



Universidad Católica del Norte
ver más allá



Facultad de Economía y Administración
Dirección de Postgrado

EVALUACION TECNICO - ECONOMICA Y FINANCIERA PROYECTO LIXIVIACIÓN SECUNDARIA DE MINERALES SUPERGENOS

*Proyecto de Titulación presentado para optar al grado de
Magíster en Gestión Minera.*

Profesor Guía: Fernando Álvarez.

**Guillermo Cancino C.
Luis Vergara P.
Rodrigo Zambra B.**

Antofagasta, Noviembre de 2011.

INDICE

I.-	Resumen.....	3
II.-	Introducción.....	4
III.-	Desarrollo del Proyecto.....	6
3.1	Antecedentes Generales.....	6
3.1.1	Mercado del Cobre.....	6
3.1.2	Descripción de Faena.....	10
3.2	Marco Teórico.....	12
3.3	Ingeniería (aspectos fundamentales del proceso).....	24
3.4	Evaluación Técnica.....	27
3.4.1.	Pruebas Piloto.....	27
3.4.2	Pruebas Industrial.....	29
3.5	Aspectos Fundamentales de estudio de Ingeniería.....	35
3.6	Evaluación Económica.....	47
3.6.1	Inversión.....	47
3.6.2	Parámetros operativos.....	47
3.6.3	Costo de Operación.....	48
3.6.4	Flujo de Caja.....	49
IV.-	Discusiones.....	50
4.1	Análisis de Resultados.....	50
4.1.1	Análisis técnico.....	50
4.1.2	Análisis Económico.....	52
4.2	Análisis de Riego.....	54
V.-	Conclusiones.....	58
VI.-	Bibliografías.....	61
VII.-	Anexos.....	62
	Anexo N 1: Diagrama Procesos.....	62
	Anexo N 2: Prueba Industrial.....	63
	Anexo N 3: Lay out Proyecto Ripios.....	65
	Anexo N 4: Secuencia de extracción y descarga Proyecto Ripios.....	66
	Anexo N 5: Carta Gantt Fase de ejecución Proyecto Ripios.....	70
	Anexo N 6: Detalle de Inversión Proyecto Ripios.....	71
	Anexo N 7: Evaluación de riegos.....	74

I.- Resumen

El presente estudio presenta el desarrollo básico del Proyecto de lixiviación secundaria, a partir de la relixiviación de ripios de la lixiviación primaria de minerales sulfurados con enriquecimiento secundario, y que han sido acumulados en dos botaderos a través de los años. Los recursos de cobre contenido en el ripio alcanzan las 120 Mton, con una ley media de 0,245% en cobre soluble. Las pruebas tanto pilotos como industriales nos dieron como resultado una recuperación por sobre el 37% con respecto al cobre soluble.

Para la implementación de este proyecto se ejecutó una ingeniería básica avanzada bajo el concepto de fast track, debido a problemas actuales de producción de la faena minera.

El estudio técnico/económico realizado tiene por objetivo general es desarrollar de forma global el análisis de rentabilidad y financiero del proyecto sumado al análisis técnico y de ingeniería, para un análisis de riesgo de mayor calidad que permita concluir en la viabilidad real del proyecto.

Las principales conclusiones del estudio presentado son:

- La recuperación de Cu soluble es de 37%, bajo condiciones actuales de operación.
- Existe dos riesgos asociados a la implementación del proyecto, los cuales son: tiempo de entrega de equipos y la capacidad de campamento de faena.
- El análisis de rentabilidad del proyecto da un VAN de 10MUS\$ aprox. con una TIR de 45%. Concluyendo en que el proyecto es rentable.
- El índice IVAN para el proyecto arrojó un valor de 0,8, lo cual se traduce en que el proyecto es rentable, pero no es eficiente en cuanto a su análisis de financiero.
- El análisis de sensibilidad para la tarifa de transporte de ripios, concluimos que existe un margen en el precio, que el proyecto puede adsorber sin dejar de ser rentable el negocio. Precio de equilibrio con respecto a VAN=0; 1,25 US\$/ton.
- El análisis de sensibilidad del proyecto con respecto al precio del Cu, arroja un precio de equilibrio para VAN=0 de 2,41 US\$/lb de Cu. Basado en el precio futuro del cobre (2,5 US\$/ton) definido por la compañía, concluimos que existe un riesgo alto asociado al precio, lo cual eleva los riesgos financieros del proyecto.
- El análisis de riesgo del proyecto para las distintas actividades, define al proyecto como de alto riesgo, debido principalmente a la ejecución del proyecto.
- Como conclusión general del proyecto no recomendamos ser ejecutado esta iniciativa, principalmente por los riesgos asociados al cumplimiento de los tiempos de implementación y a su poca eficiencia financiera en los resultados de rentabilidad asociados a este estudio.

II.- Introducción

La evolución que ha venido mostrando el sector de la minería en los últimos años y particularmente el crecimiento sostenido que ha tenido el precio de algunos productos como el cobre, oro, hierro y otros, ha significado que yacimientos marginales en recursos que se mantuvieron cerrados por un largo periodo de tiempo se hayan reabierto debido a estas condiciones más favorables. Sumado a lo anterior, existen recursos en las actuales mineras que en tiempos pasados eran imposibles ser tratados por ser recursos de baja rentabilidad.

El fenómeno de altos precios y la necesidad de hacer más rentables los recursos marginales, obliga a las empresas del sector minero a realizar esfuerzos importantes por hacer sus operaciones más eficientes y ajustar sus estructuras de costo, además de poder estar cubierto para enfrentar las posibles volatilidades en precios. En este sentido, la exploración de nuevas reservas, la optimización de procesos y el control de la gestión, aparecen como desafíos permanentes.

Ahora bien, bajo el escenario de precios históricos del cobre, y en conjunto con la necesidad de apoyar la producción con recursos externos a mina, que puedan agregar valor al negocio productivo de cátodos de cobre, nace la necesidad de reprocesar los ripios primarios de la biolixiviación realizada en faena desde sus inicios, mediante la lixiviación secundaria del mineral supérgeno. Los recursos cuantificados en planta arrojan las siguientes cifras:

Tabla 2.1: Reservas consideradas para el proyecto.

Ripios	120,000,000	TMH
Humedad	7	%
Ley Media Cu Soluble	0.245	%
Cu fino Soluble	293,794	Ton Cu

Fuente: Elaboración propia a partir de datos estadísticos.

El proyecto de tratamiento de estos ripios contempla dos fases:

Fase I: Lixiviación de ripios en pilas dinámicas, con recuperación en cobre soluble de un 38%. A desarrollarse en los años 2011 al 2013.

Fase II: Lixiviación de ripios con alternativas de procesos en pilas estáticas con mezcla de mineral fresco/ripios o ripios aglomerados. Para estas alternativas se han realizado distintas pruebas en laboratorio arrojando recuperaciones en Cobre soluble por sobre 60%. A desarrollarse desde 2014 en adelante.

La fase II del proyecto es conceptualizada bajo el objetivo de apoyar los recursos supérgenos en estudios, y que apoya los recursos mineros actuales declarados en el plan de Life of Mine para extender la vida útil de la producción catódica al año 2020. Esta fase del proyecto se encuentra fuera del alcance de este estudio.

El estudio técnico/económico realizado tiene por objetivo general es desarrollar de forma global el análisis de rentabilidad y financiero del proyecto sumado al análisis técnico y de ingeniería, para un análisis de riesgo de mayor calidad que permita concluir en la viabilidad real del proyecto.

Los objetivos específicos del estudio son:

- Revisión de resultados metalúrgicos
- Análisis técnico de la ingeniería
- Análisis económico del proyecto
- Sensibilización de costo crítico
- Análisis de riesgo Integral del proyecto

Sin embargo, para dar el paso final en este desafío, es necesario contar con una evaluación técnica y financiera, iniciativa planteada en esta tesis, para lo cual se plantea el siguiente esquema de trabajo: Capítulo III Desarrollo del Proyecto, donde presentamos los antecedentes teóricos y de ingeniería, la evaluación técnica/económica y aspectos fundamentales de la ingeniería. Capítulo IV Discusiones del análisis de resultados tanto técnico como económico y un análisis de riegos para la toma de decisiones, para terminar en el capítulo V con las conclusiones del estudio.

III.- Desarrollo del Proyecto

3.1 Antecedentes Generales

El proyecto ripios como filosofía de proceso consiste en una lixiviación secundaria (lavado) de los ripios acumulados durante la vida útil de faena en el botadero sur de ripios, los cuales serán remanejados para ser depositados en forma de pilas dinámicas y lixiviados en un periodo de 45 días, para luego nuevamente ser depositados en un botadero final de disposición de ripios.

Para ello el proyecto contempla la construcción de una pila dinámica impermeabilizada, sistema de bombeo, instrumentación, subestaciones eléctricas, sistema recolección de soluciones, etc. (ver anexo 1).

El proyecto a continuación a presentar se sostiene debido a los altos precios del cobre actualmente, por lo anterior revisaremos en forma genérica el mercado del cobre.

3.1.1 Mercado del Cobre

Actualmente el precio del cobre ha roto tendencias históricas hacia el aumento de su precio, principalmente por economías emergentes que han mantenido alta su demanda por sobre grandes crisis como la vivida el año 2008 (sub prime) y la actual en la unión europea.

Durante el año 2010, observamos como las economías emergentes y algunas economías industrializadas de Asia, retomaron rápidamente la senda de crecimiento, con niveles de producción que en algunos casos superó a los alcanzados previo a la crisis. Asimismo, se desprende que la recuperación ha sido más lenta que en la primera mitad del año. Esto a medida que se desvanece el impacto de algunos factores que la propiciaron como el ciclo de existencias y los estímulos fiscales. En las economías avanzadas, el desempeño económico ha sido más moderado, mientras que en las

economías emergentes, sigue siendo vigoroso, pese a que se ha tendido a suavizar en los últimos meses, respecto de 2010, aunque las tasas de crecimiento continuarían elevadas.

