodos convencionales, por lo que separar su proceso produce una mejora en la recuperación global.

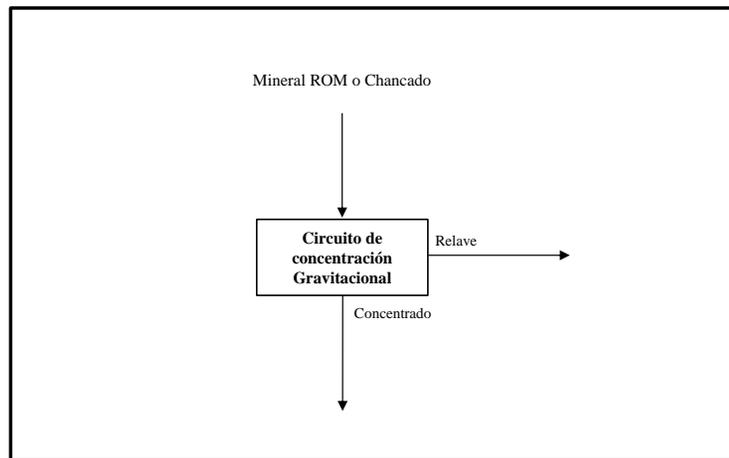


Figura 2–10. Opción de flowsheet para mineralizaciones tipo placer

Mineralizaciones Free milling y oxidadas

Las mineralizaciones free-milling y oxidadas pueden tener distinta génesis, y por lo tanto variaciones en ley y tamaños de partículas. Esto influye en que los procesos deben diseñarse considerando estas características. A continuación, se presentan los circuitos de procesamiento más utilizados en la industria, según las características particulares que presente la mineralización.

- Molienda y cianuración agitada

Moler el material hasta el tamaño óptimo de liberación y luego cianurar en forma agitada este producto, corresponde al circuito más común de procesamiento para las mineralizaciones tipo “Free milling” y oxidadas. El tratamiento posterior a la cianuración, es generalmente una separación sólido-líquido seguido de precipitación con zinc o adsorción en carbón junto a una precipitación con zinc o Electrowinning.

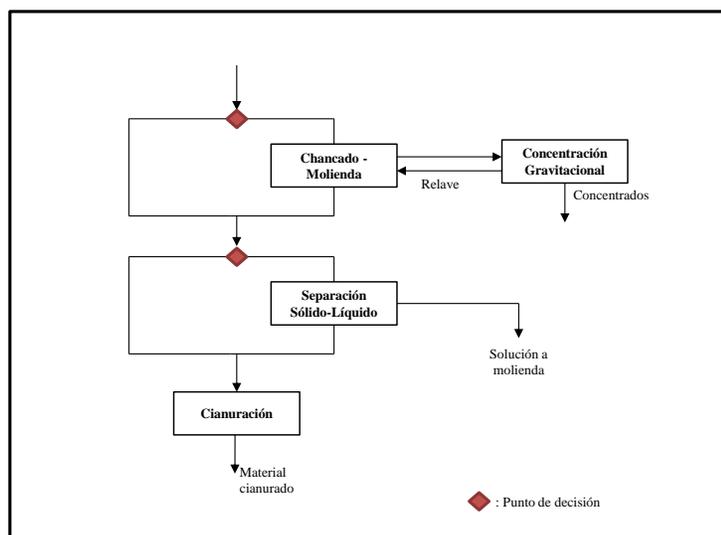


Figura 2–11. Flowsheet para mineralizaciones Free-Milling y oxidadas por molienda y cianuración

Una etapa de concentración gravitacional puede ser incluida en la molienda si un porcentaje importante del oro se libera en la molienda. En la Figura 2–11 se presenta la opción de flowsheet para este caso.

- Lixiviación en pilas

Si una porción del cuerpo mineralizado -o este en su totalidad- presenta mineralizaciones oxidadas y principalmente de baja ley, la cianuración en pilas -heap leaching- es una buena alternativa de tratamiento por la buena razón beneficio/costo que presenta. Según las propiedades que presente el mineral, puede ser necesario realizar un chancado con o sin aglomeración antes de su disposición en pilas.

Posteriormente, el oro puede ser recuperado por adsorción con carbón (CIC) y Electrowinning o por precipitación con zinc, en función de las leyes y características que presente la solución PLS.

A continuación, se muestra el flowsheet para este caso:

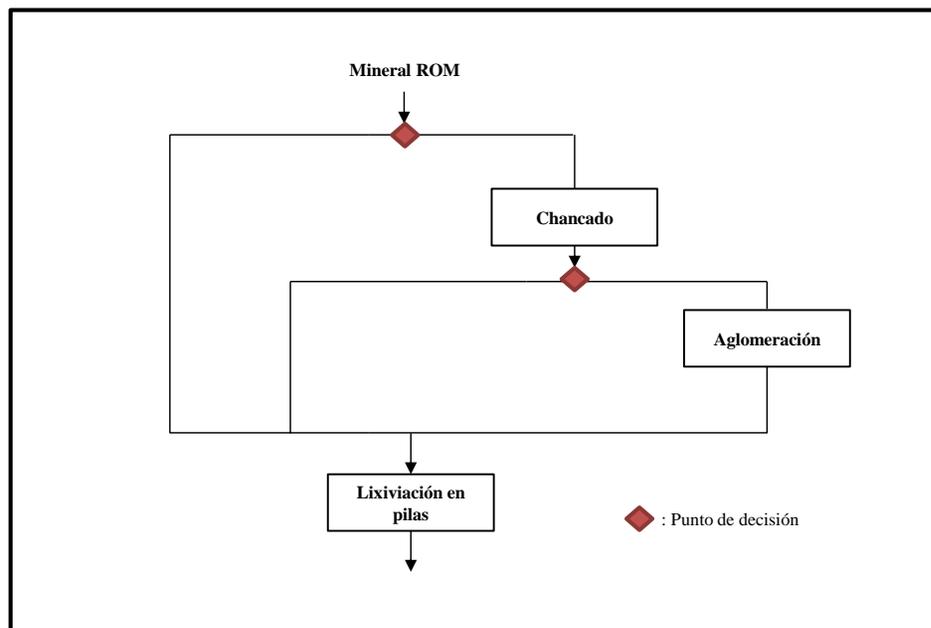


Figura 2–12. Flowsheet de mineralizaciones Free-Milling y oxidadas por lixiviación en pilas

- Lixiviación en pilas combinado con CIP/CIL y lixiviación agitada

Es posible utilizar distintas técnicas de cianuración para procesar diferentes fracciones del mismo mineral, basándose en la ley o en los tamaños que presente. En el primer caso, es posible tratar la ley alta con molienda, cianuración agitada y CIP/CIL, mientras que las bajas leyes se procesan comúnmente por lixiviación en pilas. Esto se lleva a cabo siempre y cuando la ley del mineral no es lo suficientemente alta para justificar un tratamiento en molienda, o cuando la molienda no marca una diferencia importante en las extracciones de oro conseguidas.

La separación por tamaños es realizada en el circuito de chancado, desde donde el sobretamaño es enviado a cianuración en pilas con el posterior tratamiento de la solución por adsorción con carbón. El bajotamaño (< 1 mm) es tratado con cianuración en un circuito CIP, utilizando molienda si es necesario. En la Figura 2–13 se presenta la opción de flowsheet para este caso:

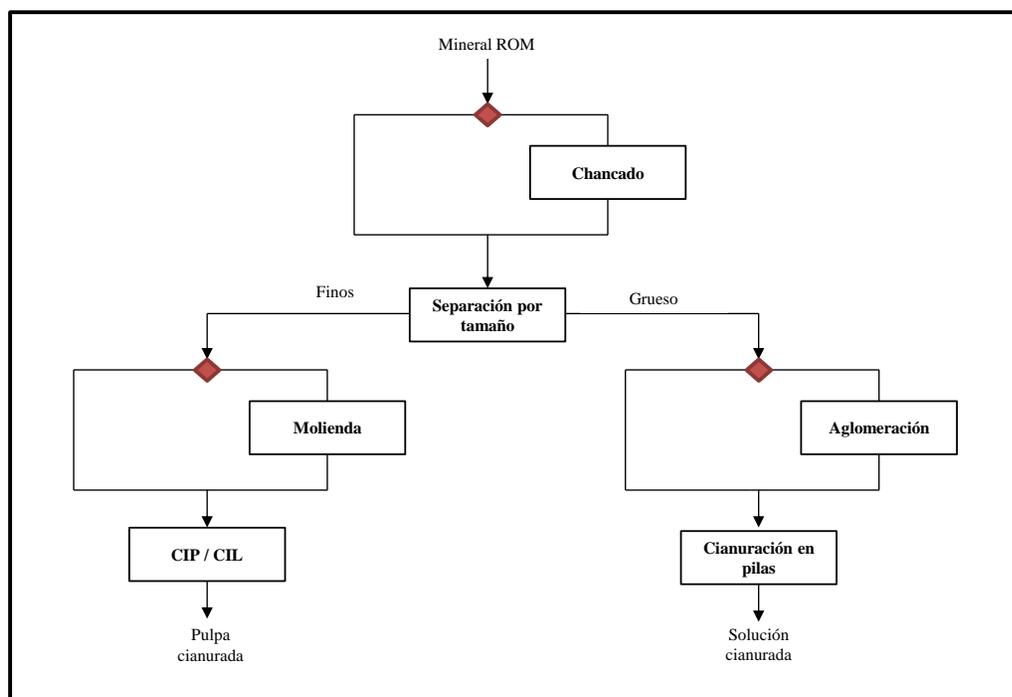


Figura 2–13. Opción de flowsheet para cianuración en pilas junto con cianuración agitada en minerales free-milling y oxidados

Mineralizaciones sulfuradas no refractarias

De las mineralizaciones sulfuradas no refractarias, se pueden obtener extracciones de hasta un 90% con cianuración directa (Marsden & House, 2006). El problema que presenta la mayoría de estas mineralizaciones, es que deben ser oxidadas antes de cianurarse, lo que se puede realizar con o sin concentración previa de flotación. Consecuencia de esto, existen varias combinaciones posibles para procesar los sulfuros. A continuación, se desarrollan estas alternativas.

- Cianuración de todo el mineral

La viabilidad de este método está sujeta al grado de minerales consumidores de reactivos que haya en la mineralización. Es posible utilizar algún método de oxidación para reducir los consumidores de reactivos. En caso contrario, es posible procesar este mineral en pilas de cianuración.

- Flotación con cianuración de los relaves

Este método se aplica a mineralogías en las que el oro se presenta en minerales no sulfurados, por lo que se disminuyen los efectos negativos de los sulfuros consumidores de reactivos. El concentrado de flotación se puede descartar o vender como subproducto.

Este tipo de mineralogías es rara vez encontrada debido a la gran afinidad que presenta el oro por los minerales sulfurados.

- Flotación con cianuración del concentrado

Los minerales que presentan alta recuperación de oro al cianurar un concentrado de flotación, pueden ser tratados de esta manera. Sin embargo, lo más común es tratar el concentrado por remolienda u oxidación para mejorar la recuperación en cianuración.

- Flotación con cianuración del concentrado y relaves

Cuando el material sulfurado y el no sulfurado de una mineralización presentan oro, es posible realizar la flotación del material sulfurado y cianurar el relave. Los beneficios que conlleva esta diferenciación vienen dados por la independización de ambos flujos para los tratamientos posteriores. Un ejemplo de esto, es el caso que se requiera liberar el oro del concentrado sulfurado por oxidación y se pueda recuperar oro directamente del relave por cianuración.

En la Figura 2–14 se presenta la opción de flowsheet para estos casos:

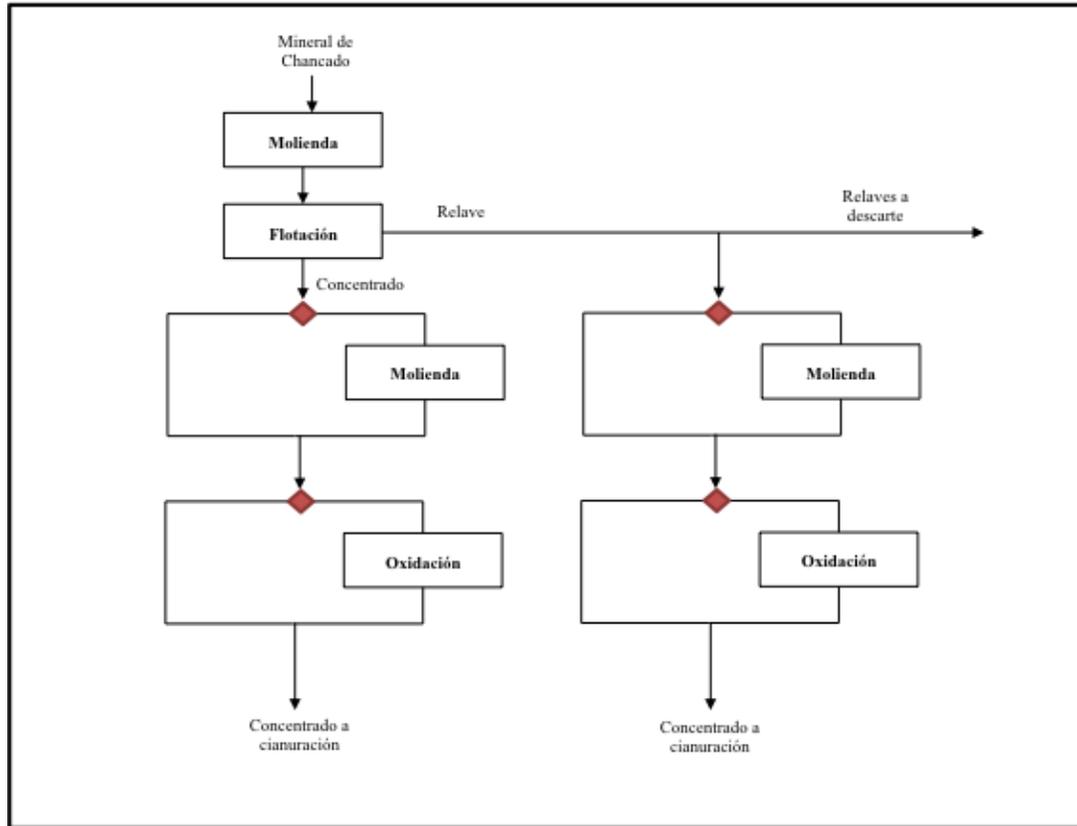


Figura 2–14. Opción de flowsheet para la flotación de sulfuros no refractarios

Mineralización refractaria de sulfuros

Los minerales refractarios sulfurados, deben ser tratados por algún método de liberación de oro antes de ser cianurados para lograr una recuperación aceptable de oro. Esto puede ser logrado realizando previamente una flotación para concentrar los sulfuros. En la Figura 2–15 se presenta un diagrama con las opciones de tratamiento para mineral refractario sulfurado.

A continuación, se presentan las combinaciones de procesamiento de este tipo de mineralizaciones:

- Oxidación y cianuración de todo el mineral

Es común utilizar este método si el material refractario no puede ser tratado por una concentración previa, debido a que la recuperación de oro en el concentrado es muy baja y el producto en relaves continúa siendo refractario, o que la oxidación de todo el material es conveniente frente a oxidar sólo una fracción en el concentrado. Es recomendable utilizar un tratamiento ácido (lixiviación ácida) para reducir los consumidores de ácido en la oxidación.

- Flotación con cianuración de relaves

Ciertos minerales considerados como refractarios sólo por el hecho de consumir una gran cantidad de reactivo en su tratamiento, pueden ser flotados para eliminar los sulfuros que crean el problema y así cianurar los relaves.

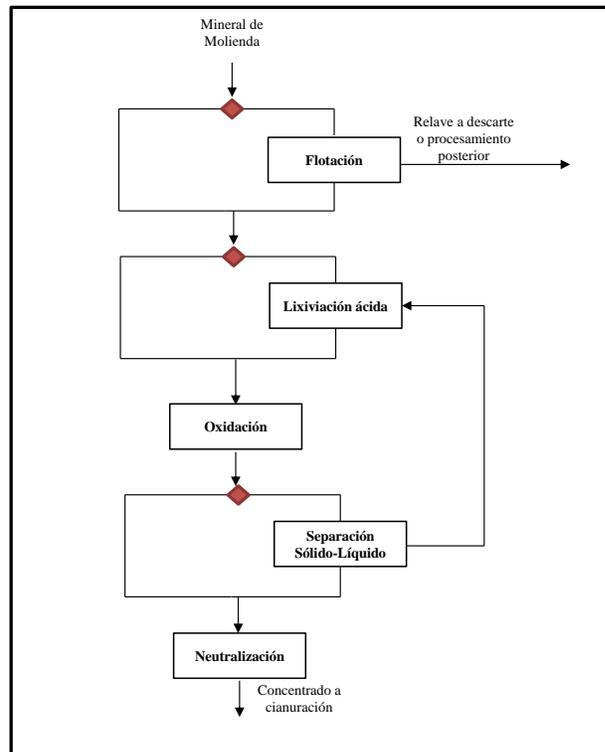


Figura 2–15. Opción de flowsheet para mineralizaciones sulfuradas refractarias

- Flotación con oxidación de sulfuros y cianuración de concentrado

Los minerales que permiten una alta recuperación de oro al cianurar su concentrado oxidado, son los más favorables para ser tratados por éste método, ya que la planta de oxidación es pequeña comparada a la que se necesita para oxidar todo el mineral. Los parámetros de flotación pueden modificarse con el fin de lograr la mejor alimentación posible al proceso de oxidación, en términos de contenidos de sulfuros, recuperación de oro y volumen de material.

En este caso, también se podría aplicar una flotación diferencial para eliminar sulfuros estériles de un mineral previo a la oxidación con el fin de reducir el material tratado y los costos de procesamiento.

Una remolienda fina del concentrado puede ser beneficioso antes de la oxidación, aunque dependerá de las características del mineral, la manera en la que ocurre el oro y del método de oxidación utilizado.

- Flotación con oxidación y cianuración de concentrado y cianuración de relaves

Este método se utiliza en mineralizaciones en las que se tiene una alta recuperación de sulfuros por medio de flotación pero con una baja recuperación de oro, es decir, la mayoría del oro se va en el relave.

El producto de oxidación y el relave de flotación pueden ser cianurados juntos o no, en función de la mineralogía de los dos flujos.

Una remolienda fina del concentrado puede ser beneficioso antes de la oxidación aunque dependerá de las características del mineral, la manera en la que ocurre el oro y del método de oxidación utilizado.

Mineralizaciones ricas en plata

Corresponden a las mineralizaciones que tienen una razón plata/oro de entre 10 y 20. Generalmente pueden ser tratadas como las mineralizaciones free-milling y oxidadas, sulfuradas no refractarias, o refractarias dependiendo de su composición mineralógica. Sin embargo, se debe considerar que:

- Se requieren altas concentraciones de cianuro de sodio (>0.5 g/L NaCN) para la cianuración, pero sobretodo, consumos más altos que los requeridos en mineralizaciones con bajo contenido de plata, traduciéndose en un aumento de los costos operacionales.
- La solución PLS producida por este tipo de mineralización son mejor tratadas por precipitación con zinc que con un proceso de carbón, ya que la cantidad de carbón requerido sería muy alta debido a la adsorción preferencial del oro en el carbón.
- Un alto contenido de plata, requiere instalaciones más grandes de refinación debido a la mayor cantidad de metal precioso recuperado.

Mineralizaciones carbonáceas

En función del contenido de carbón que presenten, estas mineralizaciones serán diferenciadas como de medio y alto contenido de material carbonáceo, debido principalmente a que serán procesadas de distintas maneras.

- Mineralizaciones con contenido medio de carbono.

Corresponde a aquellas mineralizaciones que presentan menos de 1% del contenido total en forma de material orgánico o grafito, el cual adsorbe oro en solución durante la cianuración, como se indica en la sección 2.4.2. Este efecto puede ser reducido utilizando CIL para recuperar el oro simultáneamente a la cianuración, o por la adición de algún hidrocarburo que pasive la superficie del carbón.

Este tipo de minerales es conocido como preg-borrowing ya que el efecto de adsorción puede ser revertido o prevenido fácilmente.

- Mineralizaciones muy carbonáceas

Corresponde a aquellas mineralizaciones que contienen típicamente sobre 1% de carbón, de forma que tienen una alta tendencia a adsorber oro, pudiendo reducir su extracción hasta menos de 80% durante la cianuración. Para prevenir este hecho, este tipo de mineralizaciones generalmente son tratadas por oxidación. Se les conoce como mineralizaciones preg-robbing.

En la Figura 2-16 se presenta la opción de procesamiento de este tipo de mineralogías:

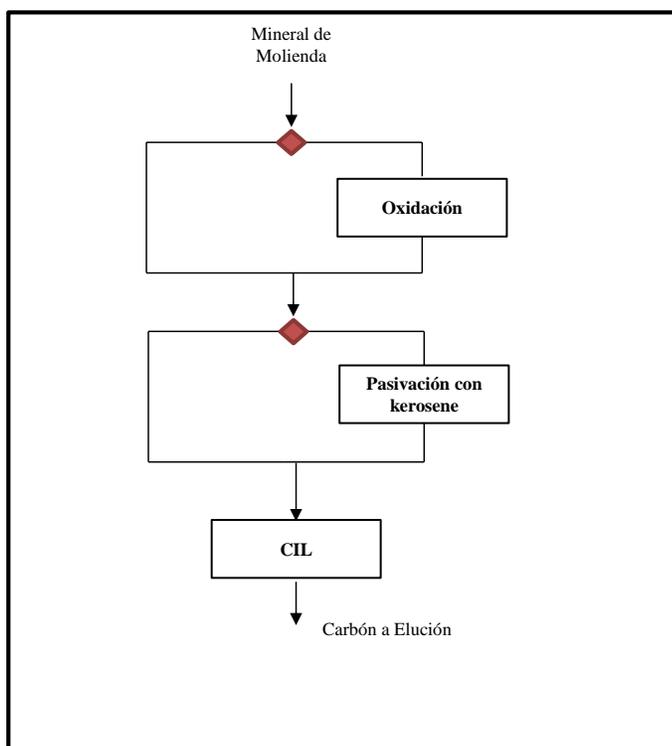


Figura 2–16. Opción de Flowsheet para mineralización con presencia de minerales carbonáceos

Mineralizaciones de Cobre-oro

El oro es producido como un subproducto del tratamiento de sulfuros de cobre, especialmente en Chile, Indonesia, Estados Unidos y Canadá. En estos, el oro se presenta liberado, como solución sólida con sulfuros de cobre (usualmente calcopirita) y/o oro asociado con sulfuros de hierro.