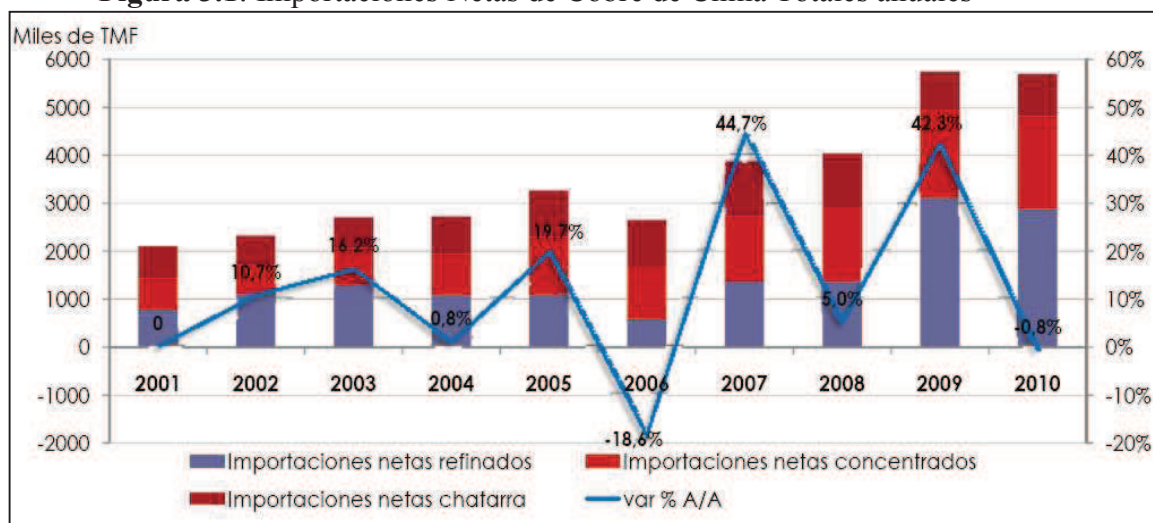
Tabla 3.1: Evolución y Perspectivas de la Actividad Económica
Índice de Gestión de Compras y Producción Industrial.

	2010 (p)	2011 (e)	2012(e)
China	15,5	13,8	13,5
EE.UU	5,6	4,2	4,2
Japón	15,9	1,0	5,3
Zona Euro	6,6	3,6	3,2

Fuente: Informe Tendencias Mercado del Cobre 2011-2012, Cochilco.

La demanda por cobre en China se ha mantenido alta debido al fuerte nivel de importaciones totales. Éstas muestran tan solo una ligera contracción de 0,8% interanualmente, teniendo en consideración el histórico nivel de internaciones del año 2009.

Figura 3.1: Importaciones Netas de Cobre de China Totales anuales

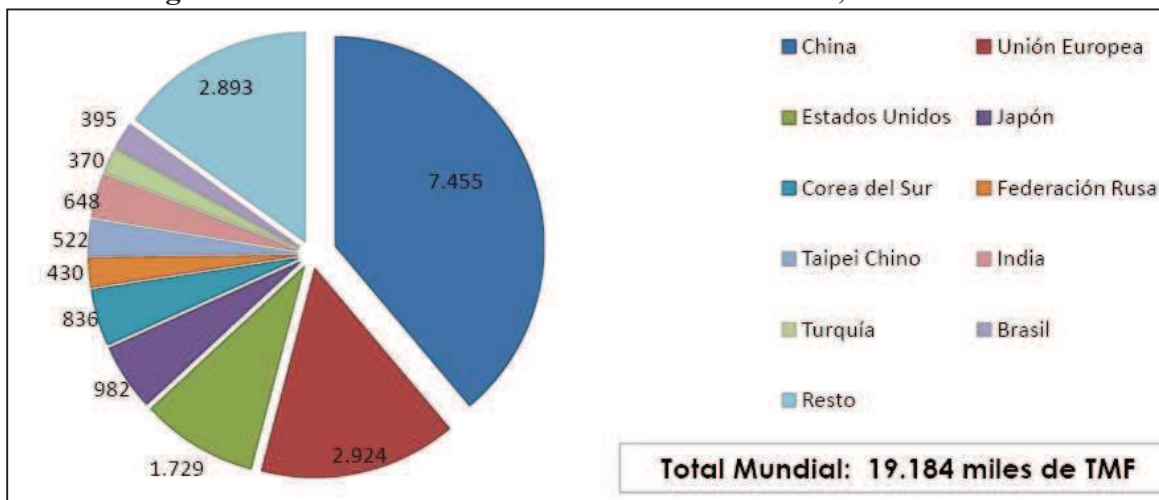


Fuente: Informe Tendencias Mercado del Cobre 2011-2012, Cochilco.

La demanda de cobre refinado el año 2010 llegó a 19,2 millones de TM, subiendo 5,9%. En el año 2011, la demanda alcanzaría a cerca de 20,2 millones de TM., de las

cuales China explicaría alrededor de 7,9 millones de TM (esto es un 40% del total), seguida de la Zona Euro (3,1 millones de TM) y EE.UU. (1,70 millones de TM).

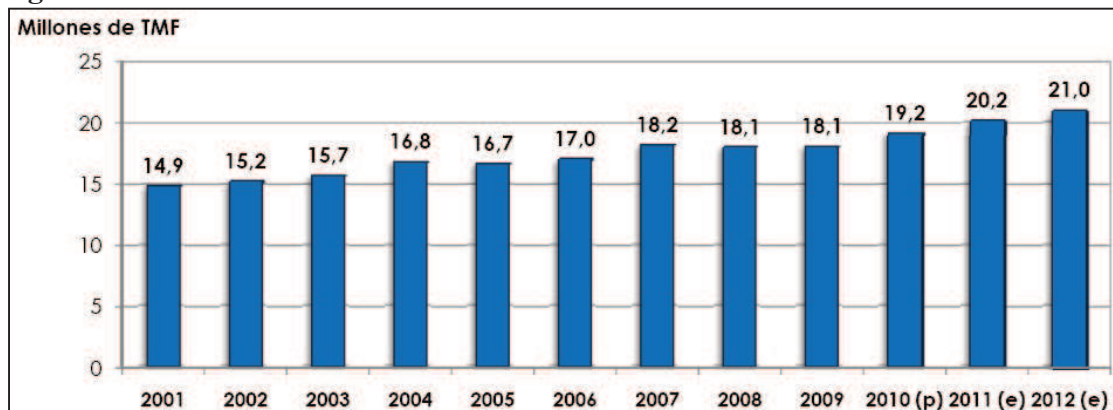
Figura 3.2: Consumo Mundial de cobre refinado 2010, Miles de TMF



Fuente: Informe Tendencias Mercado del Cobre 2011-2012, Cochilco.

Para el año 2011, se espera que la demanda continúe su tendencia positiva, aunque a una tasa ligeramente menor (5,3%), esto ya que el repunte de la demanda china estaría acompañada de alzas más suaves que el resto de los principales países consumidores. Para 2012, se espera una prolongación del buen desempeño de la demanda (4,2%), y la moderación del consumo de China se compensaría con la mayor demanda de varias economías emergentes.

Figura 3.3: Demanda de cobre refinado Millones de TMF anuales. Periodo 2001 – 2012.

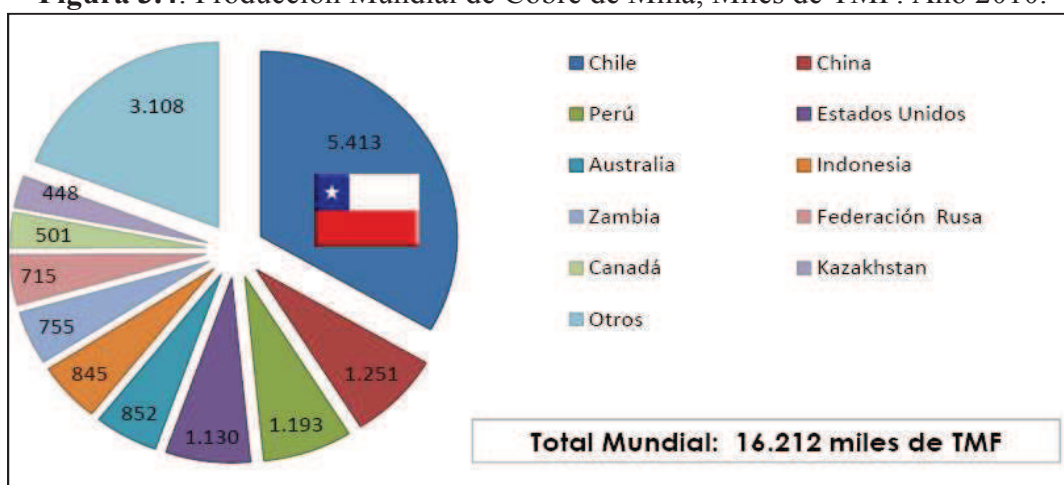


Fuente: Informe Tendencias Mercado del Cobre 2011-2012, Cochilco.

La demanda de cobre en el 2010 creció en cerca de 1 millón TM. La demanda aparente de China explica casi un tercio de este incremento, por lo que a pesar de su moderación continúa siendo el motor de consumo del metal. Para el 2011 se espera que la demanda de China se incremente en 447 miles de TM, mientras que para 2012 el consumo del gigante asiático seguiría creciendo pero a un ritmo más moderado.

Por el lado de la oferta, la producción mundial de cobre de mina el año 2010 llegó a 16,2 millones de TMF, mostrando un crecimiento moderado de 1,3%. En el año 2011 llegaría a 16,5 millones de TMF (+2,1%) y en 2012 a 17,1 millones de TMF (+3,1%). Los principales productores el año 2010 fueron Chile (33,4%), China (7,7%) y Perú (7,4%).

Figura 3.4: Producción Mundial de Cobre de Mina, Miles de TMF. Año 2010.



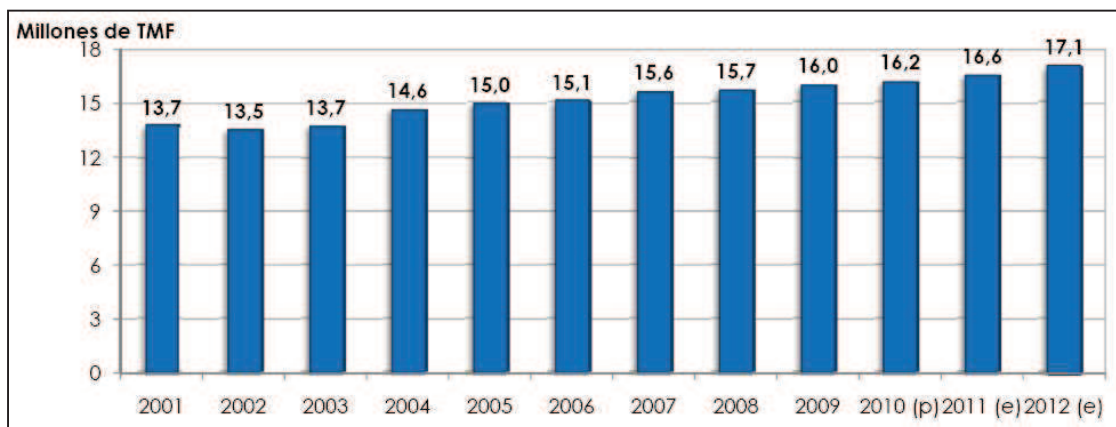
Fuente: Informe Tendencias Mercado del Cobre 2011-2012, Cochilco.

De este modo (ver figura 3.5), para el período 2010-2012 la producción de cobre de mina crecería en casi 1,1 millones de TMF, con una tendencia positiva que se esperaría se fortalezca en los años siguientes, toda vez que ya se habrían superado los efectos de la crisis económica en la cartera de proyectos y que se estarían enfrentando mejores condiciones de mercado.

El año 2011, estaría marcado por aumentos sustantivos en Chile (Esperanza, Andina, Pelambres, Escondida), Zambia (Konkola Deep, Kansanshi, Lumwana), México

(Cananea) y RD Congo (Kov Restart y Kinsenvere-Nambulwa). Y una nueva caída en Indonesia (Grasberg y Batu Hijau).

Figura 3.5: Producción Mundial de Cobre de Mina, Miles de TMF.
Periodo 2001 - 2012



Fuente: Informe Tendencias Mercado del Cobre 2011-2012, Cochilco.

En tanto, en 2012 lo más relevante son los aumentos generales a nivel mundial (otros países, especialmente Brasil) y la plena recuperación de Estados Unidos después de la crisis.

En resumen, para el bienio 2011-2012, la característica seguirá siendo una oferta limitada incapaz de seguir el vigoroso ritmo de la demanda.

3.1.2 Descripción de Faena

La faena Minera inicia su operación en 1994, con una operación de Biolixiviación en Pilas de Sulfuros Secundarios de Cobre. El Proceso considera, Etapas de Chancado, Biolixiviación en Pilas, Extracción por Solventes y Electrobtención y su capacidad de diseño era de 75,000 ton/año de cátodos de cobre. Actualmente la producción alcanza los 86.000 ton/año de cátodos de cobre.

Los principales desafíos están en la Biolixiviación en Pilas de Minerales calcosínicos, en condiciones adversas de altura geográfica (4,400 msnm) y de temperatura ambiente (3 °C), a pesar de tener una experiencia exitosa en la biolixiviación por más de 16 años de nuestros minerales secundarios, los cambios en nuestra mineralogía nos han llevado a tener una metodología de mejoramiento continuo en nuestra lixiviación, con el objetivo de obtener la mayor recuperación económica posible.

Una descripción de las operaciones es:

- Inicio Operación en 1994.
- La Litología es principalmente Cuarzo-Monzonita y Brecha Buggy.
- Calcosina es la principal especie portadora de cobre.
- Circuito de Chancado primario, secundario y terciario con capacidad para 6,300 kton/año, con un producto P80 -12 mm.
- Mineral chancado se aglomera en tambores con agua y ácido. Se utiliza agua caliente en aglomeración para mejorar temperatura de mineral apilado.
- El mineral aglomerado se apila en pilas dinámicas con 8 m de altura.
- El refinado a riego pilas, es calentado con calor recuperado de los generadores de planta de energía eléctrica y calentadores a diesel. Se riega con goteros en forma intermitente a una tasa de 10 l/h/m².
- La Planta de SX consta de 3 trenes de configuración 2E +1S. El flujo de solución rica (PLS) es 1200 m³/h.
- La Planta de Electrobtcención consta de 268 celdas con 60 cátodos y 61 ánodos cada una de ellas.

3.2 Marco Teórico

Por hidrometalurgia se entiende los procesos de lixiviación selectiva (disolución) de los componentes valiosos de las menas y su posterior recuperación de la solución por diferentes métodos. El nombre de hidrometalurgia se refiere al empleo generalizado de soluciones acuosas como agente de disolución.

Hay tres principales etapas de los procesos hidrometalúrgicos:

1. Disolución del componente deseado presente en la fase sólida (lixiviación).
2. Concentración y/o purificación de la solución obtenida (extracción por solvente).
3. Precipitación del metal deseado o sus compuestos (electroobtención).

Enfocándonos al aporte del proceso de la lixiviación, actualmente no existe un gran número de estudios diferentes a los conocidos y presentados en la bibliografía existente de minerales lixiviados, bajos las distintas técnicas de la hidrometalurgia del cobre Reghezza (1997).

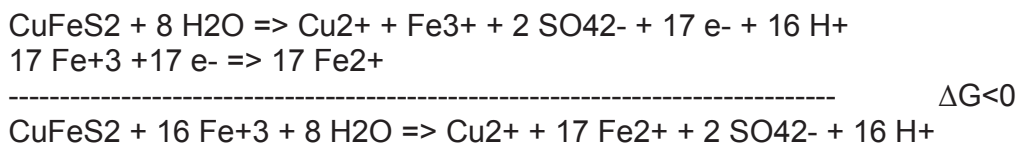
El soporte teórico de este estudio se basa en la biolixiviación ocurrida post retiro del ripio lixiviados en pilas dinámicas y depositados en los respectivos botaderos de ripios, lo cual nos permite tener una biolixiviación por un periodo desconocido, el cual a través del paso del tiempo gracias a la acción del ácido remanente y la actividad bacterial presente, genera una alta sulfatación del cobre no lixiviados en las pilas dinámicas primarias. Martín (1997).

Sumado a lo explicado en el párrafo anterior, la recuperación del cobre soluble presente en estos ripios, es posible bajo las técnicas tradicionales de lixiviación de minerales oxidados bajo solución ácida, considerando la menor concentración de cobre en la solución de riego de ripios, con el objetivo de disminuir el cobre impregnado en los ripios finales. Bajo el objetivo de poder explicar mejor el proceso de lixiviación de

ripios, es necesario recordar los fundamentos cinéticos más que físicos químicos del proceso, esto debido a que para rípios ya lixiviados la disolución prácticamente se encuentra realizada pero debemos optimizar la recuperación de ese cobre presente en forma marginal en el mineral rípio.

El hecho de que una reacción sea termodinámicamente posible ($\Delta G < 0$), no es suficiente para predecir si la reacción va a pasar en una escala de tiempo razonable. Eso depende de la cinética de la reacción. Este factor es muy importante para la concepción y la evaluación de la rentabilidad económica de todos los procesos hidrometalúrgicos. También en las plantas en operación, optimizar la cinética resulta generalmente en un mejoramiento del proceso. Reghezza (1997).

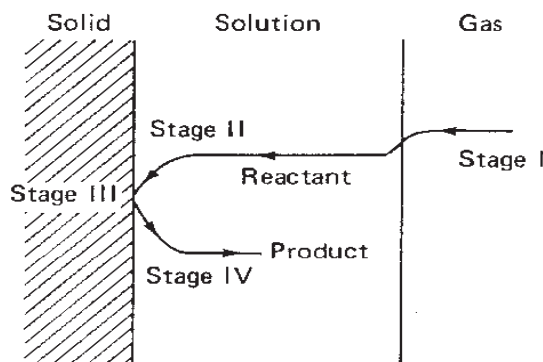
De esta forma, los productos finales de una operación hidrometalurgia van a estar condicionados generalmente por condiciones de tipo cinético. Por ejemplo, la lixiviación de la calcopirita y otros sulfuros con sulfato férrico es termodinámicamente factible (Existen discrepancias respecto a la reacción con sulfato férrico, también ocurre la reacción $\text{CuFeS}_2 + 4 \text{Fe}^{3+} \Rightarrow \text{Cu}^{2+} + 5 \text{Fe}^{3+} + 2 \text{S}^0$):



Pero en la práctica, después de 100 días de lixiviación, sólo se alcanza a poner en solución un 5 % de la calcopirita, 50 % de calcosina y 80% de covelina.

En general, los sistemas hidrometalúrgicos están caracterizados por sistemas heterogéneos, es decir, sus reacciones tienen lugar en una interface en la cual ocurre transferencia de materia de una fase a la otra.

Figura 3.6 Esquema de una reacción de lixiviación con disolución completa del mineral.



Fuente: G. Cáceres, " Hidrometalurgia y Electrometalurgia ", Curso de capacitación,

Las reacciones heterogéneas son controladas por la velocidad de la reacción química propiamente tal o por la transferencia de masa de los diversos reactantes hacia la superficie de contacto de los dos fases. En la figura 3.1. se muestra un modelo simplificado de lixiviación, con disolución completa del mineral. Este caso representa la disolución de especies puras que no forman residuos sólidos como producto de la reacción, tales como el oro en cianuro, la chalcantita en ácido sulfúrico, etc.

Las etapas principales de una reacción son:

- 1.- Transporte de masa de los reactantes gaseosos a través de la interface gas - líquido y posterior disolución (cuando es el caso).
- 2.- Transporte de masa de los reactantes a través de la capa límite solución - sólido, hacia la superficie del sólido.
- 3.- Reacción química o electroquímica en la superficie del sólido, incluyendo adsorción y desorción en la superficie del sólido y/o a través de la doble capa electroquímica.
- 4.- Transporte de masa de las especies producidas a través de la capa límite hacia el seno de la solución.

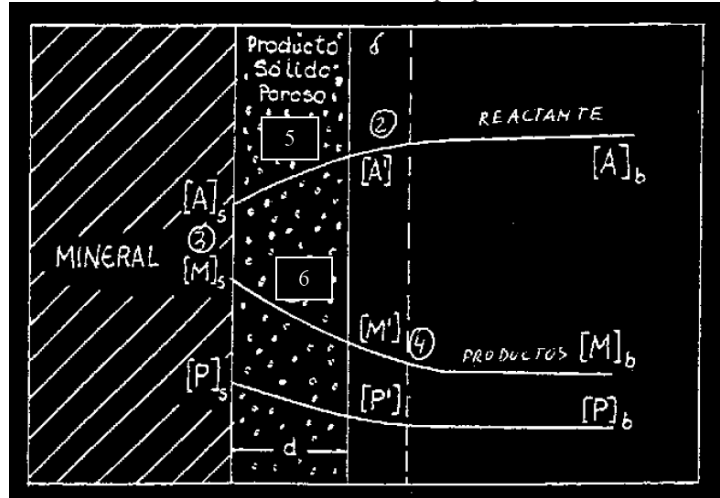
La etapa controlante de una reacción es la de velocidad más lenta (R.D.S.: Rate Determining Step). El control de la reacción global puede ser:

- Por transporte de masa (etapa 1, 2 o 4)
- Por reacción química (etapa 3)
- Mixto

Las reacciones homogéneas son generalmente más rápidas que las reacciones heterogéneas, ya que necesitan transporte de masa en una sola fase y que las especies en solución reaccionan rápidamente. Por otra parte, las reacciones heterogéneas implican el transporte de masa a través del límite entre dos fases, lo que a veces es la etapa controlante de las reacciones. Las reacciones más importantes en hidrometalurgia son heterogéneas, y a veces son controladas por el transporte de masa (difusión). Reghezza (1997).

En la figura 3.7 se muestra un modelo simplificado de lixiviación, con formación de una capa de residuo poroso. Este caso es tal vez el más frecuente en lixiviación. La reacción de disolución de las especies sulfuradas de cobre con iones férricos, corresponde a este caso. La lixiviación de minerales de baja ley, en las que el material estéril o ganga constituye la fracción mayoritaria, puede considerarse también en ese grupo. La "capa" que se forma representa el estéril del mineral, mientras la disolución se propaga hacia el interior de la partícula.