El procesamiento de los minerales de cobre-oro, emplea flotación como método primario de recuperación de los sulfuros. Frecuentemente se puede incluir concentración gravitacional en el circuito de molienda, en el caso que el oro grueso sea fácil de recuperar por estos métodos.

Otra opción comúnmente utilizada en estos casos, corresponde a la flotación flash dentro de los circuitos de molienda. Este proceso permite recuperar el oro antes que tenga oportunidad de sobre molerse, cubrirse con lamas y aplanarse excesivamente.

Es recomendable combinar los concentrados gravitacionales con los de flotación, sin embargo es más beneficioso cianurar intensivamente los gravitacionales.

Concentrados gravitacionales

Los concentrados gravitacionales de alta ley, típicamente entre 300 y 500 ppm, pueden ser directamente fundidos, siempre y cuando no hayan materiales que afecten negativamente la fundición, como por ejemplo los sulfuros.

Otra opción es cianurar intensivamente los concentrados para disolver el oro grueso a altas tasas. La solución PLS puede ser tratada directamente por precipitación con zinc, EW o mezclado con otro proceso para la posterior recuperación de oro.

La flotación puede ser utilizada ocasionalmente para aumentar la ley de los concentrados gravitacionales previo a la fundición, pero es raramente aplicada. La efectividad de este proceso depende de la naturaleza del material y el grado de liberación de oro. En la Figura 2–17 se presenta el diagrama de flujos recomendado para procesar estos materiales.

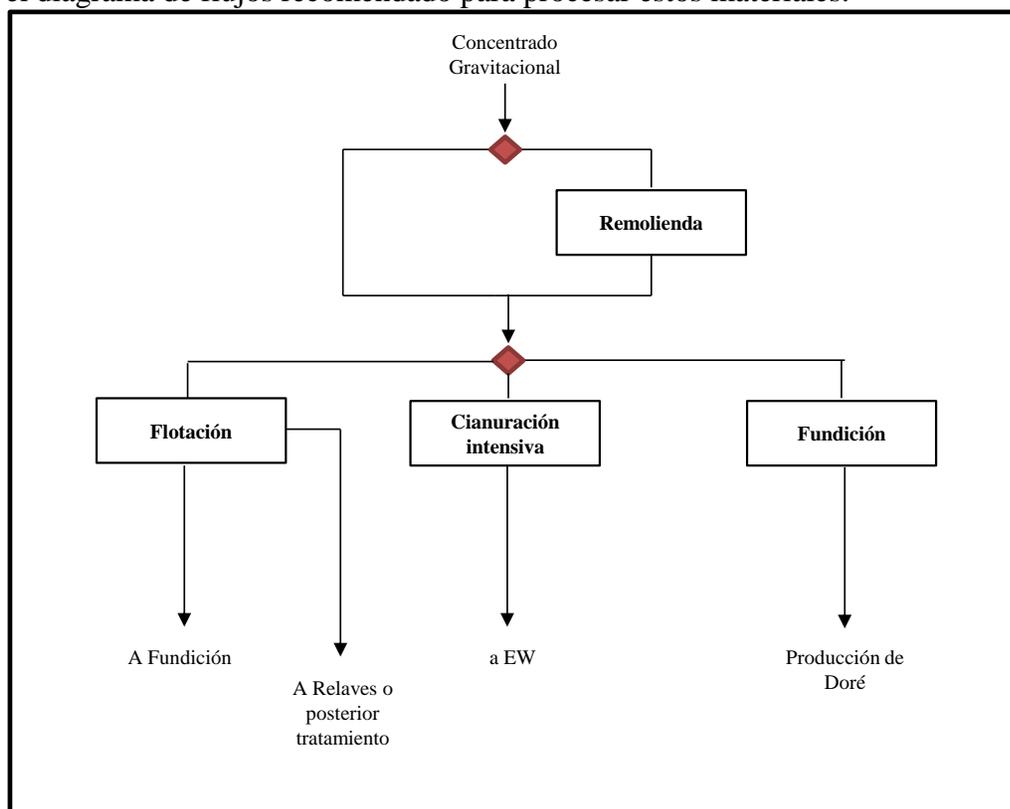


Figura 2–17. Opción de flowsheet para concentrados gravitacionales

Concentrados de flotación

Los concentrados de flotación generalmente se tratan por fundición, sin embargo la ley mínima considerada para fundición es entre 300 y 500 ppm, dependiendo del contenido de otros metales de valor (plata, cobre, y metales del grupo del platino), concentración de impurezas y costos relacionados con transporte.

La concentración gravitacional y/o la cianuración intensiva pueden ser usadas para concentrar el oro grueso contenido en el concentrado (>50 μm). En la Figura 2–18 se presenta el diagrama de flujos recomendado para procesar estos materiales.

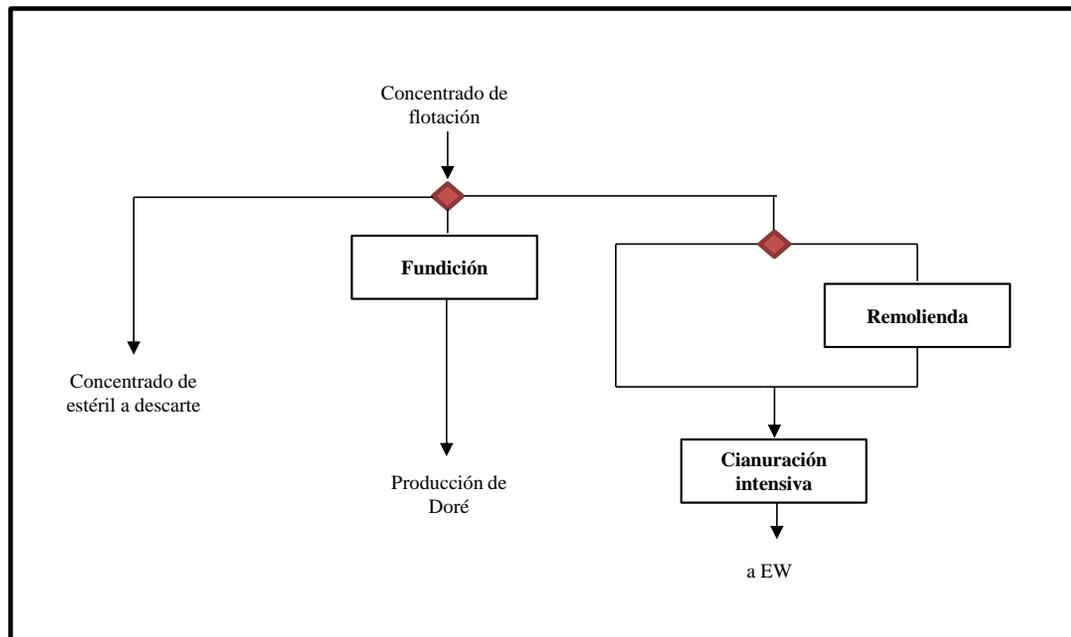


Figura 2–18. Opción de flowsheet para concentrados de flotación

Materiales a refinación

La elección del método de refinación varía en función de diferentes parámetros: tamaño de la operación, tipo de material a ser refinado, calidad del producto requerido, etc. En la mayoría de los casos, un lingote de metal doré es el producto de la refinación. La refinación se lleva a cabo generalmente en dos etapas:

- Tratamiento para producir un lingote de entre 90 y 99% de metales preciosos.
- Refinación del lingote anteriormente producido para producir oro y plata de alta pureza para la venta, variando desde 99.6% hasta 99.99%.

La pureza requerida será función del uso:

- Oro para la producción de barras, joyería y otros usos industriales (99.6% de pureza).
- Oro para monedas (99.99%).

Actualmente existen 3 métodos generales para llevar a cabo este proceso, llamados piro-refinación, hidro-refinación y electro-refinación. El proceso más utilizado actualmente para el procesamiento de oro, corresponde al uso de piro-refinación y cuando se requiere un producto de mayor pureza, se recurre a electro-refinación.

A continuación se presenta el flowsheet del proceso:

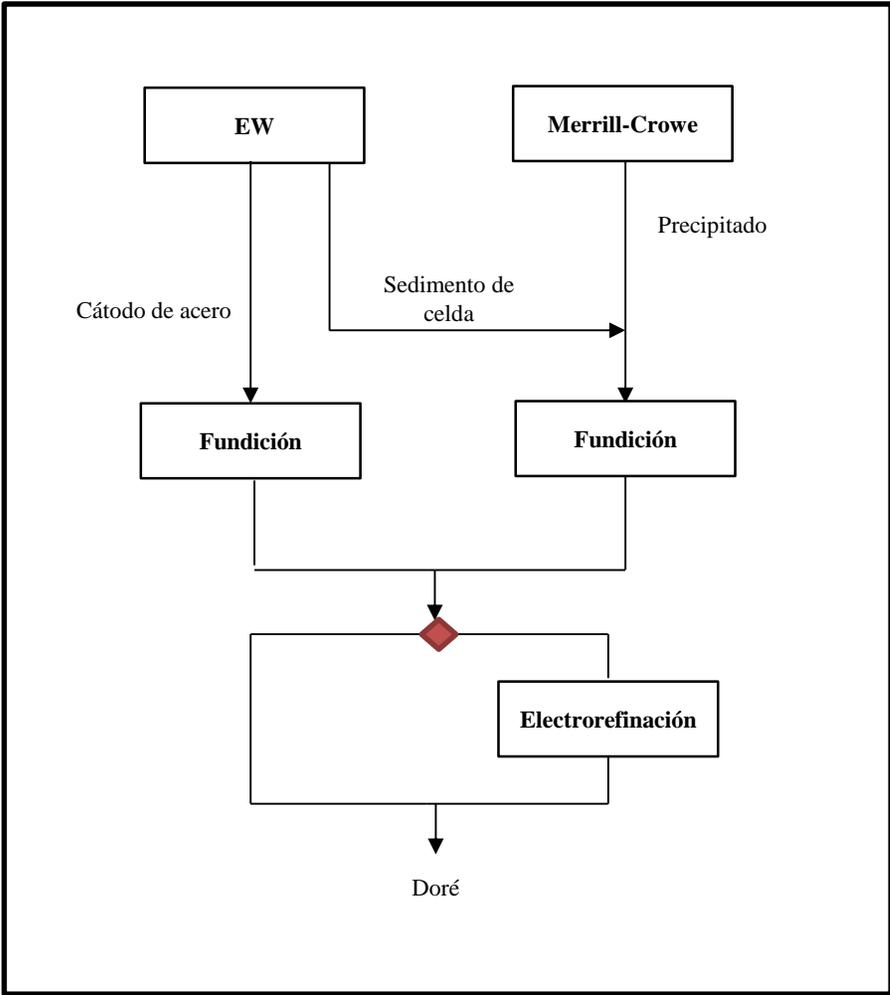


Figura 2-19. Opción de flowsheet para refinación

3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este trabajo, se recopiló información sobre las distintas asociaciones y ocurrencias mineralógicas del oro en la naturaleza. Luego, se estudiaron las opciones de procesamiento disponibles en la industria según las características del mineral con oro.

El paso siguiente, fue el desarrollo de un diagrama de flujos general, que permite replicar la gran mayoría de las rutas de procesamiento de los minerales con oro. Este diagrama se forma mediante la integración de las distintas opciones de tratamiento presentadas en el capítulo 2.5, sumado a la experiencia de Alquimia Conceptos S.A. en el desarrollo de plantas de procesamiento de minerales con oro.

El diagrama de flujos general, se dividió en seis secciones según la función que cumple cada una en el proceso: conminución, flotación, oxidación, cianuración, ADR en pulpas y ADR en solución.

Posteriormente, se desarrolló un simulador de balances en estado estacionario, que permite definir la ruta de procesos del mineral con oro quitándole operaciones unitarias al diagrama de flujos general. Además, permite estimar la composición de los productos y descartes de esta ruta, así como los requerimientos de reactivos y agua, a partir de los criterios de diseño ingresados. Los criterios de diseño se obtienen a partir de resultados de pruebas metalúrgicas, de la caracterización del mineral, de benchmarking, y/o de la experiencia del usuario en el procesamiento de minerales con oro.

El programa computacional se desarrolló en Microsoft Excel para ser de fácil entendimiento y amigable. En la sección Anexos A se presenta la pantalla de inicio de las distintas secciones del simulador.

3.1. Recopilación de información

En los capítulos 2 y 2.5 del presente documento, se entrega información sobre las rutas de procesamiento recomendadas, frente a distintas ocurrencia y asociaciones de oro. En el capítulo 2, se describen las distintas ocurrencias y asociaciones mineralógicas del oro. En el capítulo 2.5, se presentan las distintas opciones de procesamiento según las características mineralógicas del material.

Con la información entregada, es posible predecir a un nivel Scoping la ruta de procesamiento requerida según las características mineralógicas del material a tratar.

3.2. Desarrollo del simulador

3.2.1. Diagrama de flujos general

A partir de la literatura y la experiencia de Alquimia Conceptos S.A. en el desarrollo de proyectos, se creó un diagrama de flujos que contiene la gran mayoría de las rutas utilizadas actualmente en la industria para procesar oro. En la Figura 3–1se presenta este diagrama de flujos:

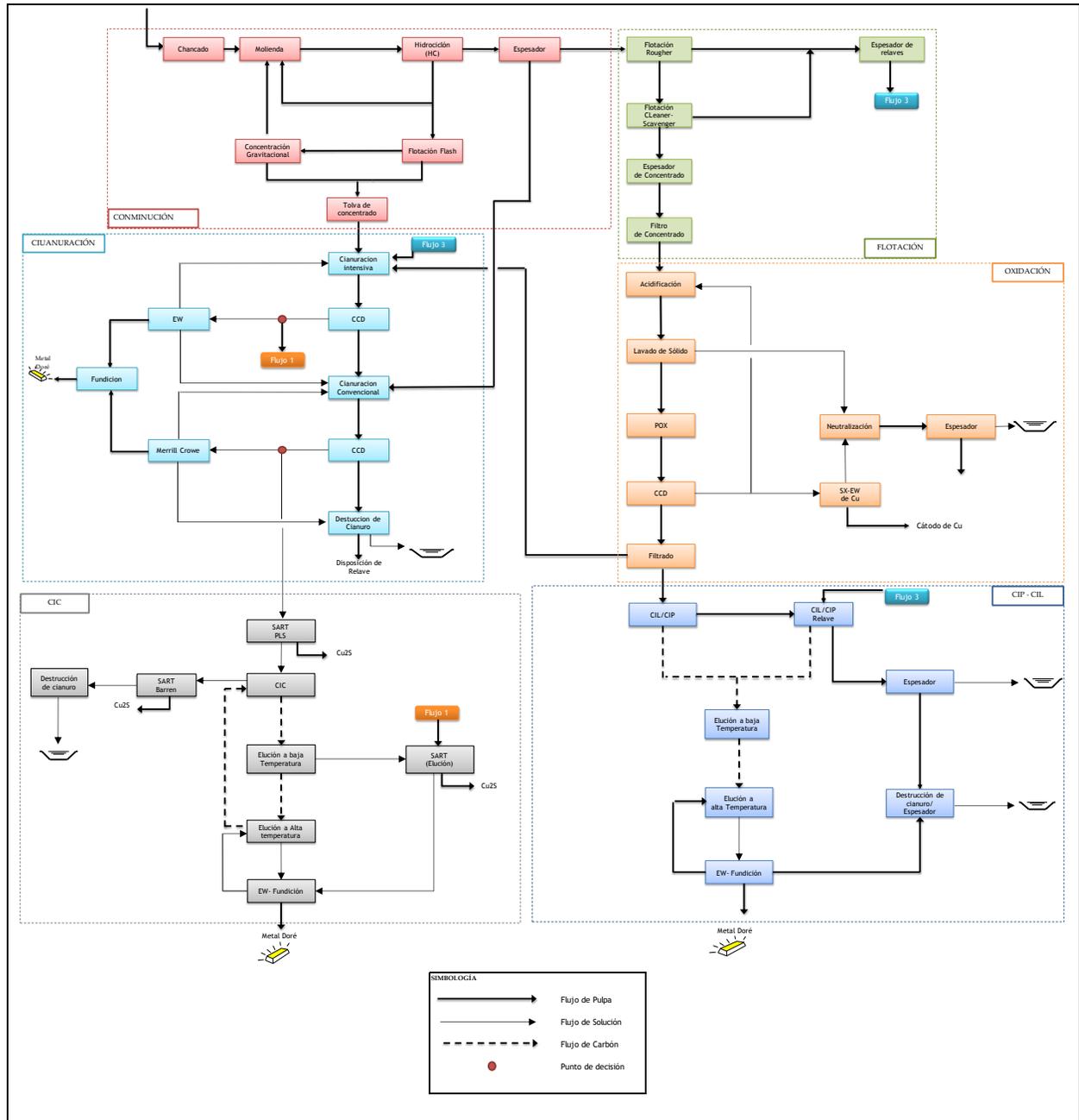


Figura 3–1. Diagrama de flujos general para el procesamiento de minerales con oro

Es importante destacar, que las operaciones unitarias que no se utilizan industrialmente, no fueron consideradas en este diagrama.

El diagrama general se dividió en seis secciones que fueron nombradas según el proceso principal de cada una.

A continuación, se presentan estas secciones:

- Sección 1: Conminución
- Sección 2: Flotación
- Sección 3: Oxidación
- Sección 4: Cianuración
- Sección 5: Cianuración y adsorción con carbón desde pulpas (CIP / CIL)
- Sección 6: Adsorción con carbón desde soluciones (CIC)

Estas secciones pueden ser complementarias según la ruta de procesamiento elegida. Un ejemplo de esto corresponde al caso en que el mineral se cianura y posteriormente se procesa la solución PLS en CIC. Para el caso anterior, se utilizarían las secciones 4 y 6 en forma conjunta para completar la ruta de procesamiento. Las operaciones unitarias de cada una de estas secciones tienen sus propios criterios de diseño que son ingresados en el simulador. A continuación, se presenta el desarrollo de las secciones presentadas anteriormente.

3.2.2. Desarrollo de las secciones del diagrama general

El diagrama general de procesamiento se realizó considerando las distintas opciones de tratamiento de minerales con oro, lo cual no significa que el mineral será procesado en todas las operaciones unitarias que lo integran, sino que sólo en las que el usuario defina. De igual modo ocurre en las secciones que se explican a continuación. En la sección 0 se explicará más profundamente esta situación.

Sección 1: Conminución

Esta sección considera las operaciones unitarias utilizadas en la reducción de tamaño, y las que recuperan metal dentro del circuito de molienda –concentración gravitacional y flotación flash-. El límite de batería de esta sección considera en la entrada la alimentación fresca a la operación de chancado, y en las salidas el producto de molienda y el producto de la tolva de concentrado, la que se alimenta con los concentrados de flotación flash y concentración gravitacional.

No se diferencia la cantidad de operaciones de chancado ni el circuito de molienda a utilizar, ya que el flujo de sólidos –y por tanto finos- que entra en la conminución, es el mismo que sale de ella. Lo que si varía, y es considerado en el desarrollo de esta sección, es la variación de C_p a lo largo del procesamiento.

Esta sección contiene las siguientes operaciones unitarias:

- Chancado
- Molienda
- Espesado de producto de molienda
- Flotación Flash

- Concentración Gravitacional

A continuación, se presenta un diagrama de bloques simplificado de la sección de conminución:

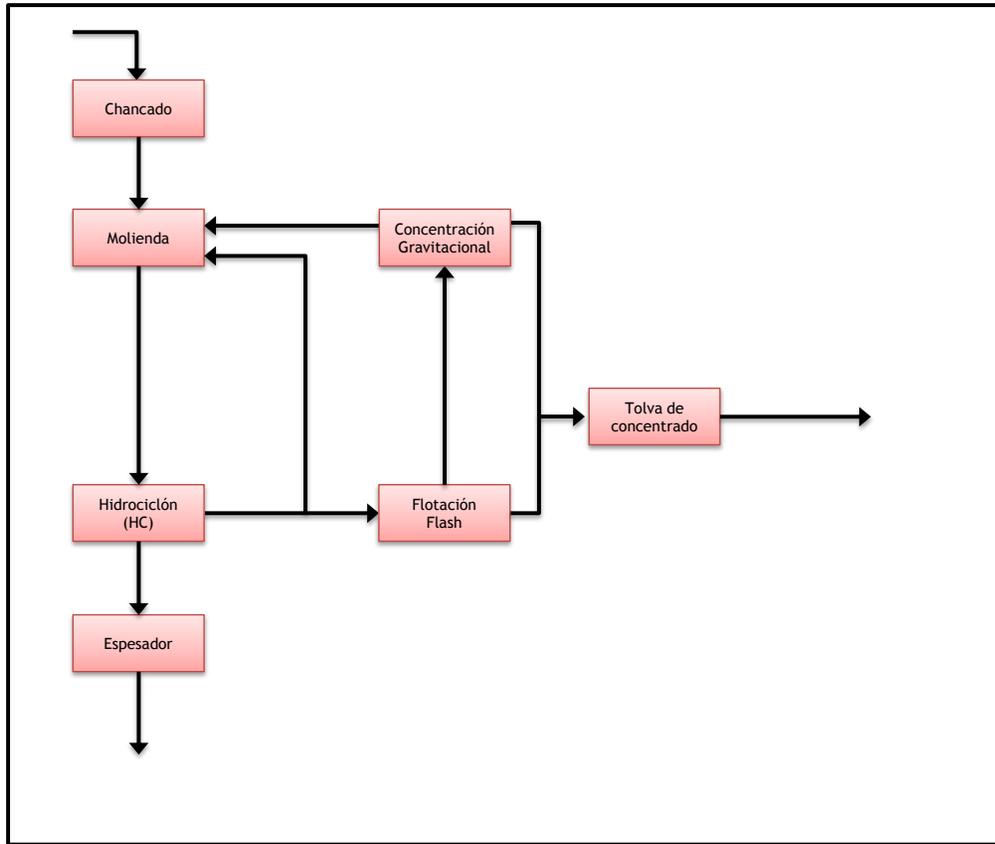


Figura 3-2. Diagrama de bloques sección conminución

Sección 2: Flotación

Esta sección considera las operaciones de flotación. El límite de batería de esta sección considera en la entrada la alimentación fresca al circuito de flotación, y en las salidas el concentrado filtrado y el relave espesado.