Figura 3.7 Esquema de una reacción de lixiviación con formación de una capa porosa.



Fuente: G. Cáceres, " Hidrometalurgia y Electrometalurgia ", Curso de capacitación,

En este modelo, hay dos etapas adicionales:

- 1.- Difusión del reactivo a través de la capa sólida producida por la reacción (Producto poroso)
- 2.- Transporte de masa de las especies solubles, productos de la reacción, a través de la capa sólida formada, hacia el seno de la solución.

Se puede determinar cuál es la etapa limitante de una reacción estudiando el efecto de las variaciones de las condiciones experimentales en las cuales se desarrolla la reacción, como lo muestra la tabla 3.2:

Tabla 3.2 Pruebas experimentales para determinar la etapa limitante de una reacción sólido-líquido.

Factor	Resultado esperado para		
	Control químico(etapa 3)	Control difusional en los poros (etapa 5)	Control por transporte de masa externo (etapa 2)
Aumento de la velocidad de la fase líquida	Sin efecto	Sin efecto	Aumenta la velocidad de reacción
Energía de activación (E_a)	40 - 400 kJ/mol	5 - 20 kJ/mol	5 - 20 kJ/mol
Cambio de tamaño de las partículas (D)	Si las partículas no son porosas al principio, $v \propto 1/D$. Si las partículas son muy porosas, no influye.	$v \propto 1/D^2$	$v \propto 1/D^n$ donde $1 < n < 2$

Fuente: A. Reghezza I., " Físico-Química de la Hidrometalurgia " 1987.

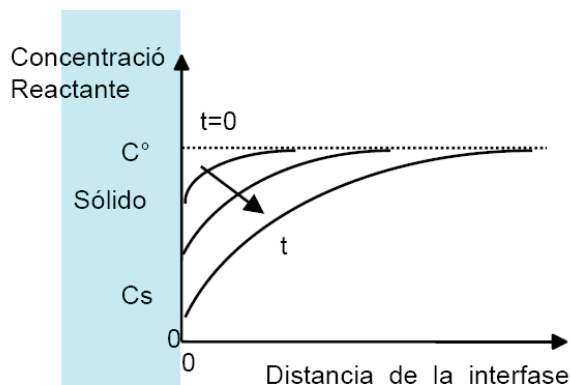
Como se puede apreciar en la tabla 3.2 la lixiviación de ripios (minerales lixiviados con anterioridad), el factor más influyente en la reacción global del procesos es el aumento de la velocidad de la fase líquida, debido a que la lixiviación de ripios es comúnmente controlada por el proceso de difusión.

La difusión en fase homogénea es la etapa limitante más común en una reacción hidrometalurgia. Básicamente, la difusión es un proceso que tiende a igualar concentraciones dentro de una fase. El potencial que provoca la difusión es el gradiente de concentración dentro de la fase, tal como, por ejemplo, el potencial que provoca la transferencia de calor es el gradiente de temperatura.

Cuando empieza una reacción (por ejemplo consumo de un reactante en la superficie de un sólido), un perfil de concentración se desarrolla poco a poco cerca de la interface sólido - líquido (ver fig. 3.8). En reacciones de disolución o precipitación de un sólido, la difusión a través de una zona adyacente a la interface sólido - líquido puede ser controlante de la velocidad. En condiciones de agitación constante, el espesor de esta zona permanece constante y pronto se obtiene una condición de estado estacionario, en la cual la cantidad de material que entra en la zona es igual a la que deja la zona.

V consumo del reactivo = V aporte por difusión

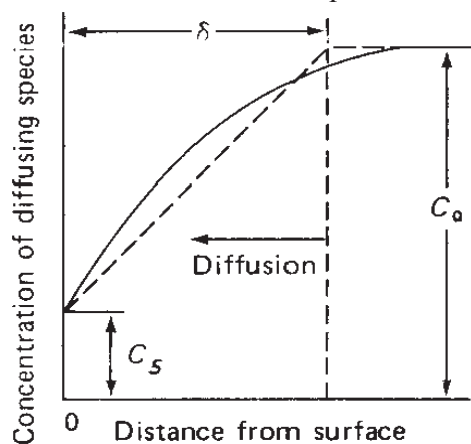
Figura 3.8 Perfil de concentración de un reactante (que se consume) cerca de la interface sólido - líquido en función del tiempo y de la distancia.



Fuente: A. Reghezza I., " Fisico-Química de la Hidrometalurgia " 1987.

La capa de difusión es una delgada capa de líquido adyacente a la interface sólido - líquido y que prácticamente se adhiere al sólido, debido a que es necesario que la velocidad de la solución sea nula en la interface con el sólido. El transporte de masa de especies disueltas a través de esa capa de líquido adherido al sólido se hace por difusión.

Figura 3.9: Gradiente de concentración en la vecindad de una interfase sólido - líquido.



Fuente: A. Reghezza I., " Fisico-Química de la Hidrometalurgia " 1987.

La figura 3.9 representa la capa de difusión adyacente a la superficie del sólido (δx) con la concentración (línea de puntos) variando linealmente. La concentración verdadera se indica por la línea continua, lo que da una idea de las simplificaciones hechas. Si la etapa limitante es la difusión, entonces la especie llega a la superficie y se consume inmediatamente; su concentración es nula en la superficie del sólido.

El transporte de masa a través de la capa de difusión puede ser aumentado:

- 1.- Reduciendo el espesor de la capa de difusión.
- 2.- Aumentando el gradiente de concentración, esto es aumentando la concentración de la solución (C_0).
- 3.- Aumentando la temperatura de la solución.
- 4.- Aumentando la superficie de contacto.

Algunos factores que permiten disminuir el espesor de la capa de difusión depende de la rugosidad del sólido, de la viscosidad de la solución, de la velocidad de agitación y del grado de turbulencia y fuerzas de cizalle.

- δx disminuye cuando aumenta el grado de turbulencia por ejemplo.
Pobre agitación $\Rightarrow \delta x > 0.5 \text{ mm}$ (ej.: lixiviación en pilas)
Buena agitación $\Rightarrow \delta x = \pm 0.01 \text{ mm}$
- Un aumento de temperatura no necesariamente aumenta la velocidad de un proceso global ya que, por ejemplo, la solubilidad de los gases disminuye con la temperatura.

La difusión a través de la capa de sólido que se va formando como producto de la reacción sobre el núcleo reaccionante y/o a través de la capa de partículas inertes es un factor importante en prácticamente todos los procesos heterogéneos. Cuando los poros

son grandes, que es el caso que interesa en sistemas hidrometalúrgicos, es válida la ley de Fick simplificada (F. Habashi 1993).

Si el sistema es bien agitado (agitador, convección,...), el transporte de masa es muy eficiente y no limita la velocidad de la reacción. La solución se considera homogénea (C, pH, etc). Sin embargo, algunos procesos, como la lixiviación en pila, no pueden siempre ser operados para mantener una solución homogénea.

La superficie de reacción aumenta cuando disminuye el tamaño de las partículas. El efecto de la forma de las partículas es poco importante en hidrometalurgia, y muy difícil de modelizar. La reactividad de los granos de minerales es fuertemente afectada por factores tales que orientación cristalina, inclusiones, dislocaciones e impurezas. La velocidad de cualquier reacción aumenta con la porosidad, ya que la difusión es más fácil y/o hay una mayor superficie de reacción.

Otros Minerales que el mineral valioso, si están presentes en la mena, pueden eventualmente consumir los reactivos de lixiviación, disminuyendo sus concentraciones y la velocidad de reacción. Por ejemplo, los carbonatos consumen el ácido sulfúrico en la lixiviación de cobre y los sulfuros consumen el cianuro en la disolución de oro.

Ya teniendo claro los fundamentos cinéticos expresados con anterioridad podemos entrar de lleno en el proceso de lixiviación. En general, la práctica industrial de la lixiviación presenta diferentes sistemas de operación que se seleccionan de acuerdo a factores técnicos y económicos en el análisis de un proyecto, algunos de los cuales son:

- Ley de la especie de interés a recuperar
- Reservas de mineral
- Caracterización mineralógica y geológica
- Comportamiento metalúrgico
- Capacidad de procesamiento

- Costos de operación y de capital
- Rentabilidad económica, etc

Una forma de clasificar los métodos de lixiviación es:

- 1.- Lixiviación de lechos fijos:
 - in situ, in place
 - en botaderos
 - en pilas
 - en bateas
- 2.- Lixiviación de pulpas:
 - por agitación, a presión ambiente
 - en autoclaves

Para el proyecto lixiviación de ripios en fase I, se considera la lixiviación en pilas dinámicas, el cual nos evocaremos ahora. El esquema general del proceso se puede observar en la Fig. 3.5.

El mineral procedente de la explotación, a cielo abierto o subterránea, debe ser ligeramente preparado en una planta de chancado y/o aglomeración, para conseguir una granulometría controlada que permita un buen coeficiente de permeabilidad. Una vez preparado el mineral, se coloca en montones de sección trapezoidal y altura calculada para proceder a su riego con la solución lixivante. Tras percolar a través de toda la pila, se recolectan los líquidos enriquecidos (solución rica) que se llevan a la planta de proceso de recuperación de la sustancia mineral (sal o metal). Las aguas sobrantes del proceso vuelven a ser acondicionadas para ser recicladas hacia las pilas. También en algunos casos es preciso añadir agua nueva, para reponer las fuertes pérdidas de evaporación del circuito.

Se denomina cancha de lixiviación a la superficie de apoyo de la pila donde se coloca la impermeabilización. Cuando la cancha es recuperada para reutilizarla con un nuevo mineral se trata de lixiviación en PILAS DINAMICAS, mientras que si el terreno no es recuperado y, por lo tanto, el mineral agotado queda en el depósito como nueva base para otra pila, se está en la lixiviación en PILAS ESTATICAS o PERMANENTES.

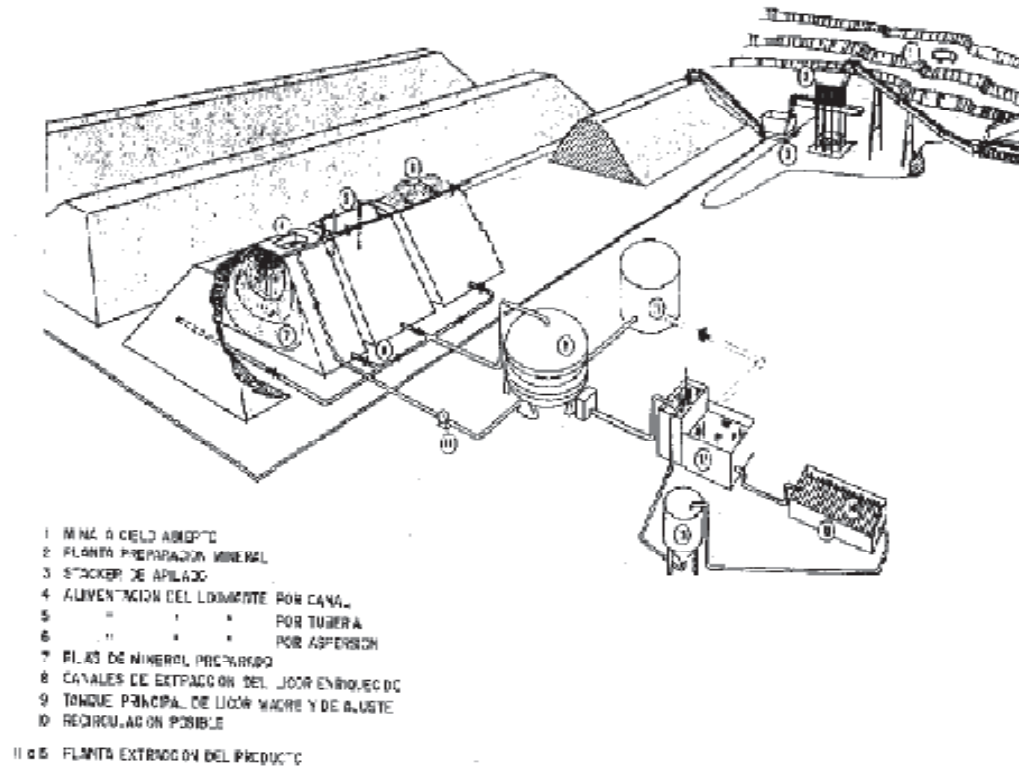
Tabla 3.3 Resumen de diferentes técnicas de lixiviación de minerales.

Rangos de Aplicación y resultados	Métodos de Lixiviación			
	En Botaderos	En Pilas	Percolación	Agitación
Ley del mineral	Baja ley	Baja-media	Media-alta	Alta ley
Tonelaje	grande	Gran a mediano	Amplio rango	Amplio rango
Inversión	mínima	media	Media a alta	alta
Granulometría	Corrido de mina	Chancado grueso	Chancado medio	Molienda húmeda
Recuperaciones típicas	40 a 50 %	50 a 70%	70 a 80%	80 a 90 %
Tiempo de tratamiento	Varios años	Varias semanas	Varios días	horas
Calidad de soluciones	Diluidas (1-2 gpl Cu)	Diluidas (1-6 gpl Cu)	Concentradas (20-40 gpl Cu)	Medianas (5-15 gpl Cu)
Problemas principales en su aplicación	-recuperación incompleta, -reprecipitación de Fe y Cu, -canalizaciones, -evaporación -pérdidas de soluciones -soluciones muy diluidas.	-recuperación incompleta, -requiere de grandes áreas, -canalizaciones, -reprecipitaciones, -evaporación.	-bloqueo por finos, -requiere de más inversión, -manejo de materiales, -necesidad de mayor control en la planta.	-molienda, -lavado en contracorriente, -tranque de relaves, -inversión muy alta, -control de la planta es más sofisticado.

Fuente: A. Reghezza I., "Físico-Química de la Hidrometalurgia" 1987.

La solución rica (S.R. o P.L.S.: pregnant leach solution) es generalmente impura y diluida y deberá ser purificada y concentrada antes de recuperar el metal. En la hidrometalurgia del cobre, eso se realiza mediante la extracción por solvente seguida por la electrodeposición del cobre.

Figura 3.10 Esquema general lixiviación en pilas.



Fuente: Apuntes personales.

3.3 Ingeniería (aspectos fundamentales del proceso)

El diseño de las pilas debe tener en cuenta los siguientes factores:

- La calidad del patio o base de apoyo (impermeable)
- Las facilidades de riego y recolección o drenaje del efluente.
- La estabilidad de la pila seca y saturada en agua
- Los tanques (piscinas) de soluciones ricas y pobres
- La forma de apilamiento o deposición del material lixiviable

Se necesita disponibilidad de amplias superficies de terreno relativamente llanas (menos de 10% de pendiente). La cancha debe ser considerada con su sistema de impermeabilización, para controlar las pérdidas de soluciones y evitar contaminaciones del medio ambiente. El sistema consiste en:

- Una base firme y consolidada, debidamente preparada
- Una capa de lecho granular sobre el que apoyar suavemente la lámina
- La lámina o capa de impermeabilización
- Un conjunto de drenaje o capa de recolección de líquidos
- Una capa protectora del sistema

Generalmente, las membranas o láminas de impermeabilización del patio son geomembranas de origen sintético (láminas de plástico: polietileno de alta densidad o PVC de 1 a 1.5 mm o polietileno de baja densidad de 0.2 a 0.3 mm de espesor), pero también pueden ser materiales arcillosos compactados sobre el propio terreno, hormigón, asfalto, etc.. Se pueden disponer de membranas o sellados simples, dobles o triples, de acuerdo con el número de capas impermeables o membranas que se hayan utilizado.

Una parte importante de la construcción de la pila es el sistema de recolección de la solución rica, que, en general consta de grava o material filtrante sobre la lámina y tuberías perforadas drenantes de plástico.

El uso de cargadores frontales y camiones a sido desplazado, en los últimos proyectos, por apiladores autopropulsados para tonelajes mayores se utilizan sistema de correas cortas y móviles (grass hoppers) que se articulan flexiblemente en secuencia para transportar el mineral desde el aglomerador (para el caso de minerales desde mina) hasta el apilador móvil que construye la pila Para tonelajes aún mayores, se implementaron otros tipos de equipos (apiladores sobre orugas).

La altura de la pila fluctúa entre 2.5 m para sistemas de camión y cargador frontal, hasta 10 m para apiladores. Para el caso del proyecto se considera el apilamiento a través de excavadora.

El riego de las pilas se puede realizar fundamentalmente por dos procedimientos: por aspersion o por distribución de goteo, este último siendo recomendable en caso de escasez de líquidos y bajas temperaturas En la industria, se utiliza generalmente una tasa de riego del orden de 10 - 20 litros/h.m² para minerales desde mina, pero para minerales arcillosos o con alto contenido en finos como son los ripios de lixiviación primaria se utiliza tasa cercanas a 5 litros/h.m². El riego tiene que ser homogéneo.

Al inicio de la operación, se deben disponer como mínimo de dos pilas, comenzándose con el riego de la primera de ellas. En un principio se obtendrá una alta concentración en la solución, que irá descendiendo hasta un valor por debajo de la concentración media de diseño. En este momento se pone simultáneamente en operación la segunda pila, con dos sistemas posibles:

a) Lixiviación de las dos pilas con obtención de una única solución rica final.

b) Lixiviación de la primera pila con producción de solución intermedia (pobre), que se recicla a la segunda pila nueva en donde se obtiene la solución rica

Este segundo sistema se generalizo, ya que permite alargar el tiempo de lixiviación de las pilas y/o disminuir el caudal de solución rica y entonces el tamaño de la planta de SX. Cuando la primera pila alcanza el valor mínimo económico, se procede al lavado con agua fresca y drenaje hasta el agotamiento, yendo esta solución al depósito o piscina de solución estéril para recirculación al sistema. Al mismo tiempo se pone en operación una nueva pila.

Según las disponibilidades de área, la pila agotada se puede cargar y transportar a un vertedero cercano (PILA DINAMICA o REMOVIBLE) o puede servir de base para la formación de una nueva pila (PILA PERMANENTE).

La tendencia para minerales marginales se desplaza al uso de pilas permanentes, para evitar los costos asociados a los movimientos de materiales residuales y aminorar las pérdidas de solución por filtración a través de la lámina de plástico. Para el caso del proyecto Fase I se utilizara una pila dinámica esto debido a que este proyecto es un transiente para construir el definitivo botadero en el cual la lixiviación se realizar para la gran masa de ripios.

3.4 Evaluación Técnica

3.4.1. Pruebas Piloto

Las pruebas realizadas en el laboratorio de metalurgia fueron realizadas con muestra de mineral del botadero de ripio sur. Su caracterización de ley fue:

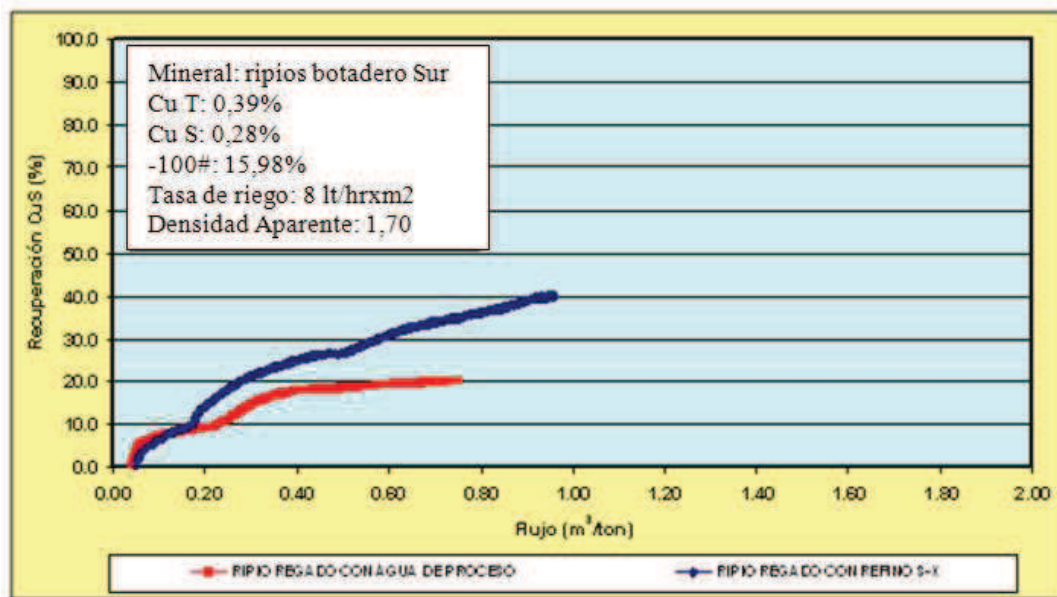
- 0,39 (%) cobre total
- 0,28 (%) cobre soluble.

La prueba fue desarrollada en columnas de 4 metros. Se realizaron 2 pruebas una lixiviada con agua de proceso y la otra lixiviada con refino.

Los resultados obtenidos en las pruebas (balance de soluciones) fueron los siguientes:

- Columnas regada con refino recuperaciones alcanzadas de 28,79 (%) respecto al cobre total y 40,10 (%) respecto al cobre soluble (días lixiviación 50 y razón lixiviación 0,95 (m³/ton)).
- Columnas regada con agua de proceso recuperaciones alcanzadas 14,47 (%) respecto al cobre total y 20,15 (%) respecto al cobre soluble (días lixiviación 50 y razón lixiviación 0,75 (m³/ton)).