Esta sección contiene las siguientes operaciones unitarias:

- Flotación
- Remolienda (Previo a flotación cleaner)
- Filtro de concentrado

A continuación, se presenta un diagrama de bloques simplificado de la sección de flotación:

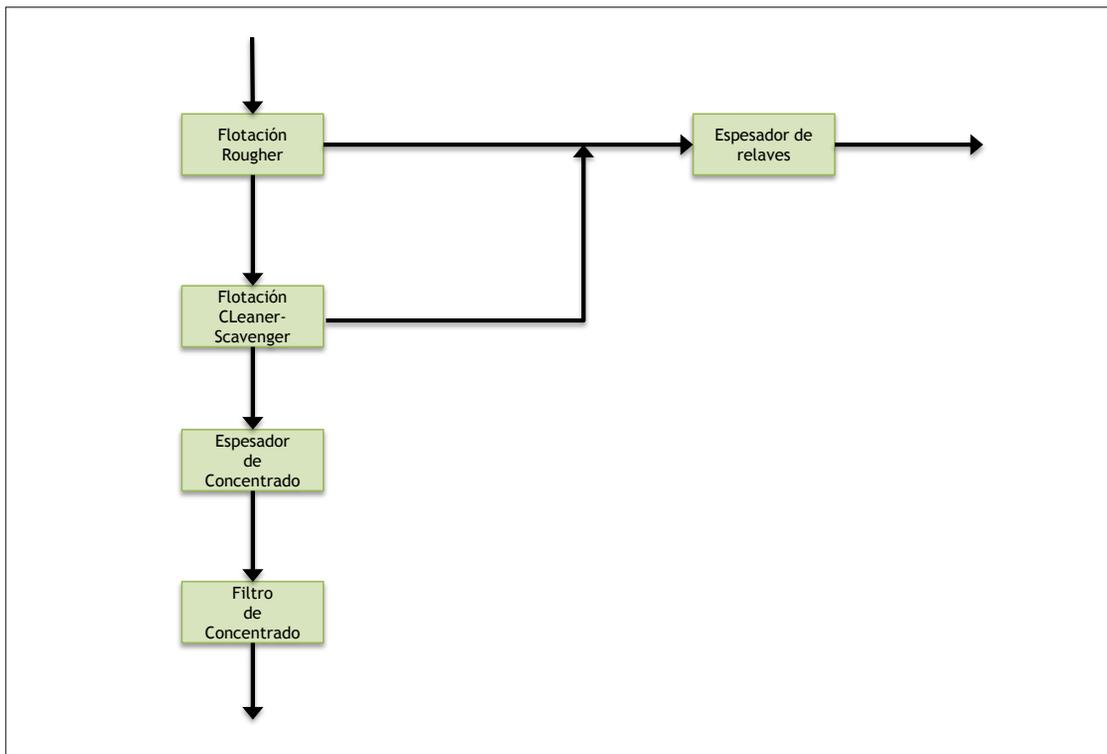


Figura 3–3. Diagrama de bloques sección Flotación

Sección 3: Oxidación

Esta sección, considera los posibles tratamientos realizados al concentrado de flotación antes de la cianuración. En el caso que el material a tratar tenga importantes cantidades de cobre, la acidificación permitiría lixiviarlo. Debido a esto, la sección considera un SX-EW de cobre.

El límite de batería de esta sección considera en la entrada, la alimentación al proceso de acidificación, y en las salidas el producto de oxidación, el producto de SX-EW de Cu y el producto espesado de neutralización.

Esta sección contiene las siguientes operaciones unitarias:

- Acidificación
- Neutralización
- Oxidación
- SX-EW de cobre

A continuación, se presenta un diagrama de bloques simplificado de la sección de oxidación:

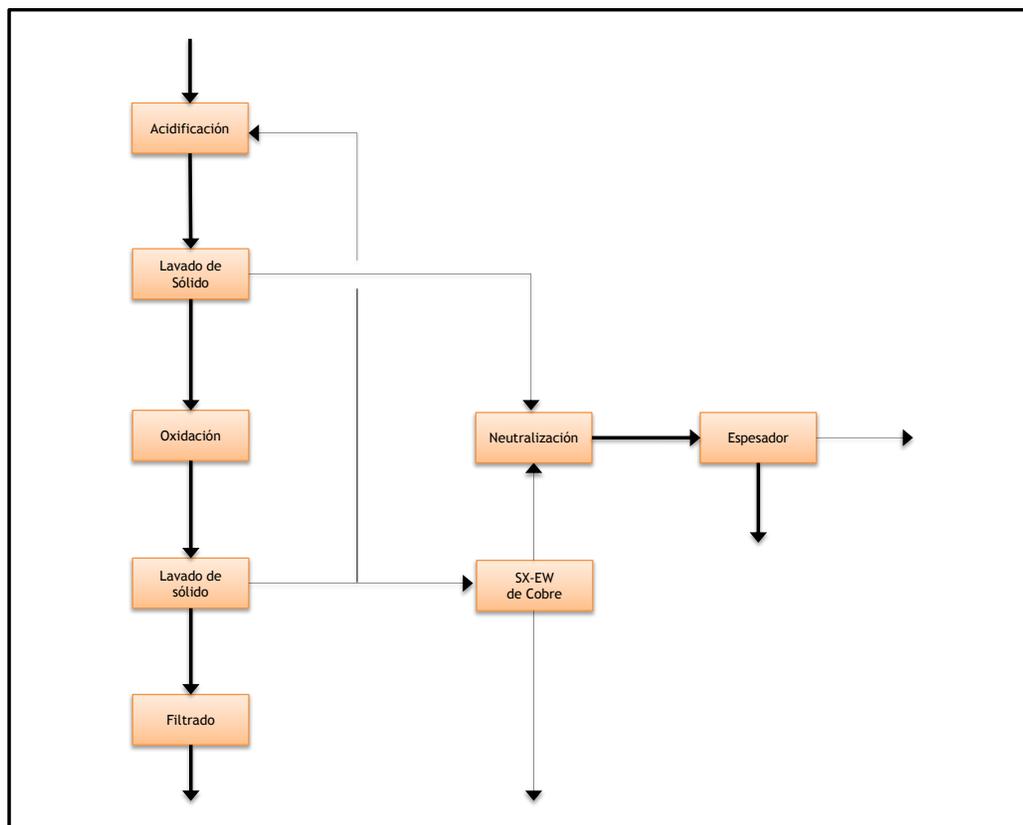


Figura 3–4. Diagrama de bloques sección oxidación

Sección 4: Cianuración

Esta sección considera las operaciones unitarias utilizadas en el desarrollo de la cianuración, sea esta en pilas o agitada. Se consideran dos tipos de cianuración dentro de esta sección, la primera corresponde a una cianuración de tipo intensiva, y la segunda a una convencional. La solución rica desde cianuración, no necesariamente tendrá como destino EW o precipitación con zinc. Si el diseño del proceso lo requiere, es posible que esta solución alimente una etapa de concentración

previa a EW o precipitación con zinc -por ejemplo CIC, ver sección 6-, por lo tanto, los productos de lavado de CCD podrían ser salidas de esta sección.

La sección de cianuración contiene las operaciones unitarias necesarias para obtener metal doré como producto final.

El límite de batería de esta sección, considera en la entrada la alimentación fresca a las etapas de cianuración intensiva y cianuración convencional, y en las salidas el metal Doré desde fundición, el descarte desde destrucción de cianuro, y como se expuso anteriormente, las soluciones desde los CCD también podrían ser salidas del sistema.

Esta sección contiene las siguientes operaciones unitarias:

- Cianuración intensiva y convencional
- EW
- Merrill Crowe
- Fundición
- Destrucción de cianuro

A continuación, se presenta un diagrama de bloques simplificado de la sección de cianuración:

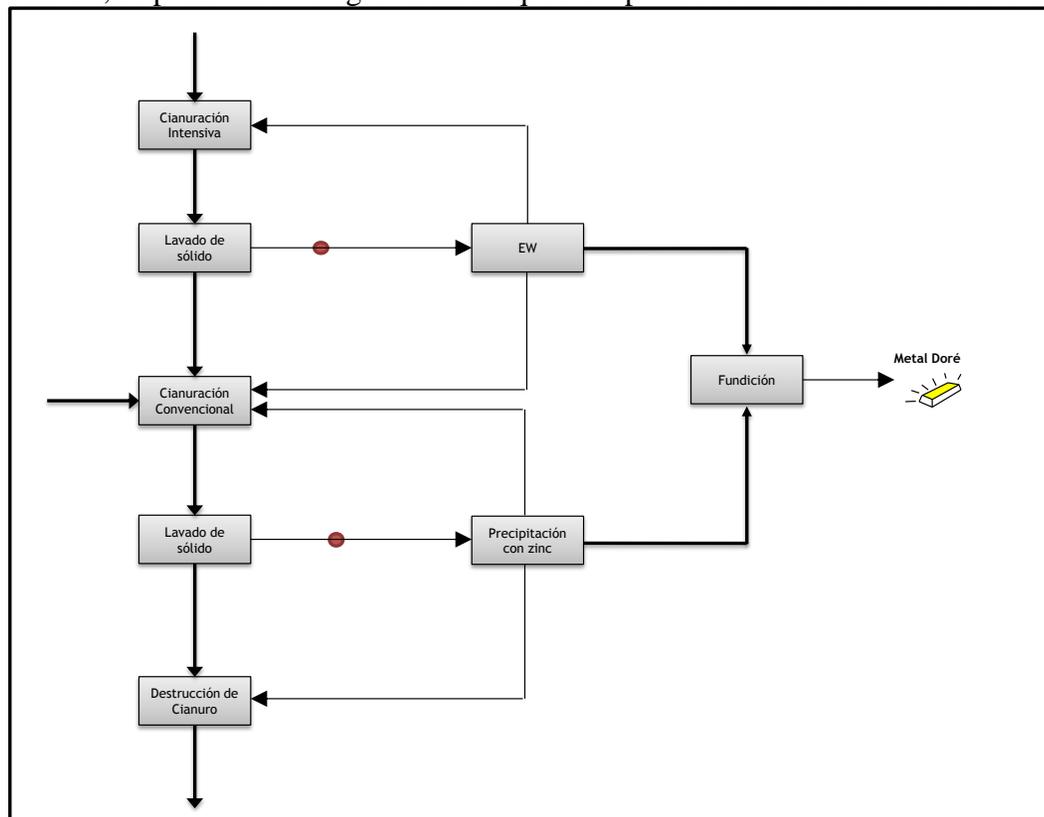


Figura 3-5. Diagrama de bloques sección cianuración

Sección 5: Cianuración y adsorción con carbón desde pulpas (CIL / CIP)

Esta sección considera las operaciones unitarias utilizadas en un circuito ADR desde pulpas, junto a las operaciones de EW y fundición, con el fin de obtener doré como producto final. Se presentan dos operaciones ADR en paralelo en el caso que se tengan dos flujos distintos desde un proceso previo, y que ambos requieran CIL/CIP –por ejemplo, concentrado y relave de flotación-. El límite de batería de esta sección, considera en la entrada la alimentación fresca a las distintas etapas CIL/CIP, y en las salidas el metal doré producido y el descarte desde la destrucción de cianuro.

Esta sección contiene las siguientes operaciones unitarias:

- CIL/CIP
- Elución a baja temperatura
- Elución a alta temperatura
- EW
- Fundición
- Destrucción de cianuro

A continuación, se presenta un diagrama de bloques simplificado de la sección de cianuración y adsorción con carbón desde pulpas:

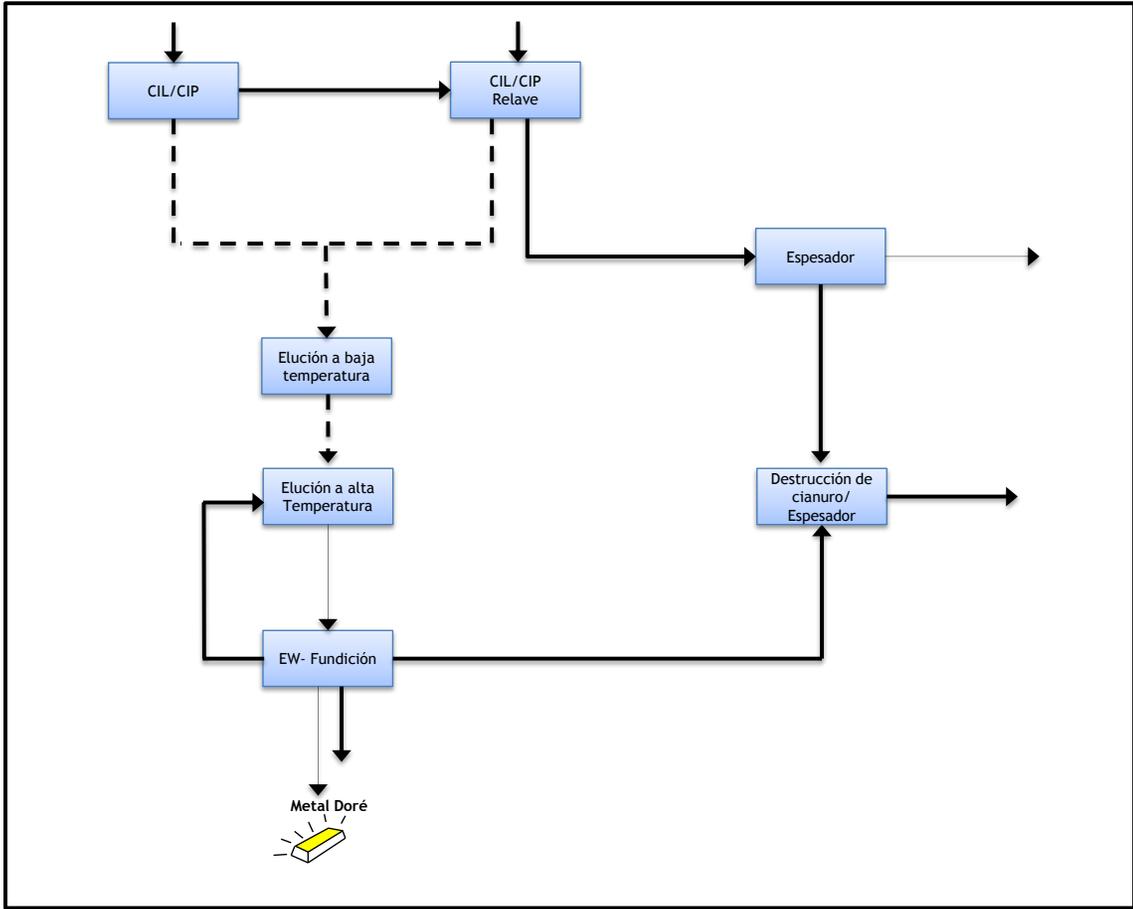


Figura 3-6. Diagrama de bloques sección cianuración y adsorción con carbón desde pulpas

Sección 6: Adsorción con carbón desde soluciones (CIC)

Esta sección, considera las operaciones unitarias utilizadas en un circuito ADR desde soluciones. A diferencia de la sección 5, esta sección no incluye cianuración, sino que es alimentada con una solución cianurada -generalmente desde la sección 4-. Debido a que la solución de alimentación podría presentar altas concentraciones de cobre, esta sección asume tres posiciones distintas donde ubicar un proceso SART: en la solución de alimentación –solución PLS-, en la solución descargada de CIC –solución BLS-, y en la solución producida desde la elución a baja temperatura.

El límite de batería de esta sección, considera en la entrada, una solución PLS que alimenta a SART (PLS), y en las salidas el doré producido, los cementos de cobre producidos en SART y la solución producto de destrucción de cianuro.

Es importante destacar que el hecho de que haya tres procesos SART en esta sección, no significa que los tres funcionen conjuntamente, de hecho lo común es que funcione sólo uno.

Esta sección contiene las siguientes operaciones unitarias:

- SART (PLS, Barren y Elución)
- Elución a baja temperatura
- Elución a alta temperatura
- EW
- Fundición
- Destrucción de cianuro

A continuación, se presenta un diagrama de bloques simplificado de la sección de adsorción con carbón desde soluciones:

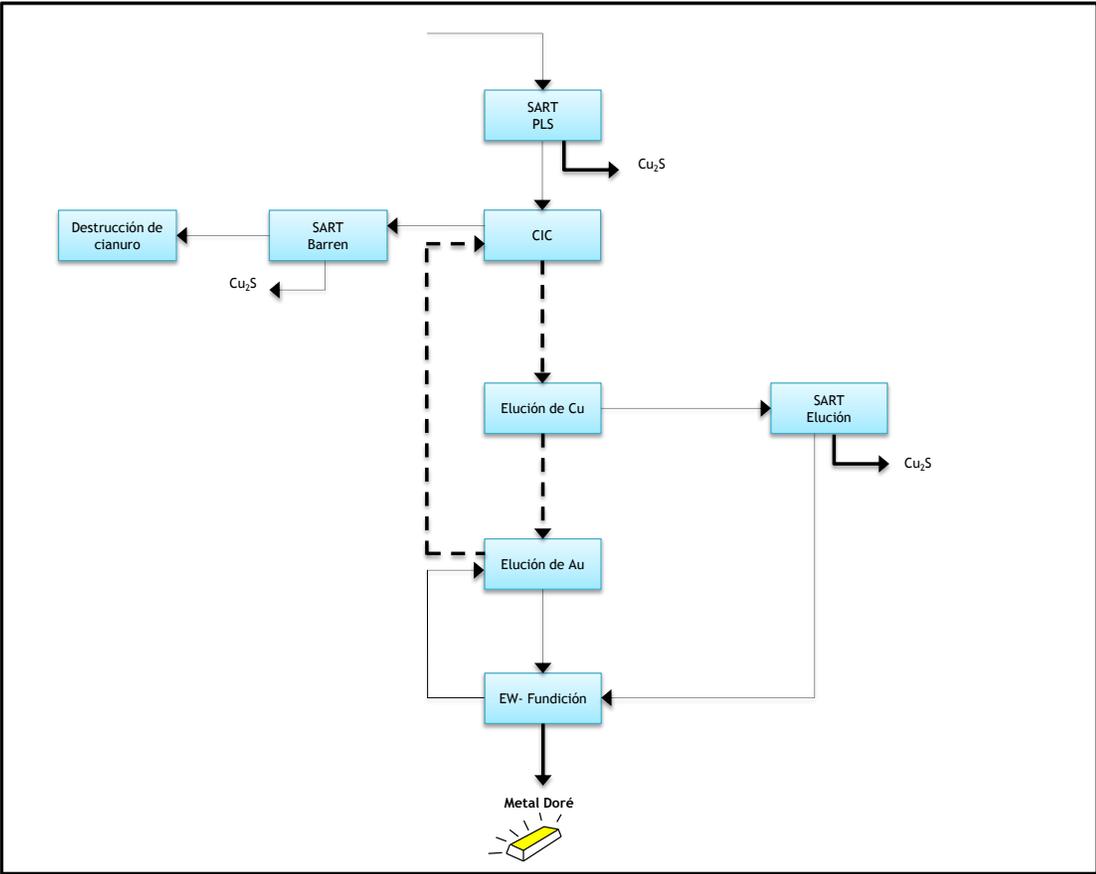


Figura 3-7. Diagrama de bloques sección adsorción con carbón desde soluciones (CIC)

4. RESULTADOS

4.1. Resultados y funcionamiento del Simulador

Basándose en la información bibliográfica y la experiencia de Alquimia Conceptos S.A. en el desarrollo de proyectos, se creó un simulador de balances en estado estacionario, a través del cual el usuario puede definir la ruta de procesamientos del mineral, estimar la producción de oro, plata y cobre, la composición del metal doré producido, la composición de los descartes y los requerimientos de reactivos y agua.

En el simulador se define la ruta de procesos “apagando” las operaciones unitarias del diagrama general que no se utilizarán. Definida esta ruta, se ingresan los datos del plan minero y los criterios de diseño de las operaciones unitarias seleccionadas.

El simulador, entrega información de los distintos flujos al interior de la ruta de procesamiento escogida, en una tabla denominada balance de materiales.

Para realizar estos cálculos, se utilizaron ecuaciones basadas en la química y el funcionamiento de los procesos, junto a la metodología de cálculo utilizada por Alquimia Conceptos S.A. en el desarrollo de balances de procesos.

El simulador se creó con el software Microsoft Excel. Se escogió este software debido a lo amigable de su interfaz y a lo masivo de su uso en empresas dedicadas al área de la ingeniería. Las ventajas de Excel radican en que presenta resultados en estado estacionario en un periodo breve de tiempo, y permite visualizar resultados en el transiente.

4.1.1. Selección de la ruta de procesamiento en el simulador

Para definir la ruta de procesamiento del mineral es necesario seleccionar las operaciones unitarias a partir del diagrama general, y por lo tanto, las secciones que intervendrán en dicho procesamiento. Se debe tener en consideración que hay operaciones unitarias dependientes, es decir, que su producto requiere de algún proceso físico o químico posterior para continuar la ruta de procesos (ej. Cianuración – Separación sólido-líquido o Adsorción con carbón – Elución de carbón).

El simulador permite seleccionar las operaciones unitarias que intervendrán en la ruta de procesamiento, de modo que el mineral no sea procesado en una operación unitaria que no se desee utilizar, tal como se ilustra en la Figura 4-1:

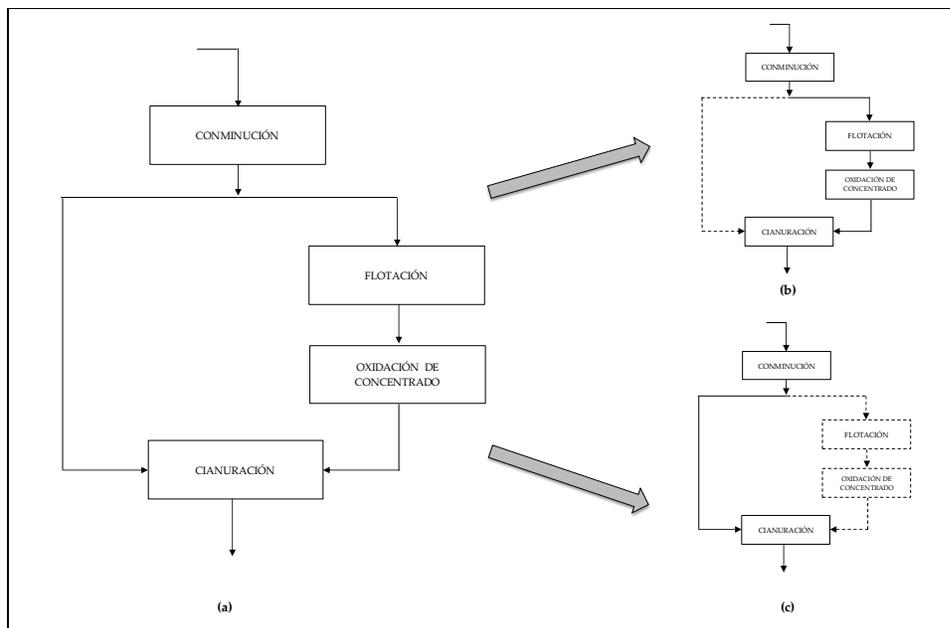


Figura 4-1. (a) Rutas de proceso disponibles para el mineral, (b) Ruta seleccionada Conminución-Flotación-Oxidación, (c) Ruta seleccionada Conminución-Cianuración

En la Figura 4-1(a) se presentan los caminos disponibles por los cuales el mineral puede ser procesado, desde conminución a cianuración. Luego, en función de los resultados de las pruebas metalúrgicas del mineral, se decidirá si el mineral pasará por una etapa de flotación y oxidación de concentrado -Figura 4-1(b), caso minerales sulfurados-, o pasará directamente a cianuración -Figura 4-1(c), caso minerales oxidados-.

En el simulador, la selección de las operaciones unitarias se realiza mediante un operador binario, es decir, si se utilizará una operación unitaria en particular, se coloca “1” en esta operación, sino, se coloca un “0” -se “apaga”-.

En la Tabla 4-1, se presenta a modo de ejemplo la pantalla de inicio de la sección de conminución mostrando que se utilizarán las operaciones unitarias de chancado, molienda y concentración gravitacional. En la Figura 4-2 se presenta la ruta resultante de la selección anterior.

Tabla 4-1. Pantalla de selección de operaciones unitarias

Sección: Conminución	Proceso	1/0
CONMINUCIÓN	Chancado	1
	Molienda	1
	Espesador	0
RECUPERACIÓN	Flotación Flash	0
	Concentración Gravitacional	1

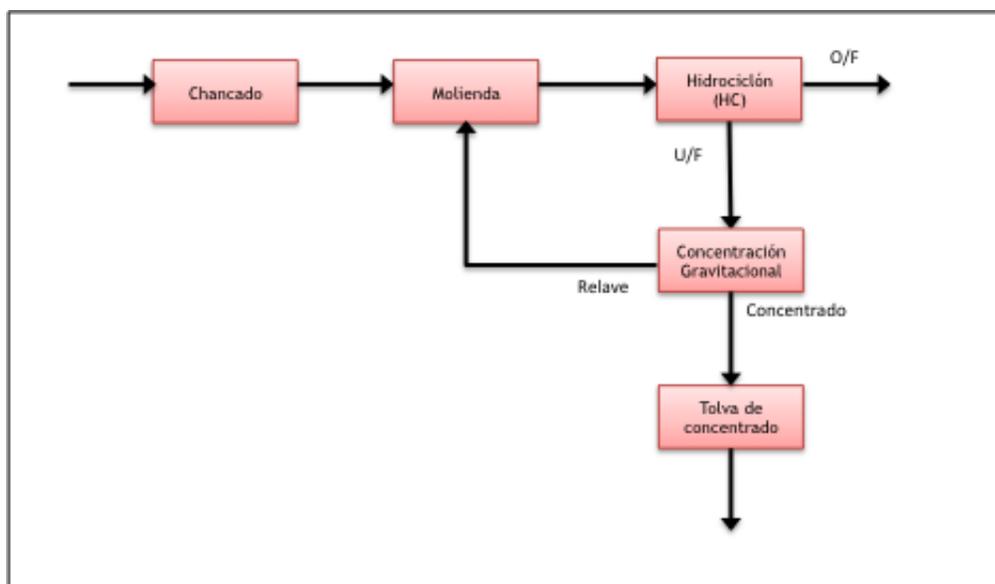


Figura 4-2. Ruta resultante de Conminución

4.1.2. Ingreso de datos

En la pantalla de inicio del simulador se ingresan los datos del plan minero, es decir, el ritmo de producción diario, las leyes de Au, Ag y Cu y el porcentaje de sólidos en peso de la alimentación (Cp). En la Tabla 4-2 se presenta la pantalla donde se ingresan los datos del plan minero.

Tabla 4-2. Pantalla de ingreso de flujos de alimentación sección 4: Cianuración.

MINERAL FRESCO ALIMENTADO					
Mineral					
Cp	%	0			
Flujo seco	tpd	0			
Metal					
		Au	Ag	Cu	NaCN
Ley	g/t	0	0	0	0
Concentración	g/m3	0	0	0	0

Adicionalmente, para cada sección del diagrama general se definió una hoja en la que se ingresan los criterios de diseño por operación unitaria. Es importante destacar, que no está dentro de los alcances del presente trabajo estudiar la veracidad de los datos ingresados ni la metodología de análisis de las pruebas de laboratorio.

A modo de ejemplo, en la Tabla 4-3 se presenta la pantalla del simulador en la que se ingresan los criterios de diseño de la Sección 1: Conminución. En el capítulo de Anexos B, se presentan las pantallas donde se ingresan los criterios de diseño en las seis secciones definidas anteriormente.

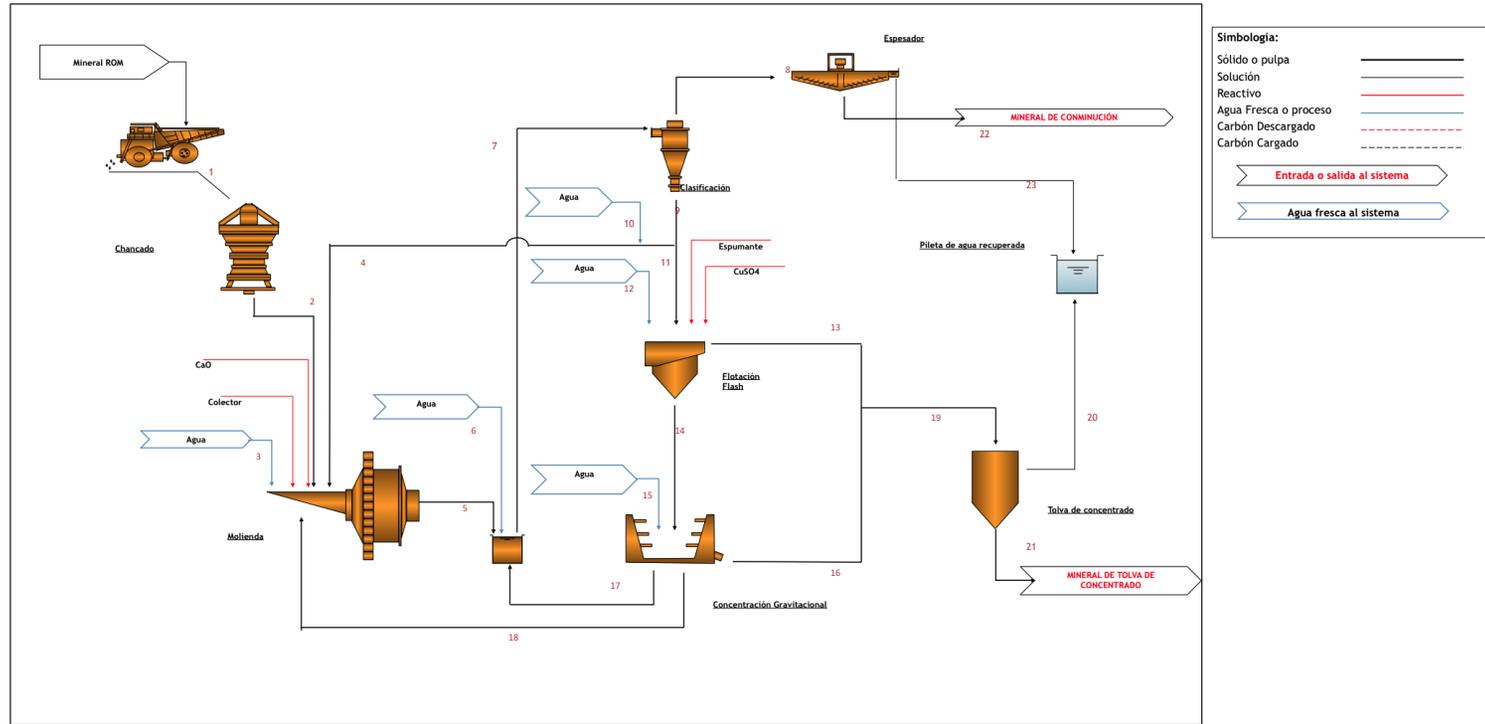
Tabla 4-3. Página de ingreso criterios de diseño Sección 2: Flotación.

FLOTACION CONVENCIONAL		
Criterios de Diseño		
		Utilizado
Criterios Generales		
Días/año operación	días	0
Horas/día operación	hrs	0
Utilización	%	0
Flotación Rougher		
Recuperación en masa	%	0
Recuperación de Au	%	0
Recuperación de Ag	%	0
Recuperación de Cu	%	0
Cp de alimentación	%	0
G.E. alimentación		0
G.E. Concentrado		0
Cp Concentrado Labio	%	0
Cp Concentrado Diluido	%	0
Cp Relave Rougher	%	0
Remolienda		
Cp Alimentación Molino	%	0
CC Remolienda	%	0
Flotación Cleaner-Scavenger		
Recuperación en masa	%	0
Recuperación de Au	%	0
Recuperación de Ag	%	0
Recuperación de Cu	%	0
G.E. Concentrado cleaner Final		0
G.E. Concentrado Scavenger		0
Cp Concentrado Cleaner Final Labio	%	0
Cp Concentrado Cleaner Final Diluido	%	0
Cp Concentrado Scavenger Final Labio	%	0
Cp Concentrado Scavenger Final Diluido	%	0
Cp Relave Scavenger	%	0
Recuperación flotación scavenger Au	%	0
Recuperación flotación scavenger Ag	%	0
Recuperación flotación scavenger Cu	%	0
Ley de Au Concentrado Scavenger	%	0
Espesador de relaves		
Utilización	%	0
Cp descarga	%	0
Cantidad de espesadores	cant.	0
Agua de sello de bombas	m3/d	0
Floculante	kg/t	0
Cp alimentación floculante	%	0
Espesador de Concentrado		
Utilización	%	0
Cp descarga	%	0
Cantidad de espesadores	cant.	0
Agua de sello de bombas	m3/d	0
Floculante	kg/t	0
Cp alimentación floculante	%	0
Filtro de Concentrado		
Utilización	%	0
Cp descarga	%	0

SIMBOLOGIA DE COLORES	
Dato de entrada	
Valor calculado	

4.1.3. Presentación de resultados

Con los datos ingresados, el simulador entrega una tabla con la composición y características de los distintos flujos al interior de la ruta de procesamiento. En la Figura 4-3 se presenta como ejemplo, el balance de materiales de la Sección 1 (Conminución) junto a su flowsheet.



Item	1	2	3	4	-	-	AUX	5	6	7	8	9	10	11	12	AUX	13	14	15	16	AUX	17	18	19	20	21	22	23
Balance Nominal																												
Sólido	tpd																											
Ley	tpb																											
	g/t Au																											
Agua / Solución	g/t Ag																											
	g/t Cu																											
Concentración	m ³ /d																											
	m ³ /h																											
	g/m ³ Au																											
Cp	g/m ³ Ag																											
	g/m ³ Cu																											
Colector	%																											
	kg/d																											
Pulpa	kg/t																											
	t/d																											
	t/h																											
	m ³ /d																											
Densidad de pulpa	m ³ /h																											
G.E.	t/m ³																											

Figura 4-3. Balance de masas sección 1: Conminución

Adicionalmente, se construyó otra tabla resumen llamada balance de aguas, en la que se presentan los distintos flujos de solución con las respectivas concentraciones de los elementos de interés. En el capítulo de Anexos C se presentan los balances de agua de las distintas secciones, y en el Anexo D se presentan los balances de materiales de las distintas secciones.

4.2. Validación de resultados

Al realizar la simulación, es imperativo que los balances cumplan con la ley de conservación de materiales, es decir, que los materiales que entran a un sistema, sean los mismos que salen más los que se acumulan (UCLM). Por lo tanto, los resultados son siempre válidos desde el punto de vista matemático. Es más, junto a los resultados de los balances, existe una tabla por operación unitaria y sección, que verifican el cumplimiento de la ley de conservación de materiales. En la Tabla 4-4 se presenta el ejemplo de verificación de la flotación flash. En la sección de Anexos D, bajo el balance de materiales, se presentan estas tablas.

Tabla 4-4. Verificación del cumplimiento de la ley de conservación de materiales, caso Flotación Flash

	Flotación Flash		
	Entrada	Δ	Salida
Sólido	300	-	300
Agua / Solución	25	-	25
Finos Au	310	-	310
Finos Ag	120	-	120
Finos Cu	-	-	-

Para que los resultados tengan un sentido metalúrgico, es posible compararlos con datos de benchmarking o de operaciones industriales semejantes, es decir, operaciones que presenten la mineralización y/o la ruta de procesamiento muy similar.

4.3. Simulación de caso: Mineralización de oro oxidada y baja en cobre

A continuación, se presenta a modo de ejemplo la simulación realizada con un mineral oxidado. El desarrollo de esta tesis comienza asumiendo que los criterios de diseño ya están elaborados y cuyo origen está fuera del alcance de este trabajo.

4.3.1. Caracterización metalúrgica del yacimiento

En la Tabla 4–5 se presenta la composición mineralógica de una muestra del yacimiento.

Tabla 4–5: Composición mineralógica 100% base mineral muestra de yacimiento

Especies	% en peso	Cu	Fe	S
Calcopirita	traza			
Rutilo	0,57			
Hematita	0,35		0,25	
Limonita	2,35		1,47	
Ganga	96,74			
Total	100	0	1,72	0

Se puede ver de la tabla anterior que el contenido de azufre y cobre en la muestra es despreciable o inexistente. El mineral con más presencia en las muestras es limonita ($\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$) seguida por rutilo (TiO_2), mientras el mineral con menos presencia es calcopirita.

En la Tabla 4–6 se presentan algunos criterios de diseño definidos por el plan minero, entre ellos el ritmo de tratamiento diario y las leyes de cabeza del mineral:

Tabla 4–6: Flujos de tratamiento y leyes de alimentación

Item	Unidad	Valor
Flujo nominal	tpd	5.714
Ley de Au	g/t	0,15
Ley de Ag	g/t	74
Ley de Cu	g/t	0

En la Tabla 4–7 se presenta un análisis de liberación para oro y plata.

Tabla 4–7: Asociaciones oro/plata

Item	Oro/ Electrum	Minerales de plata
Liberado	7,35	65,14
Asociado	34,8	6,8
Ocluido	57,9	28,0
Total	100	100

En la tabla anterior se puede ver que cerca del 60% del oro se encuentra ocluido. Para su liberación es necesario moler a tamaños finos ($<160 \mu\text{m}$) de modo que al momento de realizar la cianuración el oro quede expuesto y pueda ser extraído. El caso de la plata es opuesto, la mayor parte de los minerales de plata están liberados.

4.3.2. *Definición de ruta de procesos*

A continuación se sugiere una posible ruta de procesamiento que es función de las características mineralógicas presentadas anteriormente.

La definición de la ruta de procesos se debe realizar considerando que la granulometría producto de conminución es fina, de modo de liberar la porción de oro ocluido. Para ello, se supondrá un circuito de conminución que contenga chancado primario, molienda Sag y molienda de bolas. Para efectos del simulador, todo lo anterior sólo es considerado como una “caja negra” en donde el flujo de alimentado es igual al producido.

Para extraer el oro y la plata del mineral no se considera flotación debido a que no hay presencia de sulfuros en la mineralización. Dado que, como se dijo anteriormente, es necesario moler fino para recuperar el oro ocluido, la cianuración no puede ser llevada a cabo en pilas por lo que se realizará en estanques agitados (Cianuración convencional).

Por los altos contenidos de plata que presenta la mineralización (74 ppm de Ag contra 0,15 ppm de Au), la mejor alternativa para recuperar los complejos metálicos de oro y plata es el proceso Merrill-Crowe, también conocido como cementación con zinc. Un proceso de adsorción con carbón es descartado debido a los altos requerimientos de carbón activado necesarios para adsorber tanto a los complejos de oro como los de plata.

Previo al proceso Merrill-Crowe debe existir un proceso de separación sólido-líquido con un posterior lavado de sólidos luego de la cianuración convencional. La separación sólido-líquido se realiza con el fin de alimentar al proceso Merrill-Crowe con una solución libre de sólidos y el lavado de sólidos se realiza para recuperar la solución que aún sigue en contacto con el sólido. A partir de este lavado se obtiene un relave sólido (ripió) que es descartado.

Desde Merrill-Crowe se obtiene un cemento que contiene plata, oro y zinc. Este producto es posteriormente enviado a fundición y refinación para separar los metales de interés del zinc y obtener un metal doré como producto final. La solución pobre o descargada (barren) producida en Merrill-Crowe es recirculada a molienda para satisfacer los requisitos de agua en esta etapa e iniciar con anterioridad el proceso de cianuración, acomplejando las partículas de oro que son liberadas producto de la conminución.