Figura 3.11 Resultados Pruebas en columna rípios.



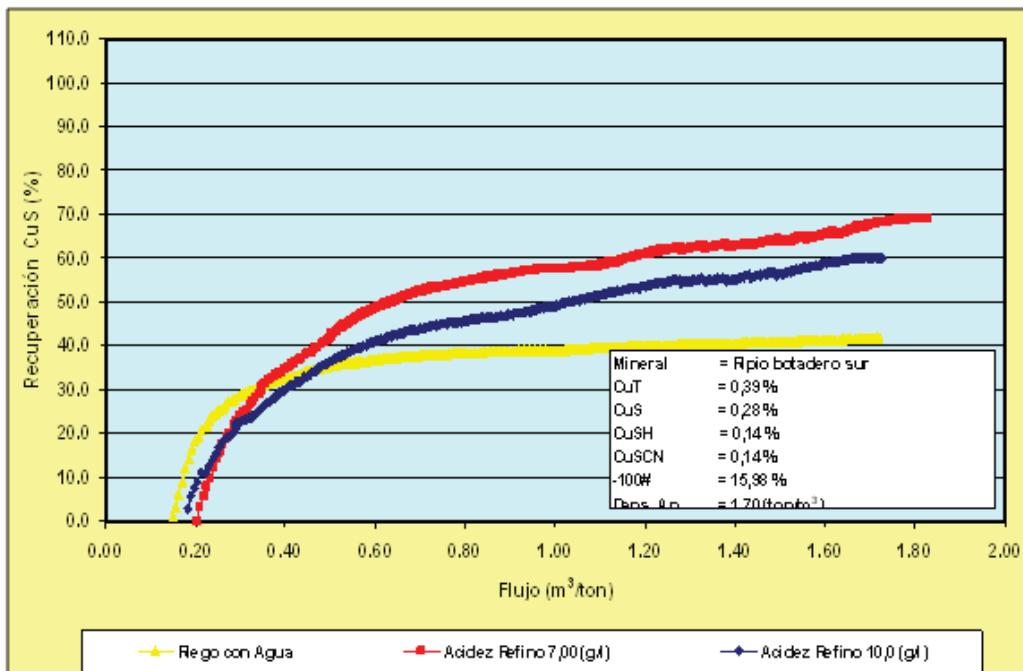
Fuente: Elaboración Laboratorio metalurgia

Adicional a las pruebas mostradas, se efectúan pruebas de lixiviación de rípios, en columnas de 4 metros, con agua de proceso, refino de 7,0 (g/l) ácido y refino 10,0 (g/l) ácido.

Los resultados obtenidos en las pruebas (balance de soluciones) fueron los siguientes:

- Columna regada con refino 10,0 (g/l) ácido, recuperaciones alcanzadas 43,07 (%) respecto al cobre total y 59,99 (%) respecto al cobre soluble (días lixiviación 50) y razón lixiviación 0,73 (m3/ton)).
- Columna regada con refino 7,0 (g/l) ácido recuperaciones alcanzadas 49,46 (%) respecto al cobre total y 68,90 (%) respecto al cobre soluble (días lixiviación 50 y razón lixiviación 0,830 (m3/ton)).
- Columnas regada con agua de proceso recuperaciones alcanzadas 30,09 (%) respecto al cobre total y 41,91 (%) respecto al cobre soluble (días lixiviación 50 y razón lixiviación 0,720 (m3/ton)).

Figura 3.12: Resultados Pruebas en columna rípios diferentes acides.



Fuente: Elaboración Laboratorio metalurgia

3.4.2 Pruebas Industrial

La prueba industrial realizada tiene por objetivo determinar niveles de recuperación de cobre y condiciones óptimas de operación, ratificando los resultados obtenidos en pruebas pilotos de laboratorio.

Para lo anterior se propuso una prueba industrial, cargando una pila con rípios proveniente del botadero sur en sector sur del avance I-23. Estos rípios fueron cargados a una altura promedio de 4 metros. Los datos de los rípios cargados en la pila industrial es la siguiente:

Tabla 3.4: Datos ripios cargados Pila Industrial.

Peso	10.530	TMH
Humedad	6,75	%
Peso	9.819	TMS
Cu Soluble	0,16	%
Cu fino sol.	15,71	Ton
Cu impregnado sol.	13,84	Ton

Fuente: Elaboración Propia

Algunos datos operativos, se muestran a continuación:

Tabla 3.5: Datos Operativos ripios cargados Pila Industrial.

Tipo de Acopio	Pila dinámica, cargado con ripios del botadero Sur.	
Altura de pila	4 m ≈	
Área apilamiento	1.128 m ²	
Densidad de mineral apilado	1,68 Ton/m ³	
Angulo de reposo del mineral	35° ≈	
Procedimiento de carguío	Camiones - Retro excavadora	

Fuente: Elaboración Propia

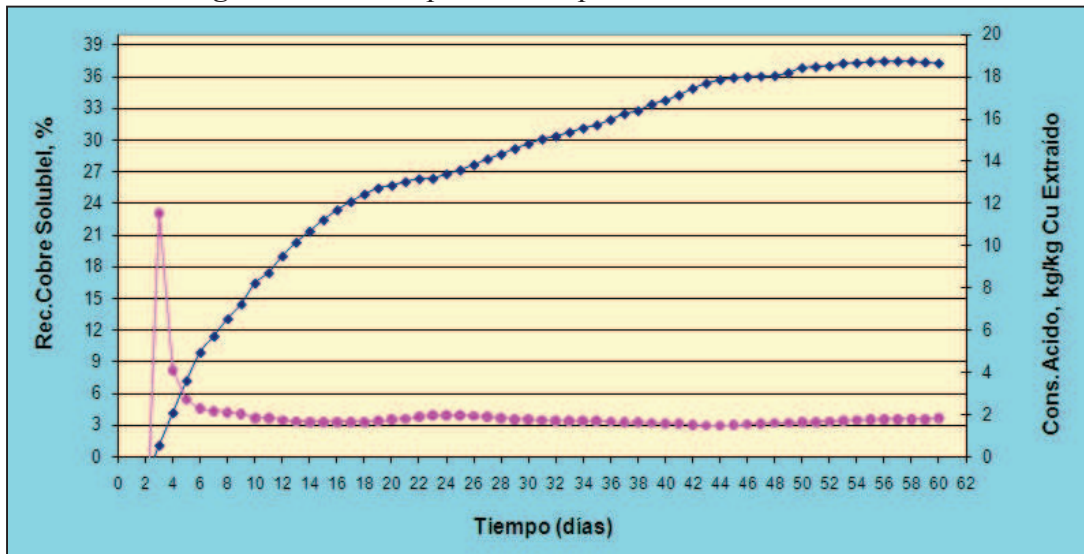
Los resultados obtenidos para la prueba industrial después 60 días de lixiviación, son los siguientes:

Tabla 3.6: Resultados ripios en Pila Industrial.

Tasa de riego	5,50	l/hrxm ²
Razón de lixiviación	0,88	m ³ /TMS
Consumo de ácido	1,09	kg/TMS
Consumo de ácido	1,83	kg/kg Cu
Recuperación Cu soluble	37,27	%

Fuente: Elaboración Propia

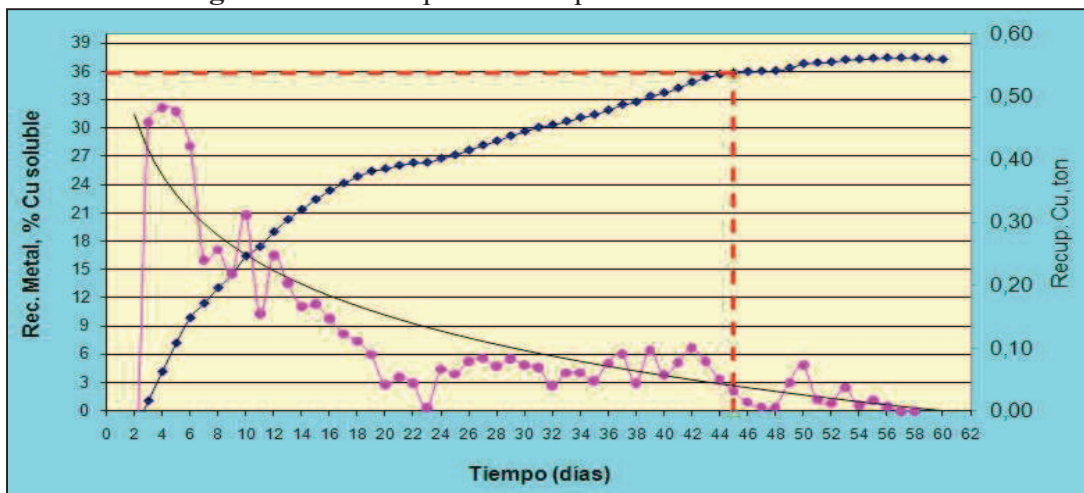
Figura 3.13: Tiempo v/s Recuperación de Cobre Soluble



Fuente: Elaboración Propia

Considerando un ciclo de lixiviación de 60 días, tiempo en el cual se alcanzó un 37,27% de extracción de cobre soluble, lo cual corresponde a 5,86ton de cobre fino extraído (por balance de soluciones). La recuperación de cobre fino está directamente relacionada con el cobre impregnado en el mineral (ripios).

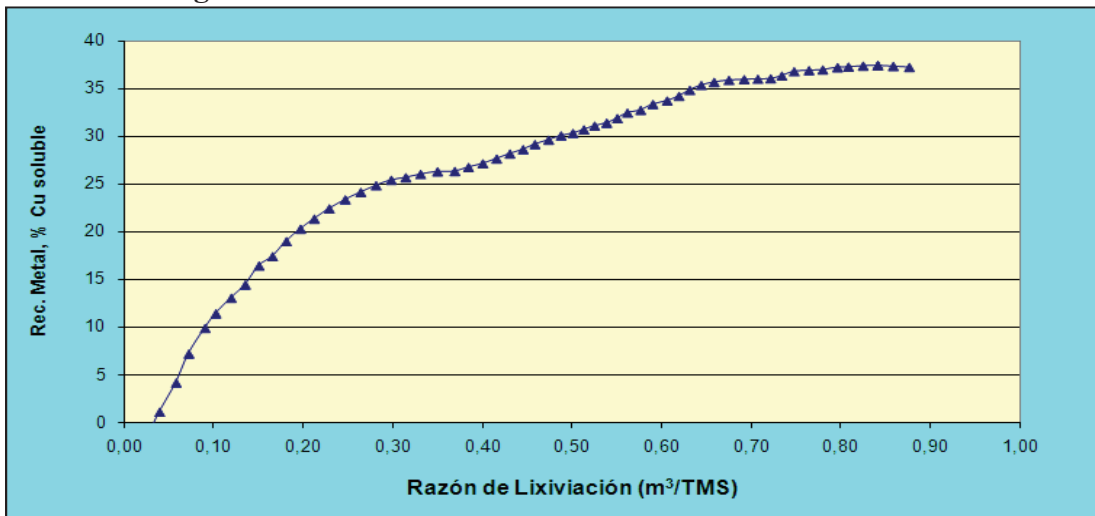
Figura 3.14: Tiempo v/s Recuperación de Cobre Soluble.