Por lo anterior, la ruta de procesamientos seleccionada corresponde a la siguiente:

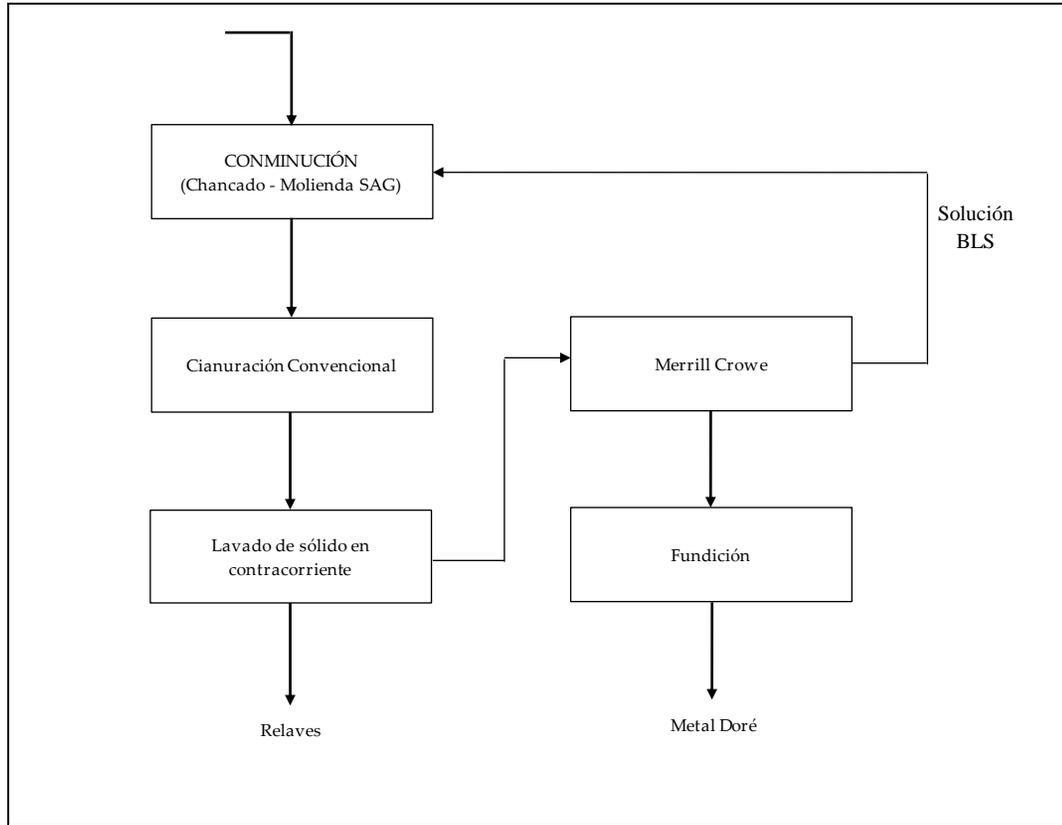


Figura 4-4. Diagrama de flujos “Caso de estudio”

4.3.3. Criterios de diseño de simulación

Por lo expuesto anteriormente, el desarrollo de este caso, requeriría las secciones 1 y 4 del simulador -Conminución y cianuración, respectivamente-. A continuación se presentan los criterios de diseño utilizados en la definición de la ruta de procesos:

Criterios de diseño generales

- Flujo de sólido de alimentación diario : 5.714 tpd
- Humedad del mineral : 3 %
- Ley de alimentación de Au : 0,15 g/t
- Ley de alimentación de Ag : 74 g/t
- Días/ año operación : 365 días
- Horas/día operación : 24 horas

Criterios de diseño de Conminución

- Utilización Chancado : 75 %

• Utilización Molienda	: 92	%
• % sólidos Overflow hidrociclón	: 40	%
• % sólidos Underflow hidrociclón	: 75	%
• Carga Circulante hidrociclón	: 350	%
• Consumo de CaO	: 0,7	kg/t sól
• Consumo de colector en molienda	: 0,2	kg/t sól

Criterios de diseño de cianuración convencional

• Utilización	: 92	%
• % Sólidos del proceso	: 40	%
• Consumo CaO	: 0,5	kg/t sól
• Concentración NaCN en solución	: 0,55	kg/m ³
• Pérdidas de NaCN	: 10	%
• Disolución de Au	: 84,5	%
• Disolución de Ag	: 74,6	%

Criterios de diseño lavado de sólido en contracorriente

• Utilización	: 92	%
• Tasa de lavado	: 2	%
• Eficiencia de Lavado	: 99,6	%
• % sólido del producto	: 65	%
• Consumo de Floculante	: 0,03	kg/t

Criterios de diseño destrucción de Cianuro

• Utilización	: 85	%
• Consumo SO ₂	: 6	g/g de NaCN
• % sólidos de adición de SO ₂	: 20	%
• Consumo CuSO ₄	: 0,12	g/g de NaCN
• % sólidos de adición de CuSO ₄	: 30	%
• Consumo CaO	: 0,3	g/g de NaCN
• % sólidos de adición de CaO	: 10	%
• Eficiencia de destrucción de cianuro	: 99	%
• % sólidos de descarga	: 80	%

Criterios de diseño proceso Merrill-Crowe

• Utilización	: 92	%
• Recuperación Au	: 99	%
• Recuperación Ag	: 99	%
• Consumo Polvo de Zn	: 2	g/g (Au+Ag)
• Consumo Nitrato de Pb	: 0,2	g/g(Au+Ag)
• Tierra Diatomea	: 5	g/g (Au+Ag)
• % de sólidos en precipitado	: 85	%

Fundición

• Eficiencia	: 99	%
• Concentración Au+Ag en Doré	: 99	%

4.3.4. Resultados de la simulación

Al alimentar el simulador con los criterios de diseño presentados anteriormente, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 4-8: Tabla Resumen de resultados obtenidos de simulación

Recuperación		
Au	%	84,5
Ag	%	74,6
Composición Metal Doré		
Au	%	0,23
Ag	%	98,77
Impurezas	%	1,0
Consumos		
Agua Fresca	m ³ /d	4.206
NaCN	kg/d	2356,41
CaO	kg/d	2.861
CuSO ₄	kg/d	0,29
SO ₂	kg/d	14,45
Floculante	kg/d	171
Polvo de zinc	kg/d	640,9
Nitrato de Pb	kg/d	64,1
Tierra Diatomea	kg/d	1602,35
Colector	kg/d	5
Composición Relave		
Flujo	m ³ /d	3.083
Au	g/m ³	0,0005
Ag	g/m ³	0,21
NaCN	g/m ³	3,08

De la tabla anterior se puede extraer lo siguiente:

- La composición del doré consiste en un 99% de metales de interés (0,23% de Au y 98,77% de Ag) y 1% de impurezas. Las bajas concentraciones de Au responden a la baja ley en la cabeza alimentada.
- Con los consumos diarios de reactivos y agua, es posible estimar un costo operacional debido a los mismos.
- La concentración de cianuro en el descarte corresponde a 3,08 ppm. Según lo que exige el Código Internacional para el Manejo del Cianuro en cuanto a la concentración de cianuro en los tranques de relaves e instalaciones de lixiviación, la concentración de cianuro acomplejado (CN_{WAD}) debe ser menor a 50 ppm.

A continuación, se presentan los balances de aguas y materiales entregados por el simulador para el caso de estudio:

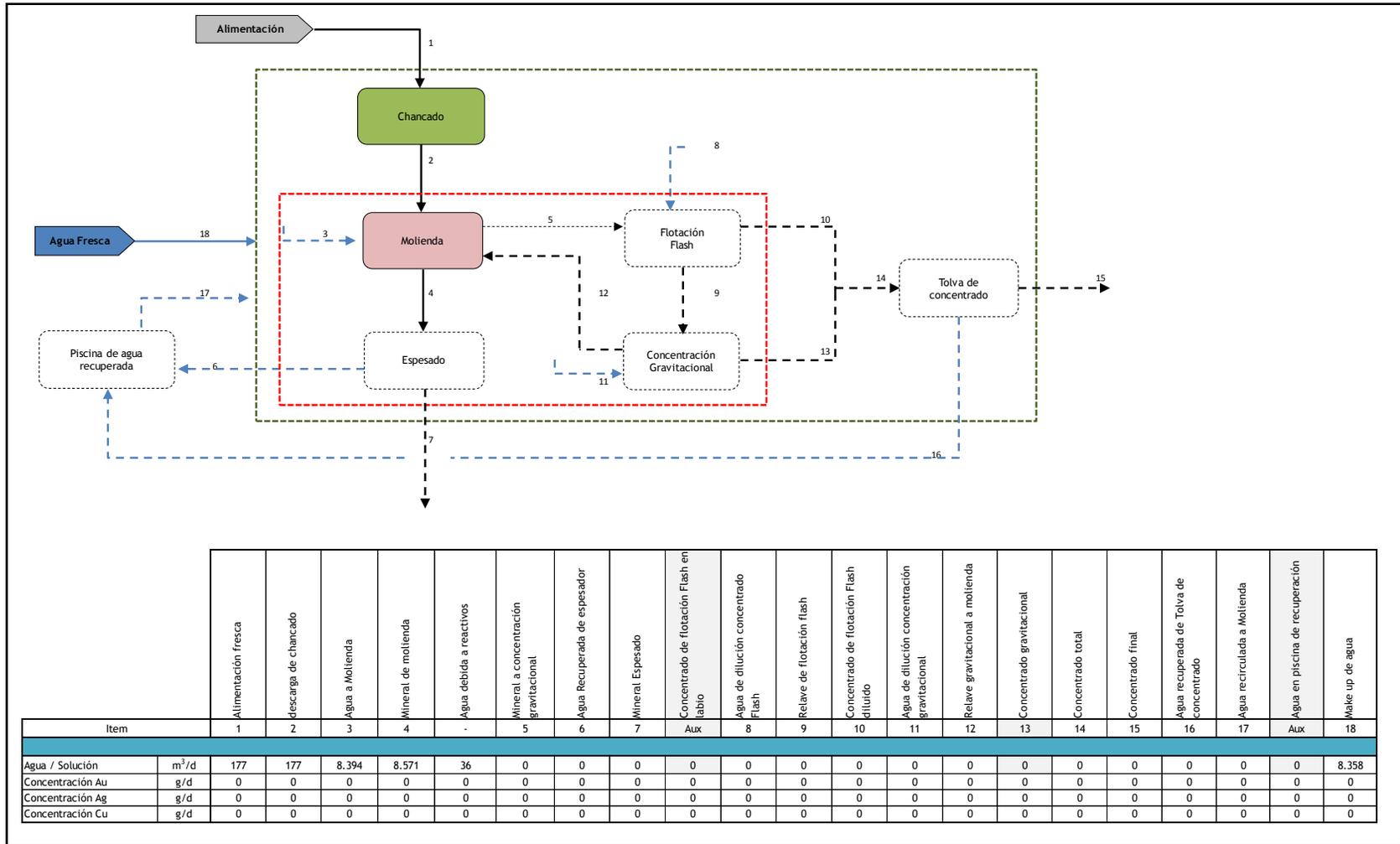
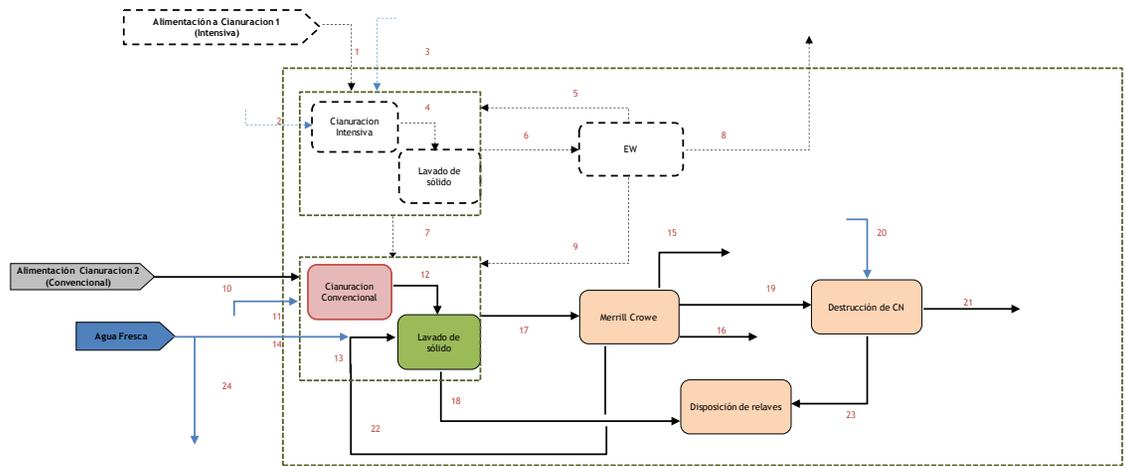


Figura 4-5. Balance de agua conminución caso de estudio

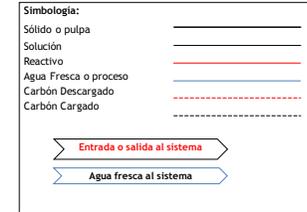
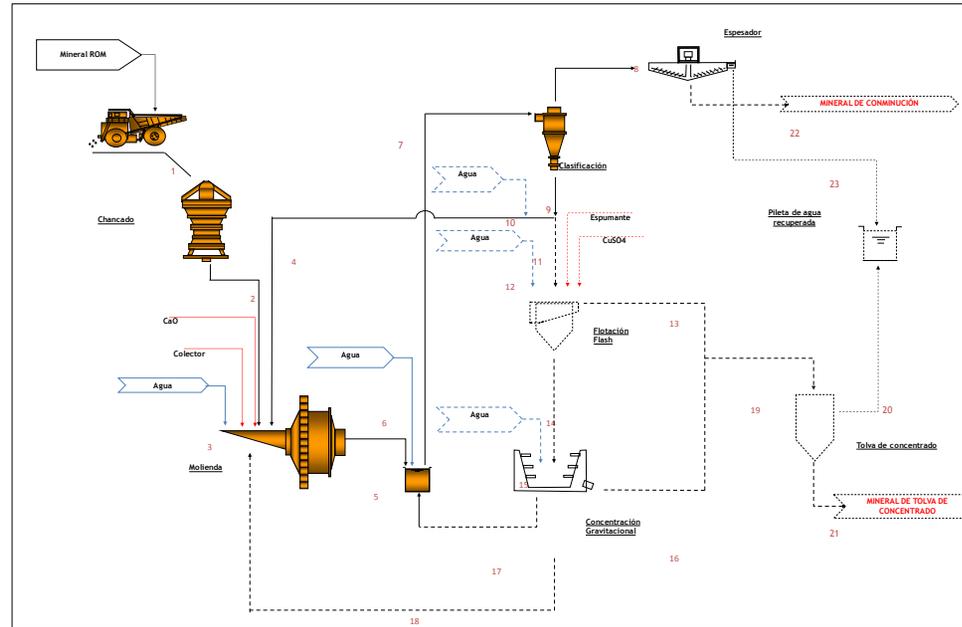


Item	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	AUX	14	15	16	17	18	19	20	21	22	AUX	23	24		
Alimentación Cianuración Intensiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.571	-	8.593	8.816	4.206	2.612	171	11.428	-	0,06	17.114	3.078	17.114	65	8.358	8.816	3.083	4.43	1.994
Agua fresca a Cianuración Intensiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0	0,004	-	-	-	0,000	-	-	0,04	0,00	0,004	-	0,004	0,004	0,00	0,000	
Agua fresca debida a Reactivos de Cianuración Intensiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	37	0,1868	-	-	-	0,144	-	-	18,68	0,21	0,1868	-	0,1868	0,1868	0,21	0,187	
Agua fresca a lavado de sólido	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Producto de cianuración Intensiva a lavado de sólido	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Solución pobre de EW a Cianuración Intensiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Solución rica de cianuración Intensiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Producto a cianuración convencional	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Agua fresca debida a Reactivos de Cianuración Intensiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Reactivos de agua en EW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Purgas de agua en EW a Cianuración convencional	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Alimentación Fresca a cianuración convencional	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,28	-	0,50	0,0553	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Agua fresca a cianuración convencional	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Producto de cianuración convencional a lavado de sólido	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Agua reciclada a lavado de sólido de cianuración convencional	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Agua Fresca Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Agua fresca a lavado de sólido cianuración convencional	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Agua fresca debida a Reactivos de lavado de sólido	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Agua a lavado sólido	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Purgas de solución desde Merrill Crowe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Agua en metal Don't	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Solución rica a Merrill Crowe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sólido a destrucción de cianuro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Solución pobre de Merrill Crowe a destrucción de cianuro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Agua fresca debida a Reactivos de destrucción de cianuro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Solución a Cominación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Solución a cianuración convencional	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Solución a disposición de relaves	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Solución de destrucción de Flunuro a disposición de relaves	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Agua fresca en otros consumos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Agua / Solución [m3/d]	Entrada	Salida	Δ
Cianuración 1	0	0	0,00
EW	0	0	0,00
Cianuración + Lavado sólido	21.786	21.786	0,00
Merrill Crowe + Destr. Cianuro	17.179	17.179	0,00
General	21.786	21.786	0,00

Make up de agua cominación	8.358
----------------------------	-------

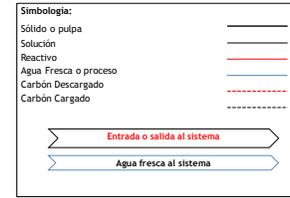
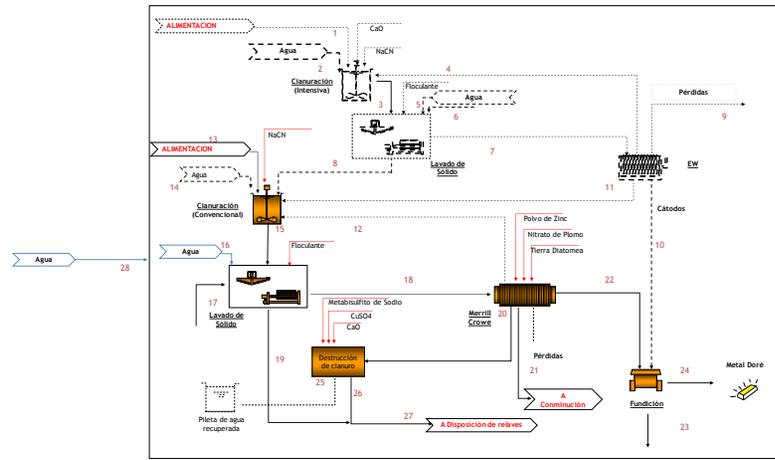
Figura 4-6. Balance de aguas cianuración caso de estudio



Item	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Balance Nominal																								
Sólido	tpd	5,714	5,714	19,999		20,063	25,713		25,713	5,714	19,999													
	tph	317	317	906		1,165	1,165	259	906															
	g/t Au	0,2	0,2			0,2	0,2	0	0	0														
Ley	g/t Ag	74,0	74,0			74,0	74,0	74	74															
	g/t Cu																							
	m ³ /d	177	177	4,177	6,666	36	11,056	11,020	4,217	15,237	8,571	6,666												
Agua / Solución	m ³ /h	10	10	189	302	2		499	191	690	388	302												
	g/m ³ Au	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	g/m ³ Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Concentración	g/m ³ Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	97	97	75	4	64	70	63	40	75														
	kg/d					4	4																	
CaO	kg/t				0,7																			
	kg/d				5	5																		
	kg/t				0	0,2																		
Colector	t/d	5,891	5,891	26,665		31,119	36,713	40,950	14,285	26,665														
	t/h	327	327	1,208		1,664	1,664	1,855	647	1,208														
	m ³ /d	2,217	2,217	13,809		18,221	20,303	40,950	10,613	13,809														
Pulpa	m ³ /h	123	123	625		915	1,855	481	625															
	t/m ³	2,66	2,66	1,93		1,71	1,82	24,421	1,35	1,93														
	G.E.	2,80	2,80	2,80		2,80	2,80	2,80	2,80	2,80														

Programa de operación	
Alimentación, tpd	5,714
Días / Año	350
Horas / Día	24
Tiempo de operación [h]	
Chancado	75
Molino	92
Flotación Flash	0
Concentración gravitacional	0
Espeador	0

Figura 4-7. Balance de materiales cominución Caso de estudio



Item	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28		
Balance Nominal																														
Sólido	t/d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5714	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5714	
Ley	g/t Au	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	299	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	299	
Fios	g/t Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
	g/t Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	74	
Agua / Solución	m ³ /d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	857	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	857	
	m ³ /h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	432,856	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	432,856	
Concentración	g/m ³ Au	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105,709	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105,709	
	g/m ³ Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
	g/m ³ Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,187	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,187	
	g/m ³ CN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,28	
Fios	g/d Au	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	
	g/d Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	
	g/d Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,601	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,601	
	g/d N2CN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	
Reactivos	kg/d NaCN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,370	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,370	
	kg/d CaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2356	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2356	
	kg/d Floculante	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2807	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2807	
	kg/d SO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	kg Polvo de Zinc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	kg Nitro de Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Co	kg Tierra diatomica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	
Pulpa	tpd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14285	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14285	
	m ³ /d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11168	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11168	
	m ³ /h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	467	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	467	
Densidad de pulpa	t/m ³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	
	G.t	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,6	

Figura 4-8. Balance de materiales cianuración Caso de estudio

5. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un simulador de balances en estado estacionario del procesamiento de minerales con oro en función de los resultados de las pruebas metalúrgicas del mineral y las variables propias de las distintas operaciones unitarias que intervienen en el proceso.

El simulador se realizó utilizando el software Excel de Microsoft. Se eligió esta herramienta computacional por la variedad de cálculos que en él se pueden realizar, por el método de resolución iterativo que ofrece y porque es posible aprovechar sus herramientas gráficas para crear una aplicación visualmente atractiva.

El simulador entrega un valor aproximado de la composición de los descartes, la calidad de los productos de la ruta simulada y los consumos estimados de reactivos de las distintas operaciones unitarias seleccionadas.

Las opciones de flowsheet entregadas en el presente documento en conjunto con el simulador permiten definir a nivel Scoping la ruta de procesos del mineral a tratar, seleccionando las operaciones unitarias involucradas en el proceso para posteriormente mediante el simulador evaluar el desempeño de la ruta seleccionada.

La capacidad de estimación del simulador de balances es satisfactoria. Los resultados del caso de estudio arrojan valores similares a lo que se presenta en la industria actual y a lo que exige el Código Internacional para el Manejo del Cianuro en cuanto a la concentración de NaCN en los tranques de relaves e instalaciones de lixiviación.

Los resultados que entrega el simulador pueden ser utilizados posteriormente para estimar costos de inversión, costos de operación e ingresos asociados a la ruta de procesos seleccionada y así evaluar la factibilidad del proyecto.

5.1. Trabajos futuros

Los trabajos futuros consisten en mejorar los modelos de operaciones unitarias integrando otros elementos de importancia en el procesamiento de minerales con oro, como mercurio, azufre o carbonatos, con el fin de obtener datos estimados con un mayor nivel de confiabilidad.

Los desafíos del procesamiento de minerales se orientan hacia la generación de modelos dinámicos que permitan crear estrategias de control del proceso productivo a corto y largo plazo.

6. REFERENCIAS

Adams, M. (2005). *Advances in Gold Ore Processing*. Guildford, Australia: Developments in mineral Processing.

Azañero Ortiz, Á. (2008). UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS: apunte de curso concentración y flotación de materiales, E.A.P. ING. METALURGICA.

Bruton, E. (1983). *Diamonds*. Barcelona: Universitat de Barcelona.

BullionVault. (s.f.). Obtenido de <http://gold.bullionvault.com>

COCHILCO. (s.f.). Comisión Chilena del cobre. Recuperado el miércoles 30 de Mayo de 2012, de www.cochilco.cl

Domic, M. E. (2001). *Hiddrometalurgia: Fundamentos, Procesos y aplicaciones*. Santiago.

Flatman, S., Battersby, M., Imhof, R., Battersby, R. M., & Ibrayev, S. (s.f.). *The Leachox (TM) Refractory Gold Process - The Testing, Design, Installation and Commissioning of a Large Plant at the VASGOLD Gold Mine, Kazakhstan*. Kazakhstan.

Fleming, C. A. (2011). CIP/CIL/CIC Adsorption Circuit Process Selection. En A. L. Mular, D. N. Halbe, & D. J. Barratt, *Mineral Processing Plant Design, Practice, and Control Proceedings, Volumes 1-2* (pág. 2447). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME).

Intenational Cyanide Management Institute. (s.f.). Intenational Cyanide Management Institute. Obtenido de <http://www.cyanidecode.org/>

International Cyanide Management Institute. (2002). *Cyanide facts: Cyanide Sampling and Analytical Methods for Gold Mining*.

Jeffrey, M., Pleysier, R., & Bunney, K. (2009). Elution behaviour of metals from carbon. Conference 2009, The Southern African Institute of Mining and Metallurgy.

Klapwijk, P. (2012). *Gold Survey 2012. Global headof metals Analytics*. Londres: Thomson reuters.

Kracht, W. (2010). *Concentración de Minerales MI52E: Apuntes del Curso*. Santiago.

Marsden, J. O., & House, C. (2006). *The Chemistry of Gold Extraction, Segunda Edición*. SME.

Núñez Cordero, F. (2011). *Estudios metalúrgicos en la minería del oro.*, (pág. 20). S.A., A. C. (2010 al presente). *Estudios y proyectos*. Santiago, Chile.

UCLM. (s.f.). *Apuntes del curso: Tema 4, Balances de Materia*. En UCLM.

ANEXOS

Anexo A:
Pantallas de inicio secciones de simulador

En el siguiente Anexo, se presentan las pantallas de inicio de las distintas secciones del simulador definidas anteriormente.

Hoja	Proceso	1/0
CONMINUCIÓN	Chancado	1
	Molienda	1
	Espesador	1
FF - CG	Flotación Flash	1
	Concentración Gravitacional	1

INSTRUCCIONES

- Colocar **1** a la derecha de los procesos a utilizar
- Colocar **0** a la derecha de los procesos que no se utilizarán
- Ingresar en "Inicio" el flujo fresco de alimentación.
- Ingresar en "Datos de entrada" los parámetros con los que funciona el balance

ALIMENTACION				
Mineral				
Humedad	%	0		
Flujo seco	tpd	0		
Metal				
		Au	Ag	Cu
Ley	g/t	0	0	0
Concentración	g/m3	0	0	0

SIMBOLOGIA DE COLORES

Dato de entrada 

Dato desde Hoja "Datos de entrada" 

Dato desde hoja "Inicio" 

Flujo de reactivos (Balance de materiales) 

Flujo de Agua recirculada o fresca (Bal. Mat.) 

Datos de proyectos (Hoja Datos de entrada) 

Valor calculado 

Distribución metales Proceso base alimentación fresca		
Conminución		
% Au	% Ag	% Cu
0	0	0
Recuperación Flotación Flash y Concentración Gravitacional		
% Au	% Ag	% Cu
0	0	0

Figura Anexo A-1. Pantalla de inicio simulador. Sección conminución

Hoja	Proceso	1/0
FLOTACIÓN	Flotation	1
	Remolienda	1
	Filtro de concentrado	1

INSTRUCCIONES

- Colocar **1** a la derecha de los procesos a utilizar
- Colocar **0** a la derecha de los procesos que no se utilizarán
- Ingresar en "Inicio" el flujo fresco de alimentación.
- Ingresar en "Datos de entrada" los parámetros con los que funciona el balance

ALIMENTACION				
Mineral				
Cp Alimentación		%	0	
Flujo seco		tpd	0	
Metal				
	Au	Ag	Cu	
Ley	g/t	0	0	0

SIMBOLOGIA DE COLORES	
Dato de entrada	<input type="text" value=""/>
Dato desde Hoja "Datos de entrada"	<input type="text" value=""/>
Dato desde hoja "Inicio"	<input type="text" value=""/>
Flujo de reactivos (Balance de materiales)	<input type="text" value=""/>
Flujo de Agua recirculada o fresca (Bal. Mat.)	<input type="text" value=""/>
Datos de proyectos (Hoja Datos de entrada)	<input type="text" value=""/>
Valor calculado	<input type="text" value=""/>

Recuperación Proceso base alimentación fresca		
Flotación		
% Au	% Ag	% Cu
0	0	0

Figura Anexo A-2. Pantalla de inicio simulador. Sección flotación

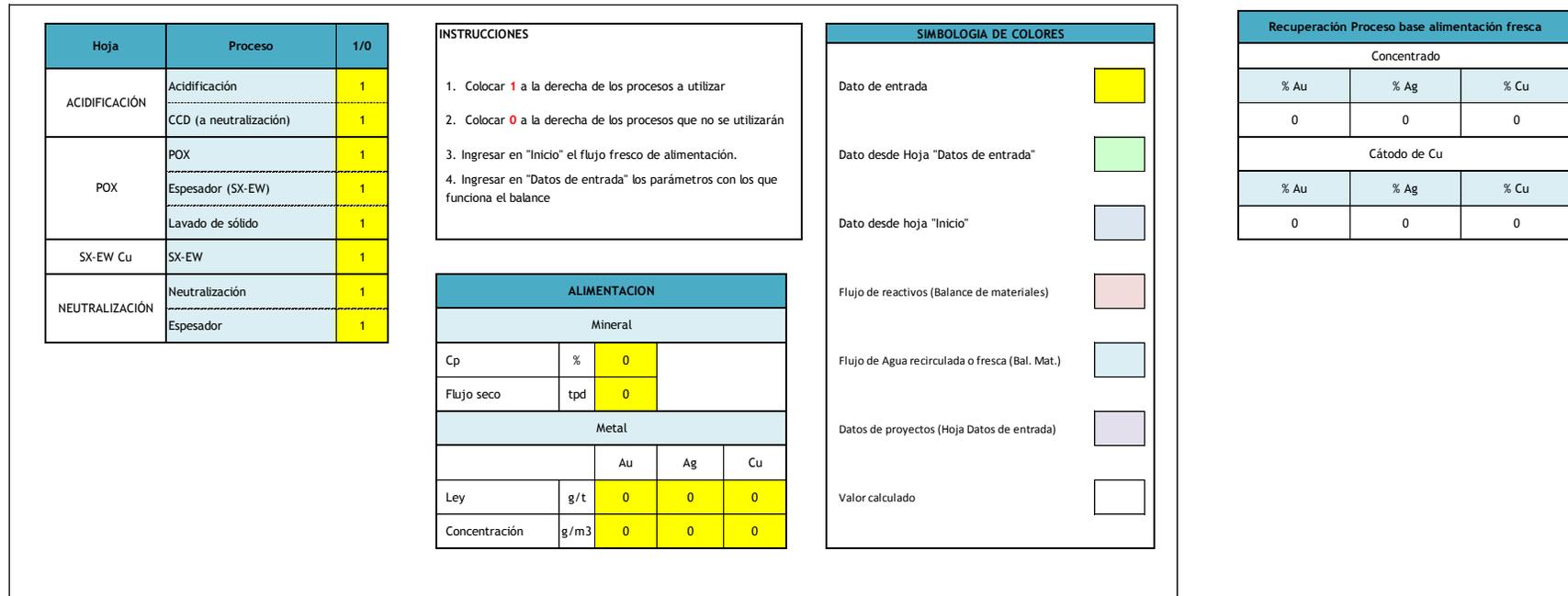


Figura Anexo A-3: Pantalla de inicio simulador. Sección acidificación – oxidación – SX-EW de Cu

Hoja	Proceso	1/0
Cianuración 1 (Intensiva)	Cianuración Intensiva	1
	Lavado de sólido	1
EW	EW	1
Cianuración 2 (Convensional)	Cianuración Convencional	1
	Lavado de sólido	1
Merrill Crowe	Merrill Crowe	1
Destrucción de cianuro	Destrucción de cianuro	1
Fundición	Fundición	1

INSTRUCCIONES

- Colocar **1** a la derecha de los procesos a utilizar
- Colocar **0** a la derecha de los procesos que no se utilizarán
- Ingresar en "Inicio" el flujo fresco de alimentación.
- Ingresar en "Datos de entrada" los parámetros con los que funciona el balance

SIMBOLOGÍA DE COLORES

Dato de entrada

Dato desde Hoja "Datos de entrada"

Dato desde hoja "Inicio"

Flujo de reactivos (Balance de materiales)

Flujo de Agua recirculada o fresca (Bal. Mat.)

Datos de proyectos (Hoja Datos de entrada)

Valor calculado

ALIMENTACION A CIANURACION INTENSIVA

Mineral				
Cp	%	0		
Flujo seco	tpd	0		
Metal				
		Au	Ag	Cu
Ley	g/t	0	0	0
Concentración	g/m3	0	0	0

ALIMENTACION A CIANURACION CONVENCIONAL

Mineral				
Cp	%	0		
Flujo seco	tpd	0		
Metal				
		Au	Ag	Cu
Ley	g/t	0	0	0
Concentración	g/m3	0	0	0

Recuperación Proceso base alimentación fresca

EW		
% Au	% Ag	% Cu
0,0	0,0	0,0
Merrill Crowe		
% Au	% Ag	% Cu
0,0	0,0	0,0
Global		
% Au	% Ag	% Cu
0,0	0,0	0,0

Composición Doré

Au	0,0 g/d	0,0 %
Ag	0,0 g/d	0,0 %
Cu	0,0 g/d	0,0 %

Figura Anexo A-4. Pantalla de inicio simulador. Sección cianuración

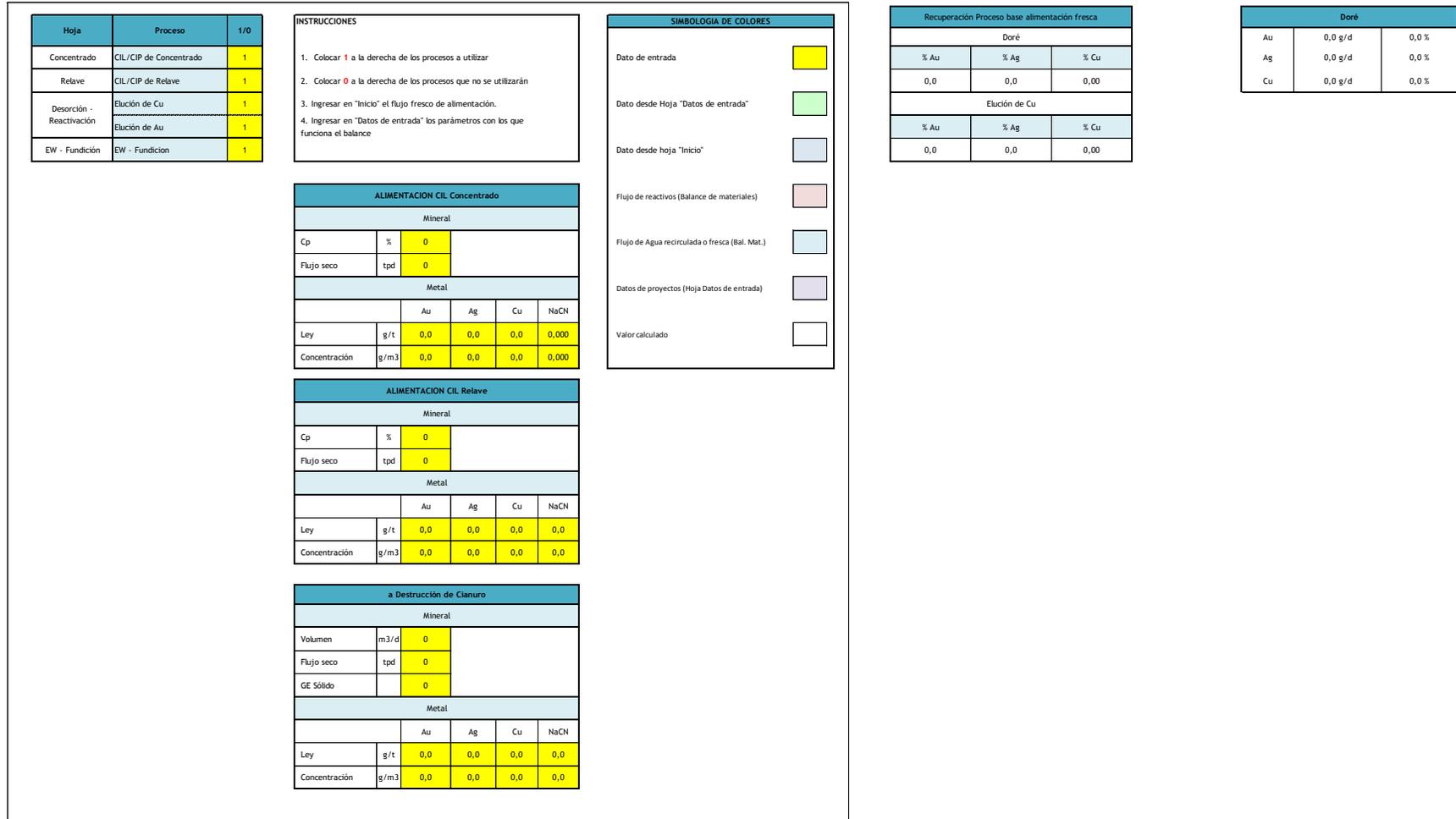


Figura Anexo A-5. Pantalla de inicio simulador. Sección CIL/CIP

Hoja	Proceso	1/0
PLS	SART PLS	1
Solución fresca	CIC	1
Solución Barren	SART Barren	1
Elución	Elución de Cu	1
	SART Elución Cu	1
	Elución de Au	1
Dstrucción de cianuro	CN kill	1
EW-Fundición	EW - Fundición	1

SOLUCIÓN DE ALIMENTACIÓN CIC				
Mineral				
Flujo Volumétrico	m3/d	0		
Metal				
		Au	Ag	Cu
Concentración	g/m3	0	0	0

Alimentación a SART de Elución				
Mineral				
Flujo Volumétrico	m3/d	0		
Metal				
		Au	Ag	Cu
Concentración	g/m3	0	0	0

SOLUCIÓN DE SART Elución a EW		
		1

INSTRUCCIONES

- Colocar **1** a la derecha de los procesos a utilizar
- Colocar **0** a la derecha de los procesos que no se utilizarán
- Ingresar en "Inicio" el flujo fresco de alimentación.
- Ingresar en "Datos de entrada" los parámetros con los que funciona el balance

SIMBOLOGIA DE COLORES

- Dato de entrada:
- Dato desde Hoja "Datos de entrada":
- Dato desde hoja "Inicio":
- Flujo de reactivos (Balance de materiales):
- Flujo de Agua recirculada o fresca (Bal. Mat.):
- Datos de proyectos (Hoja Datos de entrada):
- Valor calculado:

Recuperación Proceso base alimentación fresca		
Doré		
% Au	% Ag	% Cu
0,0	0,0	0,0
SART PLS		
% Au	% Ag	% Cu
0,0	0,0	0,0
SART Barren		
% Au	% Ag	% Cu
0,0	0,0	0,0
SART Elución de Cu		
% Au	% Ag	% Cu
0,0	0,0	0,0

Doré		
Au	0,0 g/d	0,0 %
Ag	0,0 g/d	0,0 %
Cu	0,0 g/d	0,0 %

Figura Anexo A-6 . Pantalla de inicio simulador. Sección CIL/CIP

Anexo B:
Pagina de ingreso Criterios de diseño

En el siguiente Anexo, se presentan las pantallas de ingreso de los criterios de diseño para cada operación unitaria dentro de las distintas secciones del simulador.

Tabla Anexo B-1. Página de ingreso de criterios de diseño Sección 1: Conminución

CONMINUCIÓN - FLOTACIÓN FLASH - CONCENTRACION GRAVITACIONAL		
Criterios de Diseño		
		Utilizado
Chancado		
Utilización	%	0
días/año operación	días	0
Horas/día operación	hrs	0
G.E.		0
Densidad aparente	t/m3	0
Molienda		
Utilización	%	0
Cp Overflow hidrociclón	%	0
Cp Underflow hidrociclón	%	0
Carga Circulante	%	0
Sólidos Descarga Molino	%	0
Consumo de CaO	Kg/t fresca	0
Cp adición de CaO	%	0
Colector a molienda	Kg/t fresca	0
Cp adición de Colector	%	0
GE alimentación molienda		0
Flotación Flash - Concentración Gravitacional		
Recuperación Au (c/r a alimentación fresca)	%	0
Recuperación Ag (c/r a alimentación fresca)	%	0
Recuperación Cu (c/r a alimentación fresca)	%	0
Recuperación Masa (c/r a alimentación fresca)	%	0
% de flujo de relave a cajón de molino		0
Flotación Flash		
Utilización	%	0
Recuperación Au	%	0
Recuperación Ag	%	0
Recuperación Cu	%	0
Recuperación Masa	%	0
Cp Alimentación	%	0
Cp concentrado	%	0
Cp concentrado diluido	%	0
G.E.		0
Consumo de Espumante	Kg/t sólido	0
Cp adición de espumante		0
Consumo de CuSO4	Kg/t sólido	0
Cp adición CuSO4		0
Concentración gravitacional		
Utilización	%	0
Agua de dilución	m3/t	0
Recuperación Au	%	0
Recuperación Ag	%	0
Recuperación Cu	%	0
Recuperación Masa	%	0
Cp concentrado	%	0
G.E.		0
Hidrociclón		
% descarga a Celda Flash / Molino	%	0
Espesador		
Utilización	%	0
Cp Descarga Espesador	%	0
Tolva de Concentrado		
Cp descarga tolva	%	0

SIMBOLOGIA DE COLORES	
Dato de entrada	

Tabla Anexo B-2. Página de ingreso de criterios de diseño Sección 2: Flotación

FLOTACION CONVENCIONAL		
Criterios de Diseño		
		Utilizado
Criterios Generales		
Días/año operación	días	0
Horas/día operación	hrs	0
Utilización	%	0
Flotación Rougher		
Recuperación en masa	%	0
Recuperación de Au	%	0
Recuperación de Ag	%	0
Recuperación de Cu	%	0
Cp de alimentación	%	0
G.E. alimentación		0
G.E. Concentrado		0
Cp Concentrado Labio	%	0
Cp Concentrado Diluido	%	0
Cp Relave Rougher	%	0
Remolienda		
Cp Alimentación Molino	%	0
CC Remolienda	%	0
Flotación Cleaner-Scavenger		
Recuperación en masa	%	0
Recuperación de Au	%	0
Recuperación de Ag	%	0
Recuperación de Cu	%	0
G.E. Concentrado cleaner Final		0
G.E. Concentrado Scavenger		0
Cp Concentrado Cleaner Final Labio	%	0
Cp Concentrado Cleaner Final Diluido	%	0
Cp Concentrado Scavenger Final Labio	%	0
Cp Concentrado Scavenger Final Diluido	%	0
Cp Relave Scavenger	%	0
Recuperación flotación scavenger Au	%	0
Recuperación flotación scavenger Ag	%	0
Recuperación flotación scavenger Cu	%	0
Ley de Au Concentrado Scavenger	%	0
Espesador de relaves		
Utilización	%	0
Cp descarga	%	0
Cantidad de espesadores	cant.	0
Agua de sello de bombas	m3/d	0
Floculante	kg/t	0
Cp alimentación floculante	%	0
Espesador de Concentrado		
Utilización	%	0
Cp descarga	%	0
Cantidad de espesadores	cant.	0
Agua de sello de bombas	m3/d	0
Floculante	kg/t	0
Cp alimentación floculante	%	0
Filtro de Concentrado		
Utilización	%	0
Cp descarga	%	0

SIMBOLOGIA DE COLORES	
Dato de entrada	

Tabla Anexo B-3. Página de ingreso de criterios de diseño Sección 3: Oxidación

OXIDACIÓN Criterios de Diseño		
		Usado
Operación		
Utilización	%	0
días/año operación	días	0
Horas/día operación	hrs	0
Acidificación y CCD		
Utilización	%	0
Utilización CCD		0
Cp		0
Consumo H2SO4	kg/t	0
Pérdida de masa Acidificación	%	0
Cp en descarga	%	0
Razón de agua de lavado		0
Eficiencia de lavado	%	0
Oxidación de S	%	0
Disolución de Au	%	0
Disolución de Ag	%	0
Disolución de Cu	%	0
Consumo de Floculante	g/t	0
Concentración de Floculante en alimentación	g/l	0
POX y CCD		
Utilización	%	0
Utilización CCD	%	0
Utilización filtro		0
Cp Descarga POX	%	0
Razón estequiométrica S/H2SO4		0
Generación de H2SO4	kg/t sol	0
Pérdida de masa (POX)	%	0
Consumo de O2 (96 - 98% pureza)	t/tconc	0
Cp descarga CCD	%	0
Razón de agua de lavado		0
Eficiencia de lavado (Lavado y filtrado)	%	0
Humedad producto filtrado		0
Concentración de ácido	g/m3	0
Neutralización y Espesador		
Utilización	%	0
Consumo CaCO3	kg/t	0
Consumo CaO	kg/t	0
Cp Descarga Espesador	%	0
SX-EW De Cobre		
Utilización	%	0
Recuperación de Au	%	0
Recuperación de Ag	%	0
Recuperación de Cu	%	0
Purga	%	0
Pérdidas de líquido	%	0
Gravedad específica del sólido		
G.E. alimentación		0
G.E. producto acidificación		0
G.E. producto POX		0
G.E. producto Neutralización		0