Fuente: Elaboración propia

De la figura 3.14, se puede obtener un ciclo de lixiviación óptimo de 45 días para una recuperación de 36%.

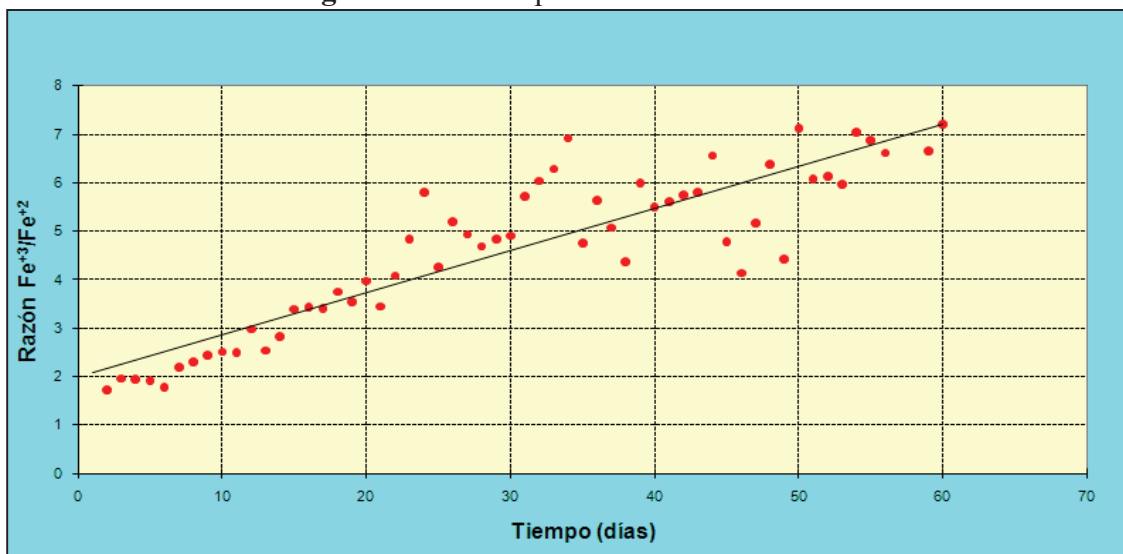
Figura 3.15: Extracción de cobre versus razón de lixiviación



Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.15 Se muestra la extracción de cobre versus la razón de lixiviación (m³/Ton). En ella se puede observar una baja razón de flujo, alcanzando a los 0,876 m³/Ton una recuperación de 37,27%.

Figura 3.16: Tiempo v/s Razón Fe³⁺/Fe²⁺



Fuente: Elaboración propia

La razón Fe^{+3}/Fe^{+2} alcanzó un valor promedio de 3,98, siendo este mayor a la alcanzada en una lixiviación primaria (2,5). Sin embargo, no es factible indicar la existencia de una lixiviación directa, ya que, no se tiene una diferencia significativa en el análisis de cobre soluble en cianuro (Cabeza $CuCN=0,12\%$, Cola $CuCN=0,13\%$).

De las pruebas realizadas podemos mencionar que el reposo de los rípios permitió la sulfatación del cobre sulfurado remanente en un periodo desconocido desde que salieron de la pila dinámica y fueron depositados en el botadero, esto se debió a la cantidad de solución impregnada en el mineral al momento de ser descargado ácido remanente. Además continuó la lixiviación bacteriana, pero en un periodo corto debido a la compactación del rípio en el botadero sur, lo cual no permitió mantener las condiciones óptimas para la bacteria, por ejemplo la aireación.

De acuerdo a resultados obtenidos, es factible optimizar el ciclo de lixiviación a 45 días, obteniendo una recuperación de +/- 36 % del cobre, no debemos olvidar que al aumentar la acidez podemos mejorar la extracción (7 gpl de ácido).

Es de suma importancia trabajar a una mayor concentración de ácido y bajo contenido en cobre (refino de SX por ejemplo), por el efecto de impregnación, el cual es significativo en la recuperación final del cobre en el rípio.

El comportamiento hidráulico del lecho, no presentó derrumbes, canalizaciones ni apozamientos. Pruebas posteriores a la mostrada alcanzando alturas entre los 6 a 7 metros, no han tenido problemas hidráulicas del lecho (ver anexo 2).

Recomendamos según lo revisado en la prueba industrial que es imprescindible contar con los equipos adecuados para efectuar un buen control de los parámetros involucrados directamente en el balance de soluciones, como también en la toma de muestras de cabeza – cola.

La aplicación de flashing, es de suma importancia para contar con goteros limpios, y poder mantener tasas de riego acorde con la homogenización del riego (evitar apozamiento y canalizaciones). A la vez, es importante contar con la relocalización de las líneas de goteros, permite poner en riego aquellas zonas secas.

El lixiviar con soluciones que contengan bajo contenido de cobre ($<0,4$ gpl), es decir, solución de refino proveniente directamente de la planta de extracción por solvente, por la importancia en el efecto de recuperación.

De acuerdo a estudios pilotos es recomendable lixiviar con una mayor concentración de ácido en la solución de irrigación, para una concentración de $7,0$ gpl de ácido y a una razón de lixiviación de $0,88$ m³/TMS se obtuvo una recuperación de cobre de $\pm 56\%$.

3.5 Aspectos Fundamentales de estudio de Ingeniería

El objetivo del proyecto “Ingeniería Básica apta para Construcción Lixiviación Secundaria Ripios Fase I” consiste en el desarrollo de los estudios de ingeniería para la construcción de una pila dinámica de aproximadamente 8 m de altura, sobre la corona del Botadero Sur de la pila dinámica existente, para la primera fase de la lixiviación secundaria de los ripios de dicho botadero.

Se considera el diseño de las obras complementarias para el drenaje y conducción de la solución lixiviada desde la pila dinámica proyectada hasta la piscina de Refino y/o PLS existentes, así como la impulsión desde la pre-piscina de Refino a la pila dinámica proyectada, tal como se ilustra en la figura 3.12 (para Mayor detalle ver anexo 3).

Figura 3.17: Lay out general proyecto.



Fuente: Google Earth, elaboración propia

El diseño, considera las siguientes disciplinas:

- Ingeniería civil: Diseño de cancha, pila dinámica, piscinas de acumulación, sistemas de drenaje, colección y traspasos. Ingeniería mecánica: Diseño sistemas de impulsión, suportaciones.
- Ingeniería piping: Diseño de tuberías para el sistema de impulsión y conducción de soluciones.
- Ingeniería eléctrica: Definición de trazados de los alimentadores de media y baja tensión requeridos por el proyecto.

El proyecto se emplazará al Suroeste de la Pila Dinámica existente, particularmente sobre el Botadero Sur, como se señala en la figura 3.17. El área que comprende el proyecto, es de aproximadamente 168.000 m², que incluye la superficie de la pila y la superficie a intervenir por la construcción de piscinas.

El proyecto considera la construcción de una pila dinámica de lixiviación secundaria de rípios con capacidad para aproximadamente 5,5 Mt por año de material con una vida útil de 3 años. Adicionalmente, considera la construcción de 2 piscinas (ILS y PLS), y el respectivo sistema de impulsión y drenaje de soluciones.

La densidad aparente del mineral es de 1,68 t/m³, y el procedimiento de carguío será mediante camión y bulldozer, obteniéndose un ángulo de reposo de 35°. La configuración geométrica de la pila será de 280 m de ancho y 505 m de largo.

La pila ha sido diseñada considerando una zona sísmica 2 y aceleración efectiva 0,3 g (Parámetros según NCh 433 Of 96, de acuerdo a zonificación sísmica del proyecto), con factores de seguridad estático y sísmico > 1,4 y > 1,05 respectivamente.

Por otra parte, contempla un sistema de impermeabilización compuesto por una geomembrana de LLDPE texturada simple de 1,5 mm de espesor, para el interior de la

cancha, y geomembrana de HPDE texturada doble de 2,0 mm de espesor, para el exterior de la cancha.

El ritmo de carga diario de la pila se presenta en la Tabla 3.7, la carga diaria se realizará en franjas de 80 m de ancho. La tasa de riego será de 6 l/h/m².

Tabla 3.7: Resumen del plan de carga ripios

Año	Alimentación de la Pila (tpd)	Capacidad Pila (toneladas)
2011	15.068	3.300.000
2012	15.068	5.500.000
2013	15.068	5.500.000
Total	-	14.300.000

Fuente: Vector Ingeniería, Proyecto ripios.

El ciclo de lixiviación por módulo es de 79 días, considerando 2,5 días de armado de parrillas, 60 días de riego de refino, 15 días de Drenaje y 1 día de contingencia.

Se han definido los siguientes ciclos de carguío, ciclos de riego y todos los tiempos involucrados en armado y desarme de parrillas de riego para cada módulo. Los tiempos considerados se muestran en la Tabla 3.7.

Tabla 3.8: Ciclo total de lixiviación.

Parámetro	Unidad	Valor
Preparación del terreno (Ruteo)	días	0
Armado de parrillas	días	2,5
Curado	días	0
Riego Refino	días	60
Drenaje (incluye retiro de parrillas)	días	15
Holgura	días	1
Total	días	79

Fuente: Vector Ingeniería, Proyecto ripios.

El complejo de piscinas requerido por la pila se encuentra constituido por 2 piscinas de procesos, una de ILS y otra de PLS.

El sistema de impermeabilización de las piscinas corresponde al siguiente:

- Geomembrana inferior de HDPE texturada simple de 1,5 mm de espesor.
- Geonet 5,0 mm de espesor.
- Geomembrana superior de HDPE lisa de 2,0 mm de espesor.

El sistema de drenaje estará constituido por tuberías de HDPE perforadas de doble pared (interior liso y exterior corrugado) de 100 mm (4") de diámetro. Por su parte, el sistema colector secundario de soluciones estará constituido por tuberías HDPE perforadas de doble pared (interior liso y exterior corrugado), dispuestas a 45° con respecto a las tuberías de drenaje. Las tuberías colectoras secundarias se encuentran en una zanja impermeabilizada con geomembrana lisa de LLDPE de 1,5 mm de espesor.

Las tuberías colectoras secundarias se empalmarán a tuberías de mayor diámetro, denominadas tuberías colectoras principales, las cuales están ubicadas en una zanja al exterior de la pila, impermeabilizada con geomembrana de HDPE de 1,5 mm de espesor. La conexión mencionada se realiza a través de un sistema de cámaras separadoras de solución, donde se distribuirá dependiendo del tipo de solución efluente del sistema de drenaje. Se considera utilizar un sistema de colección entubado, para la conducción de las soluciones desde la pila hacia las respectivas piscinas de procesos.