SIMBOLOGIA DE COLORES	
Dato de entrada	

Tabla Anexo B-4. Página de ingreso de criterios de diseño Sección 4: Cianuración

CIANURACIÓN		
Criterios de Diseño		
Operación		Usado
días/año operación	días	0
Horas/día operación	hrs	0
Cianuración Intensiva		
Utilización	%	0
Cp del proceso	%	0
Disolución Au	%	0
Disolución Ag	%	0
Disolución Cu	%	0
Consumo de CaO	kg/t sol	0
Cp de adición de CaO	%	0
Concentración de NaCN en solución	kg/m3	0
Make Up de NaCN	kg/t	0
Cp de adición de NaCN	%	0
GE mineral alimentado		0
GE Descarga		0
Perdidas de ácido		0
Lavado de sólido		
Utilización	%	0
Cp Descarga lavado	%	0
Utilización Filtro banda	%	0
Floculante	kg/t	0
Cp de adición de Floculante	%	0
Razón de agua de lavado		0
Eficiencia de Lavado	%	0
EW		
Utilización		0
Extracción de Au	%	0
Extracción de Ag	%	0
Extracción de Cu	%	0
Perdidas de solución	%	0
Purgas de solución	%	0
Ley Ag en cátodo	g/t	0
Cianuración Convencional		
GE mineral alimentado desde cianuración Intensiva		0
GE alimentación fresca		0
Utilización	%	0
Cp del proceso	%	0
Consumo de CaO	kg/t sol	0
Cp de adición de CaO	%	0
Concentración de NaCN en solución	kg/m3	0
Make Up de cianuro	kg/t sol	0
Cp de adición de cianuro	%	0
Perdidas de cianuro	%	0
Disolución de Au	%	0
Disolución de Ag	%	0
Disolución de Cu	%	0
GE mineral de descarga		0
Lavado de sólido		
Utilización	%	0
Tasa de lavado	%	0
Eficiencia de Lavado	%	0
Cp producto	%	0
Floculante	kg/t	0
Cp de adición de Floculante	%	0
NaCN Kill		
Utilización	%	0
Consumo SO2	g/g de NaCN	0
Cp de adición de SO2	%	0
Consumo CuSO4	g/g de NaCN	0
Cp de adición de CuSO4	%	0
Consumo CaO	g/g de NaCN	0
Cp de adición de CaO	%	0
Eficiencia de destrucción de cianuro		0
Cp Descarga	%	0
Merrill Crowe		
Utilización	%	0
Recuperación Au	%	0
Recuperación Ag	%	0
Recuperación Cu	%	0
Consumo Polvo de Zn	g/g (Au+Ag)	0
Cp de adición de Polvo de Zn	%	0
Consumo Nitrato de Pb	g/g (Au+Ag)	0
Cp de adición de Nitrato de Pb	%	0
Tierra Diatomea	kg/kg (Au+Ag)	0
Cp de adición de Tierra Diatomea	%	0
Cp en precipitado	%	0
Perdidas de solución	%	0
Fundición		
Utilización	%	0
Eficiencia	%	0
Concentración Au-Ag en Dore	%	0

SIMBOLOGIA DE COLORES	
Dato de entrada	
Valor calculado	

Tabla Anexo B-5. Página de ingreso de criterios de diseño Sección 5: ADR CIP / CIL

ADR CIL		
Criterios de Diseño		
Usado		
Operación		
Utilización	%	0
días/año operación	días	0
Horas/día operación	hrs	0
CIL/CIP Concentrado		
Utilización	%	0
Cp	%	0
Consumo CaO	kg/t sol	0
Concentración NaCN	g/m3	0
Consumo NaCN	kg/t	0
Pérdidas de NaCN	%	0
Make up de NaCN	kg/t	0,0
Disolución Au	%	0
Disolución Ag	%	0
Disolución Cu	%	0
GE sólido		0
CIL/CIP Relaves		
Utilización	%	0
Cp	%	0
Consumo CaO	kg/t sol	0
Concentración NaCN	g/m3	0
Consumo NaCN	kg/t	0
Pérdidas de NaCN	%	0
Make up de NaCN	kg/t (fresco)	0
Disolución Au	%	0
Disolución Ag	%	0
Disolución Cu	%	0
GE sólido		0
Carbón		
Adsorción Au	%	0
Adsorción Ag	%	0
Adsorción Cu	%	0
Carga con Au en CIL/CIP (Concentrado)	g/t	0
Carga con Ag en CIL/CIP (Concentrado)	g/t	0
Carga con Cu en CIL/CIP (Concentrado)	g/t	0
Carga Real de Cu en carbón CIL/CIP de concentrado	g/t	0
Carga con Au en CIL/CIP (Relave)	g/t	0
Carga con Ag en CIL/CIP (Relave)	g/t	0
Carga con Cu en CIL/CIP (Relave)	g/t	0
Carga Real de Cu en carbón CIL/CIP de relave	g/t	0
Separación sólido - líquido		
Utilización	%	0
Cp Descarga Espesador	%	0
Elución (baja T°)		
Utilización Elución global	%	0
Pérdida masa de carbón	%	0
% NaOH Solución	%	0
% NaCN Solución	%	0
Densidad de Carbón	t/m3	0
BV Lavado ácido		0
Extracción de Au	%	0
Extracción de Ag	%	0
Extracción de Cu	%	0
Elución (alta T°)		
BV Elución Au		0
% NaOH Solución	%	0
% NaCN Solución	%	0
Pérdida masa de carbón	%	0
Extracción de Au	%	0
Extracción de Ag	%	0
Extracción de Cu	%	0
Extracción de NaCN	%	0
EW-Fundición		
Utilización	%	0
Pérdida de NaCN	%	0
Recuperación de Au	%	0
Recuperación de Ag	%	0
Recuperación de Cu	%	0
Pérdida de agua	%	0
Purga	%	0
Destrucción de Cianuro		
Utilización	%	0
Consumo de Cal	kg/kg NaCN	0
Consumo de Metabisulfito de Sodio	kg/kg NaCN	0
Consumo de CuSO4	kg/kg NaCN	0
Extracción	%	0
Cp descarga espesador	%	0
GE sólido a disposición de relaves		0
Reactivación de Carbón		
Pérdida de carbón	%	0

SIMBOLOGIA DE COLORES	
Dato de entrada	
Valor calculado	

Tabla Anexo B-6. Página de ingreso de criterios de diseño Sección 6: ADR CIC

ADR CIC Criterios de Diseño		
		Usado
Operación		
días/año operación	días	0
Horas/día operación	hrs	0
CIC		
Utilización	%	0
Densidad de Carbón	g/m3	0
Carga de Au	g/t	0
Carga de Ag	g/t	0
Carga de Cu	g/t	0
Carga real de Cu	g/t	0
Adsorción de Au	%	0
Adsorción de Ag	%	0
Adsorción de Cu	%	0
Pérdidas de NaCN	%	0
SART		
Utilización	%	0
Consumo H2SO4	kg/m3	0
Consumo NaSH	g/g Cu	0
Consumo NaOH	kg/m3	0
Recuperación de NaCN	%	0
Pérdidas de NaCN	%	0
Eficiencia de extracción Cu	%	0
Disolución de Au	%	0
Disolución de Ag	%	0
Disolución de Cu	%	0
Ley de Cu en producto sólido SART	g/t	0
Elución de Cu (a baja T°)		
Utilización de Elución (Cu + Au)	%	0
Pérdida de carbón	%	0
% NaOH Solución	%	0
% NaCN Solución	%	0
Extracción de Cu	%	0
Extracción de Au	%	0
Extracción de Ag	%	0
Solución de elución	BV	0
Elución de Au (Alta T°)		
Eficiencia de re-extracción Au	%	0
Eficiencia de re-extracción Ag	%	0
% NaOH Solución	%	0
% NaCN Solución	%	0
Eficiencia de re-extracción Cu	%	0
Eficiencia de re-extracción NaCN	%	0
Strip Solution	BV	0
Pérdidas de carbón	%	0
EW		
Utilización	%	0
Pérdidas de NaCN	%	0
Extracción de Au	%	0
Extracción de Ag	%	0
Extracción de Cu	%	0
Ley de Ag en Doré	g/t	0
Pérdidas de solución (C/r a alimentación a EW)	%	0
Purgas de solución	%	0
Destrucción de cianuro		
Utilización	%	0
Extracción de NaCN	%	0
Extracción de Au	%	0
Extracción de Ag	%	0
Extracción de Cu	%	0
Consumo de Metabisulfito de Sodio	kg/kg NaCN	0
Consumo de CuSO4	kg/kg NaCN	0
Consumo de Cal	kg/kg NaCN	0
Reactivación de Carbón		
Pérdidas de carbón	%	0
Fundición		
Utilización	%	0
Recuperación de Au	%	0
Recuperación de Ag	%	0
Recuperación de Cu	%	0

SIMBOLOGIA DE COLORES	
Dato de entrada	
Valor calculado	

Anexo C:
Diagrama de flujos y balances de aguas secciones.

En el siguiente Anexo, se presentan los balances de agua para las distintas secciones del diagrama de flujos general.

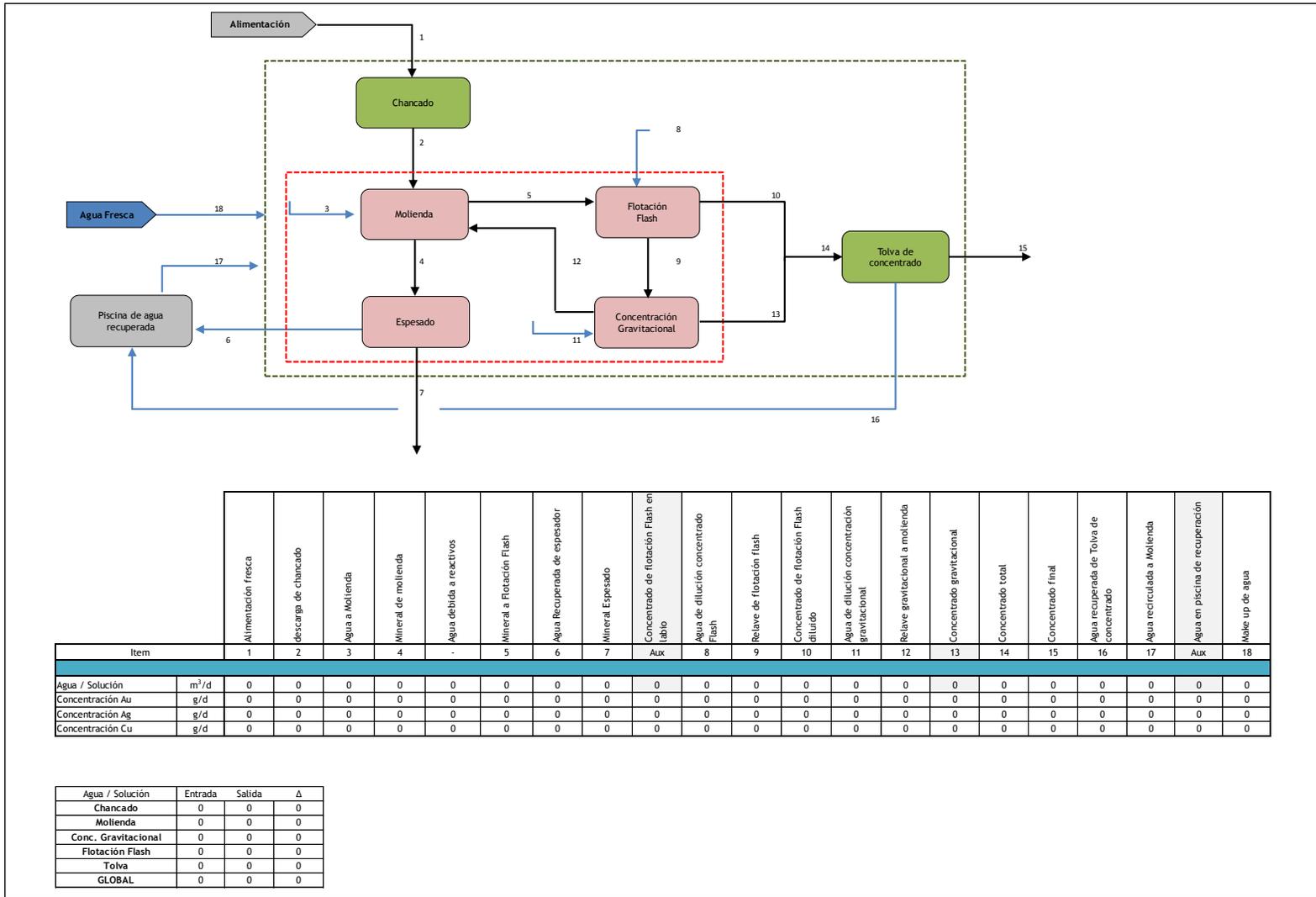


Figura Anexo C-1. Diagrama de flujos sección conminución

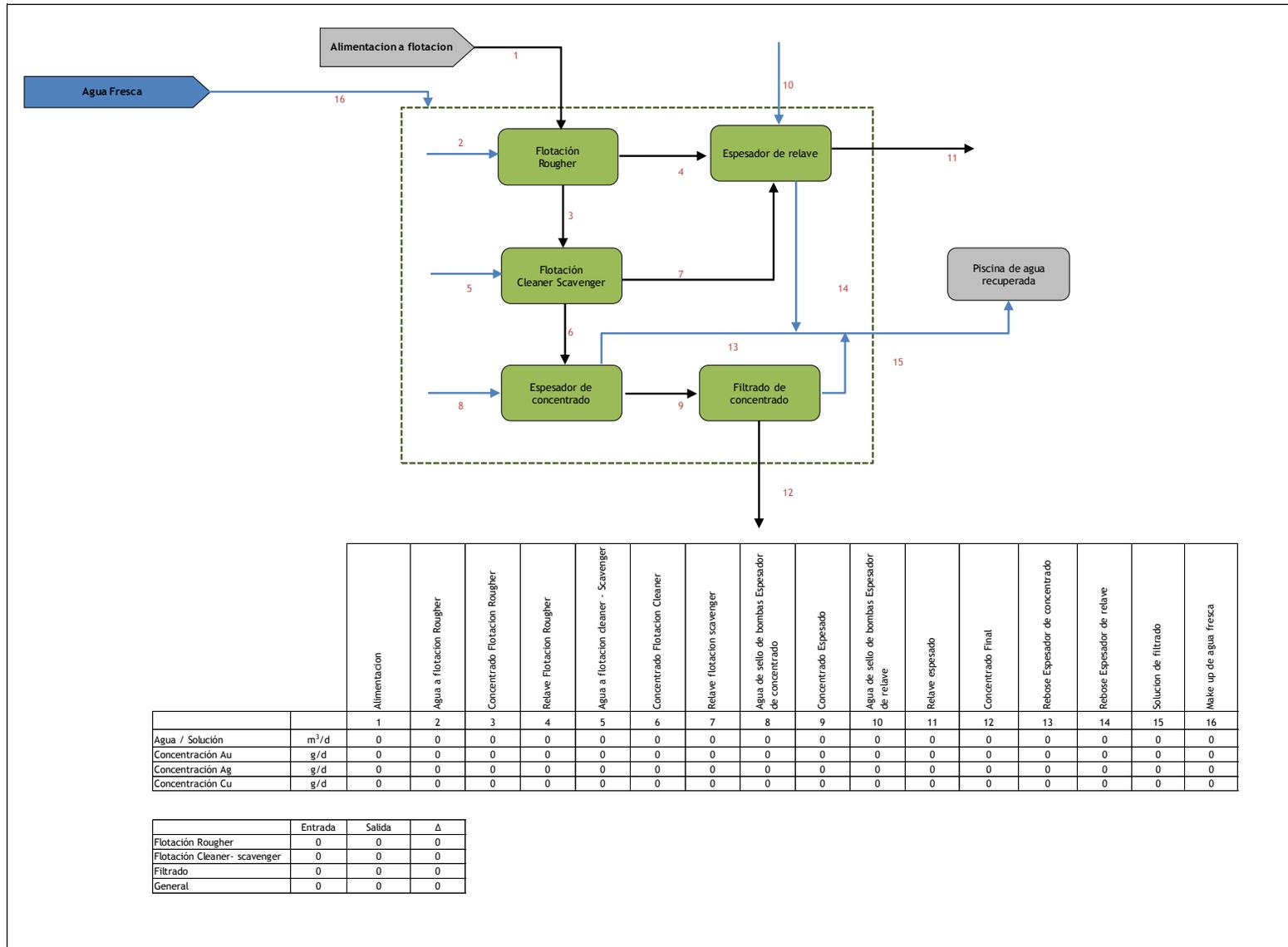


Figura Anexo C-2. Diagrama de flujos sección Flotación

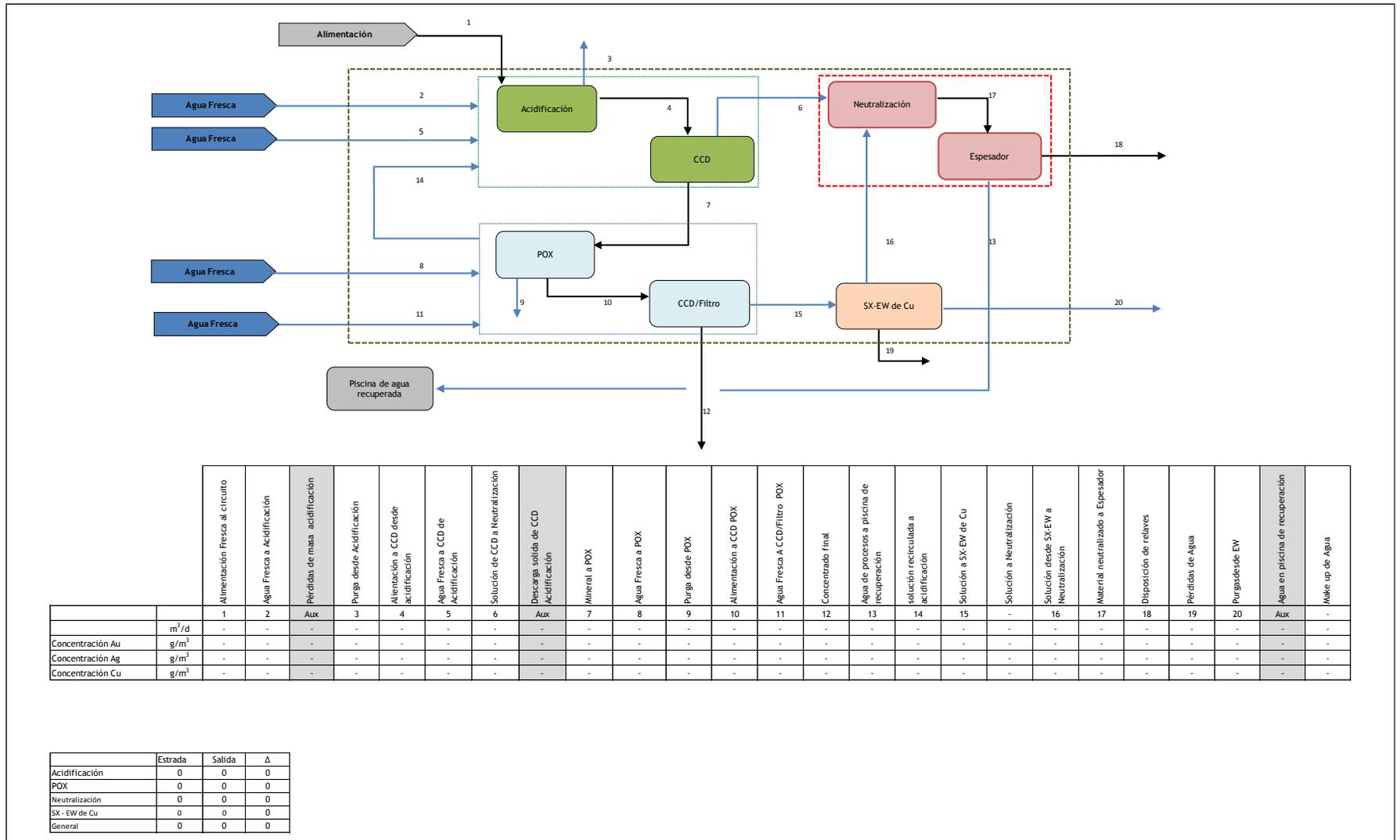


Figura Anexo C-3. Diagrama de flujos sección acidificación – oxidación SX-EW de Cu

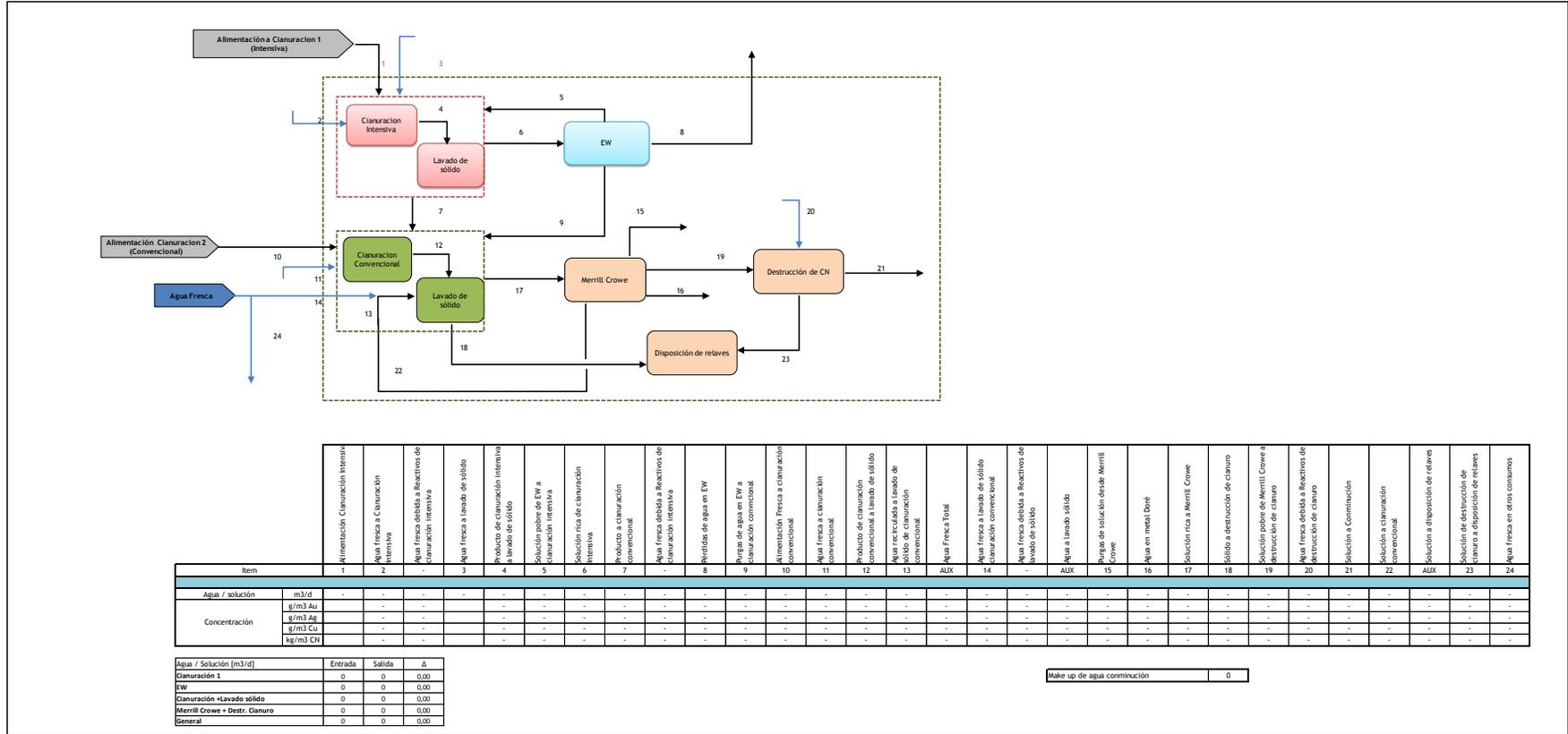


Figura Anexo C-4. Diagrama de flujos sección cianuración

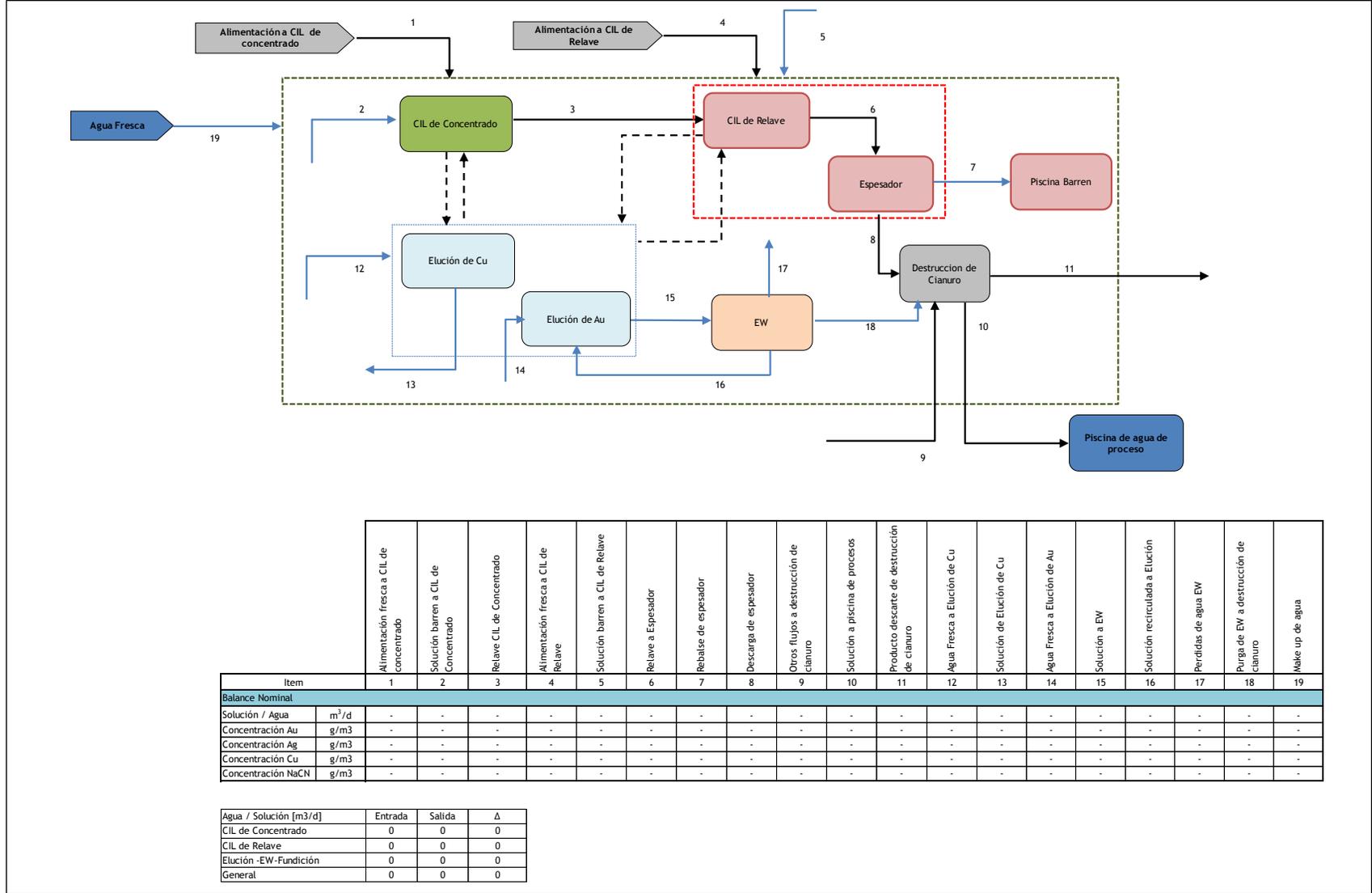


Figura Anexo C-5. Diagrama de flujos sección ADR CIL/CIP

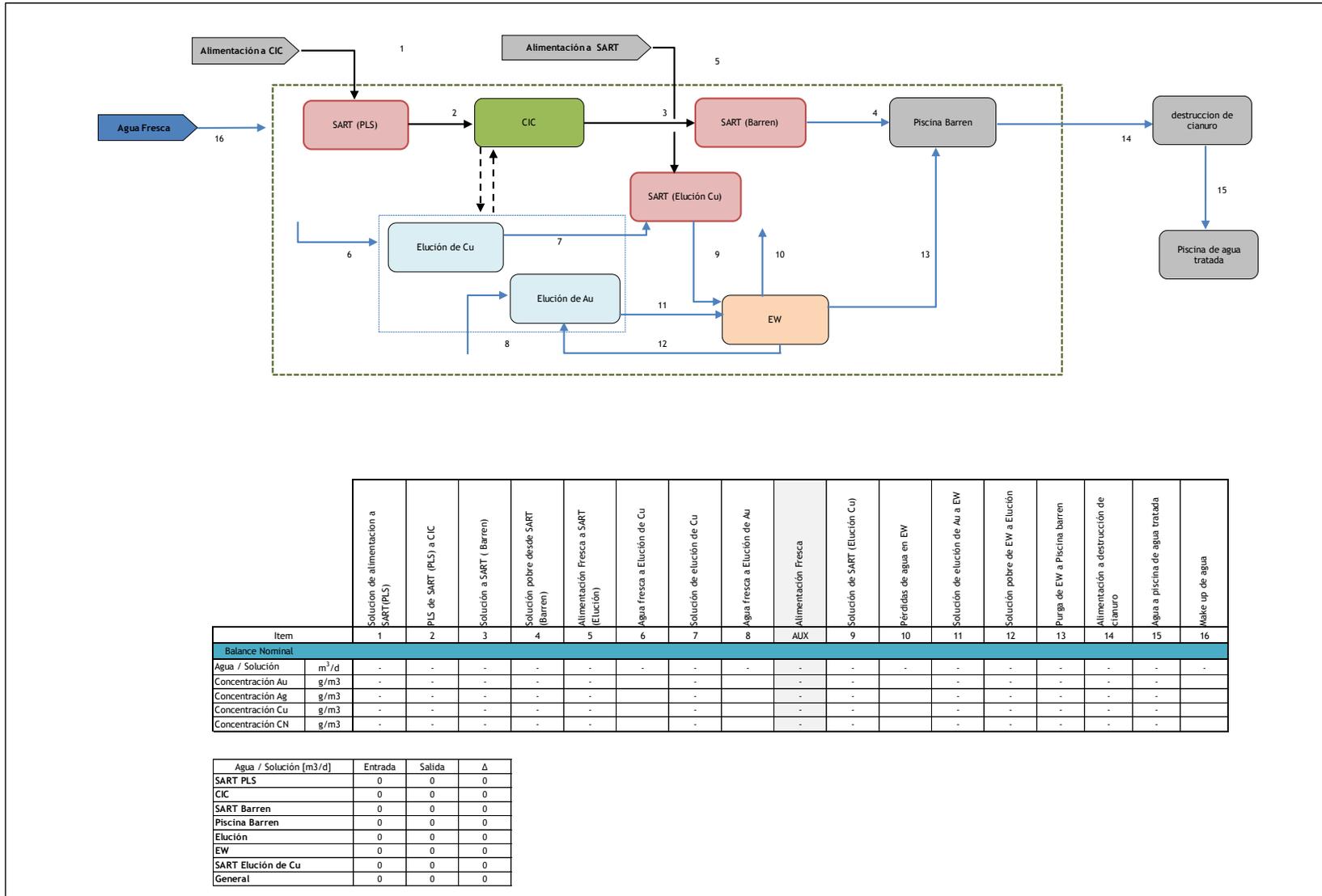
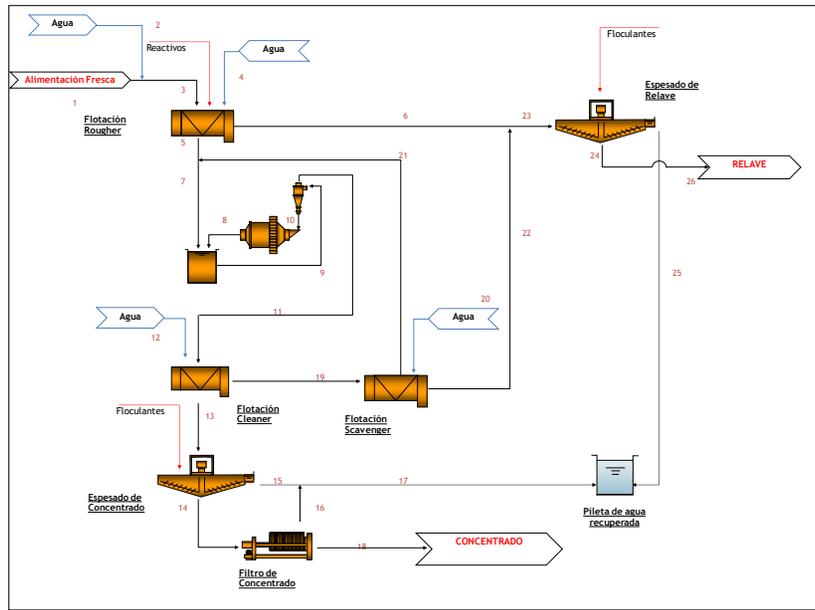


Figura Anexo C-6. Diagrama de flujos sección ADR CIC

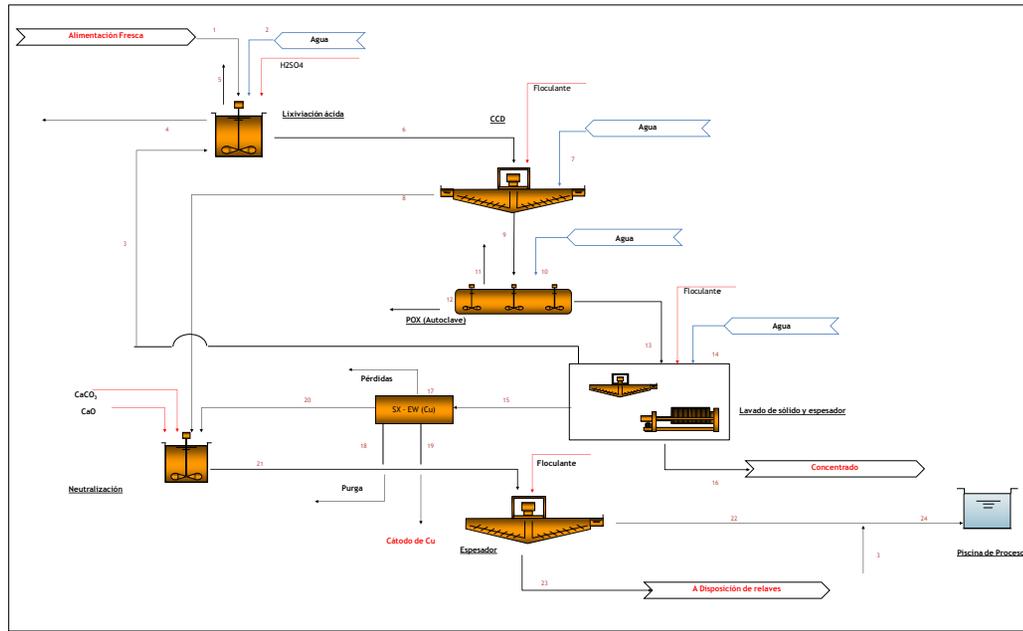
Anexo D:
Diagrama de flujos y balances de materiales secciones

A continuación se presentan los balances de materiales junto a los diagramas de flujo de las distintas secciones del simulador, descritas anteriormente.



Item	1	2	3	AUX	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	AUX	18	16	17	AUX	19	Aux	20	21	22	23	24	25	AUX	26
Flujo Sólido	tpd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	tph	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ley	g/l Au	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	g/l Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Finos	g/d Au	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	g/d Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Solución	m ³ /d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	m ³ /h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Floculante	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	kg/d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pulpa	tpd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	m ³ /d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Densidad de pulpa	tph	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	m ³ /h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G.E	t/m ³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

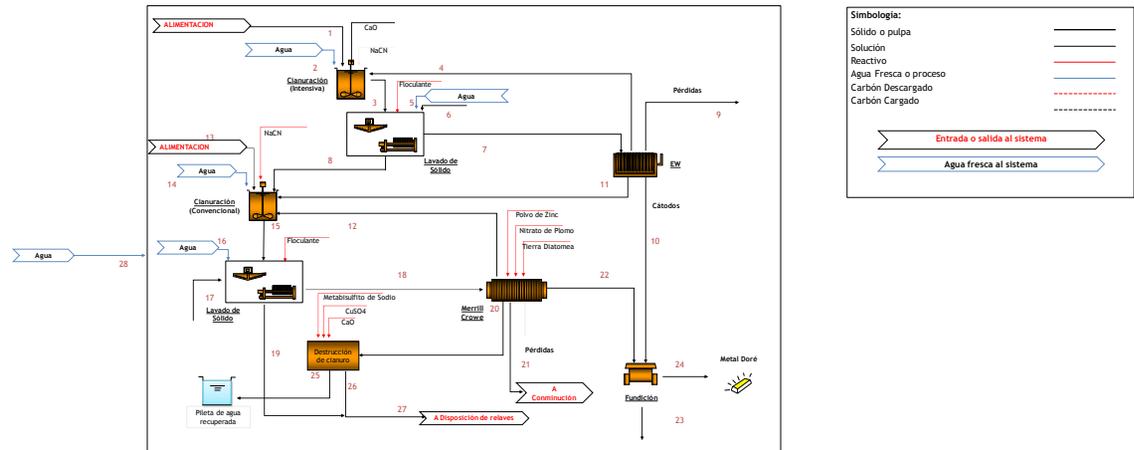
Figura Anexo D-2. Diagrama de flujos sección Flotación



Item	Unidad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	24
Balance de masa:																										
Sólido	ton																									
Ley	g/g Au																									
	g/g Cu																									
Finos	g/g Au																									
	g/g Cu																									
Solución	g/g																									
	mg/h																									
Concentración	g/m ³ Au																									
	g/m ³ Cu																									
Finos	g/g Au																									
	g/g Cu																									
H ₂ SO ₄	kg/m ³																									
	kg/m ³																									
Floculante	g/m ³																									
	g/m ³																									
O ₂	kg/d																									
	kg/d																									
CaO	kg/m ³																									
	kg/m ³																									
CaCO ₃	kg/m ³																									
	kg/m ³																									
Cp	kg																									
	kg																									
Pulpa	m ³ /g																									
	kg/h																									
Densidad de pulpa	m ³ /h																									
	t/m ³																									
GCE																										

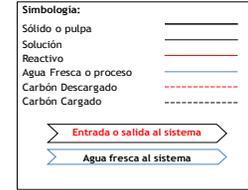
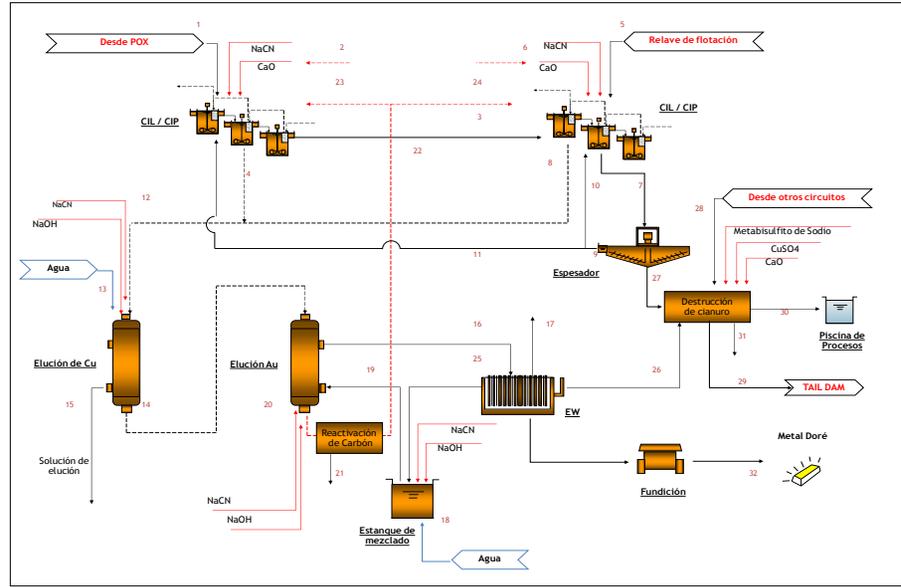
Programa de operación	
Alimentación, ton	0
Desf. Au	0
Desf. / Cu	0
Tiempo de operación (h)	
Acidificación	0
Lavado sólido (acidificación)	0
Desf.	0
Lavado sólido (POX)	0
Filtro	0
Ca. Vertice	0
Neutralización	0
Espesador	0

Figura Anexo D-3. Diagrama de flujos sección acidificación – oxidación SX-EW de Cu



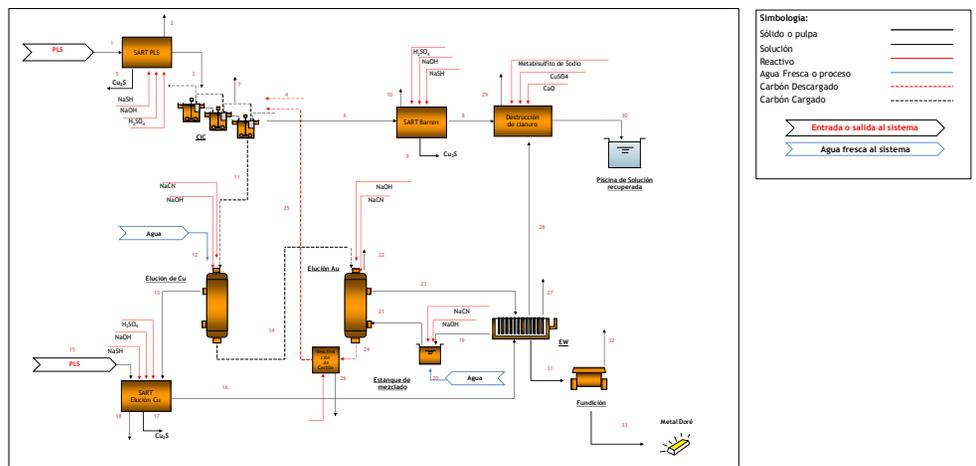
Item	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Balance Nominal																												
Sólido	t/d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	t/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ley	g/T Au	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	g/T Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pinos	g/d Au	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	g/d Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua / Solución	g/d Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	m ³ /d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Concentración	g/m ³ Au	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	g/m ³ Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pinos	g/d Au	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	g/d Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reactivos	kg/d NaCN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	kg/d NaCN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	kg/d CaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	kg/d Floculante	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	kg/d SO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	kg/d CuSO ₄	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gp	kg Nitrato de Zinc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	kg Tierra diatomea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pulpa	t/d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	m ³ /d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	m ³ /h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Densidad de pulpa	t/m ³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G.L.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura Anexo D-4. Diagrama de flujos sección cianuración



Item	Descripción	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32						
Nominal Balance																																							
Sólido / Carbon	t/d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
	g/d Au	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Ley	g/t Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
	g/t Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Finos	g/d Au	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	g/d Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Solución	m ³ /d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	g/m ³ Au	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Concentración	g/m ³ Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	g/m ³ Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Finos	g/m ³ NaCN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	g/d Au	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Reactivos	g/d Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	g/d Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cp	kg/d NaCN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	kg/d NaOH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pulpa	kg/d CaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	kg/t Carbon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Densidad de pulpa	kg/d H ₂ S ₂ O ₈	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	kg/d CuSO ₄	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G.E.	t/d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	m ³ /d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G.E.	t/d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	m ³ /d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura Anexo D-5. Diagrama de flujos sección ADR CIL/CIP



Item	Unidad	1	2	3	4	5	6	7	AUX	8	9	10	11	12	13	14	15	AUX	16	17	18	19	20	21	22	23	AUX	24	25	26	AUX	27	28	AUX	29	30	31	32	33	
Balace Normale																																								
Carbon	ton	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	g/t Au	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ley	g/t Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	g/t Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Finos	g/d Au	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	g/d Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo	m ³ /h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	m ³ /d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reactivos	kg/d NiCl ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	kg/d NaOH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	kg/d Na ₂ SO ₄	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	kg/d CaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Concentración	kg/d NiCl ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	g/m ³ Au	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	g/m ³ Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Finos	g/d Au	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	g/d Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	g/d Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
g/d NiCl ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

Figura Anexo D-6. Diagrama de flujos sección ADR CIC