El sistema colector y de drenaje se ha diseñado considerando una tasa de riego nominal de 6 l/h/m², y factor de seguridad en el sistema colector de 1,15. El sistema considera como material drenante dos tipos de materiales, uno compuesto por ripios lixiviados, provenientes del mismo botadero sur, que se dispondrán en una capa inferior de 1.5 m compactados y una segunda capa, que estará dispuesta solo en las zanjas de las canaletas colectoras secundarias, que será de material hipógeno de 0,5 m aproximadamente, suelto.

La disciplina Mecánica y Cañerías diseñarán el sistema de impulsión de refino para el riego de los ripios. Para tal efecto se contemplan dos bombas flotantes en la piscina de colección de refino más una stand-by en bodega, las cuales impulsan 300 m³/h cada una, utilizando motores de 55kW.

Las bombas flotantes impulsan el refino a una estación de reimpulsión por medio de una cañería de HDPE PN10 de 400 mm de diámetro dentro de una zanja de protección. La estación de reimpulsión está compuesta por 3 bombas horizontales, 2 en operación más 1 stand-by, que impulsan 300 m³/h cada una, utilizando motores de 200kW. Desde la estación de reimpulsión se impulsa el refino hasta el pie de pila por medio de una cañería de HDPE PN20 de 400mm de diámetro, la cual se dispone en la misma zanja por donde se conduce el PLS e ILS desde las piscinas de colección de soluciones.

A lo largo del pie de Pila se dispone la matriz de riego en una zanja desde donde salen los 6 arranques para la conexión de sub matrices de riego para cada franja.

El requerimiento del sistema eléctrico consiste básicamente en alimentar los motores para las bombas de las piscinas ILS y PLS proyectadas para la nueva pila dinámica. Para ello, se deben realizar las siguientes obras:

- Instalación S/E (subestación) unitaria de 13,8/0,4 KV – 1 MVA.
- Instalación CCM (centro de control de motores) de baja tensión, de 4 columnas
- Conexión de los motores requeridos por las bombas refino y booster proyectadas.
- Diseñar el sistema de canalización de fuerza requerido para los equipos eléctricos rotatorios.

Respecto a la ubicación de las obras eléctricas, se puede mencionar que la S/E unitaria se instalará en la sala eléctrica N°3 existente, dado que ésta presenta disponibilidad

suficiente para su instalación. De igual forma, el CCM se pretende instalar en el interior de esta misma sala.

La alimentación eléctrica a la S/E se hará desde el portal de 13,8 KV existente, y el cableado llegará a la S/E a través de las reservas de las cámaras para estos efectos, pasando por el banco de ductos que las conecta.

Por otra parte, se está desarrollando en forma paralela a la ingeniería de proceso, la ingeniería de explotación del botadero ripios. Las actividades principales para implementar este proyecto son las siguientes:

- Recuperación de ripios del botadero Sur con equipos mineros convencionales.
- Apilamiento y tratamiento de estos ripios en una pila construida sobre la superficie del mismo botadero Sur.
- Retiro de ripios una vez lixiviados para depositarlos en un nuevo botadero.

El estudio comprendió el carguío y transporte del ripio hasta la zona de apilamiento, además del retiro de este material una vez lixiviado para depositarlo en un nuevo botadero al costado Sur de la zona intervenida por el proyecto.

Los parámetros para configurar el proyecto de explotación de ripios son los siguientes:

- Tonelaje de ripio a explotar : 15 Mt (millones de toneladas)
- Plazo de excavación : 3 años
- Densidad in-situ ripio acopiado : 1.8 t/m³ (con humedad remanente)
- Parámetros de diseño excavación:
 - Altura de banco : 5 m
 - Berma entre bancos : 5 m

- Angulo de talud : 37° (material suelto en reposo)
- Ancho rampa: : 25 m
- Pendiente rampa : 6.5 %

Los parámetros de diseño de la excavación fueron verificados por el consultor geotécnico para asegurar la estabilidad de los taludes.

Los caminos se diseñaron con una pendiente máxima de 6.5%, para facilitar el tráfico de los camiones sobre la superficie de ripio dadas las características de sustentación de este material y en particular su alta humedad.

Se ha supuesto que el proceso metalúrgico que comprende la formación de pilas, lixiviación y descarga del material ya lixiviado, puede ser considerado como un proceso continuo para la escala de tiempo que se diseñará la excavación. Por lo tanto, se ha estimado tasas iguales por periodo de acuerdo a lo siguiente:

- Total a procesar en 3 años : 15,000,000 toneladas (t)
- A proceso anual : 5,000,000 t
- A proceso trimestral : 1,250,000 t

En anexo 4 se puede observar las distintas fases de diseño de banqueo y nueva depositación de ripios en forma trimestral.

Las siguientes bases y criterios fueron considerados para estimar las flotas de equipos:

Se incluye el carguío y transporte desde el botadero de ripio hasta el sector de la pila y el carguío y transporte del ripio ya lixiviado desde la pila a su lugar de depósito final (nuevo botadero). No se incluye la labor específica de apilamiento propiamente tal.

La pila se formará en la misma superficie del botadero, y los rípios ya procesados se depositarán en un nuevo botadero situado al Sur del original. La programación del trabajo define jornada continua con tasa de carguío y de remoción constantes. Se programa 350 días al año, lo cual resulta de restar a los días calendario 15 días no trabajados por fuerza mayor. Los turnos de trabajo serán de 12 horas para cubrir el día completo. La jornada continua se logra con 4 grupos de operadores.

Los caminos se diseñan con trazado horizontal y pendiente máxima de 6.5%, en atención al comportamiento del ripio en cuanto a soporte para el tráfico de los equipos. Se asume que el ripio por su granulometría y alta humedad dificulta el desplazamiento de los equipos. Por lo mismo, las velocidades de los camiones fueron reducidas considerando una alta resistencia a la rodadura.

Para incorporar la experiencia actual en el manejo de rípios, los equipos de carguío fueron afectados por un factor de llenado de 90% y los camiones por un factor de llenado de 88%.

Se calcularon las flotas para tres combinaciones de equipos. Se estimó además el número de operadores para tener una visión general del soporte en faena en cuanto a campamento y servicios. A los operadores deberán sumarse los mantenedores y la supervisión.

Las combinaciones de equipos que se analizaron son las siguientes:

- Opción 1: Cargador frontal de 23 yd³ y camión minero de 185 t
- Opción 2: Cargador frontal de 14 yd³ y camiones mineros de 90 t
- Opción 3: Cargador frontal de 6 yd³ y camiones convencionales de 36 t

Resulta evidente que a menor tamaño y capacidad de equipos se incrementará la flota y el número de operadores. La mayor cantidad de equipos y operadores aumentará los requerimientos de campamento y servicios en el sitio de la faena. Lo cual puede involucrar un incremento importante del costo de la opción de equipos de menor capacidad.

En el análisis se incluyó una opción con camiones del tipo convencional (de carretera). Sin embargo, más allá del costo de esta alternativa, el Consultor no la recomienda por las características del suelo en que operaran. El suelo es relativamente inestable por la baja granulometría y humedad del ripio. Esta condición seguramente dificultará el desplazamiento de los camiones convencionales; además podría incorporar un riesgo de cierta significación por la menor estabilidad de estos equipos, particularmente durante el vaciado.

Se ha estimado los gastos de inversión y de operación para las combinaciones (opciones) 1 y 2 de equipos. No se estimó los gastos para la opción 3, con camiones convencionales, por no ser recomendable dado el tipo de suelo en que operarán los equipos.

Los criterios generales para realizar esta estimación de gastos son los siguientes:

a) Inversión

Se ha calculado sobre la base del tipo y número de equipos para cada opción y precios cotizados a proveedores. Los precios fueron obtenidos de bases de datos del Consultor, que incluye cotizaciones realizadas previamente a este estudio. Se asume que los valores considerados son razonablemente adecuados, asumiendo que los proveedores tienden a ajustar los precios según el tipo de cotización (referencial, a firme) y tipo de cliente (gran minera, mediana, contratista, etc.).

Se ha agregado además un 10% del gasto de inversión para infraestructura de mantenimiento y servicios.

b) Gastos de Operación

Se estimó sobre la base de consumos y precios de insumos relevantes (petróleo, neumáticos), horas de uso por tarifas de mantenimiento y mano de obra de operadores. Se incluye gastos en supervisión y otros de orden general. No se incluye gastos por alojamiento, alimentación y transporte de personal.

A continuación se expone el resumen de estimación de gastos de las dos opciones de equipos analizadas. Se incluye el gasto de inversión y de operación.

Para efecto de calcular el costo por ton se supuso que la remoción total alcanzará a 30 Mt; 15 Mt como carga a pila y 15 Mt como descarga de pila. Este costo se ha calculado como operacional y adicionando el 100% y el 50% de la inversión.

Tabla 3.9: Opción 1, Cargador 23 yd³ y Camión 185 ton.

		Total	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Inversión	MUS\$	21.02	21.02			
Gastos equipos	MUS\$	18.10		6.05	5.83	6.22
Otros gastos	MUS\$	1.30		0.43	0.43	0.43
Flujo	MUS\$	40.43	21.02	6.49	6.26	6.66
VAN (10%)	MUS\$	37.10				
US\$/t operacional		0.65				
US\$/t con 100% Inv.		1.35				
US\$/t con 50% Inv.		1.00				

Fuente: Metalica Ingeniería, Proyecto rípios.

Tabla 3.10: Opción 2, Cargador 14 yd3 y Camión 90 ton.

		Total	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Inversión	MUS\$	19.14	19.14			
Gastos equipos	MUS\$	22.21		7.45	7.09	7.67
Otros gastos	MUS\$	1.30		0.43	0.43	0.43
Flujo	MUS\$	42.65	19.14	7.89	7.53	8.10
VAN (10%)	MUS\$	38.61				

US\$/t operacional	0.78
US\$/t con 100% Inv.	1.42
US\$/t con 50% Inv.	1.10

Fuente: Metalica Ingeniería, Proyecto ripios.

Por otro lado una vez terminadas las ingenierías se considera la dotación necesaria para la ejecución del proyecto. Este tema es de suma importancia debido a las restricciones de campamento, oficinas y capacidad de casero actuales en faena. Lo anterior según la curva de dotación se estimará y harán las solicitudes al área de RRHH o se solicitara adicionar los distintos recursos a las distas partidas de la empresas colaboradoras que desarrollaran el proyecto. A continuación se muestra el cuadro resumen de HH del proyecto.

Tabla 3.11: Cuadro resume de dotación HH.

DESCRIPCIÓN	TOTAL HOMBRES MES	ESTIMACIÓN DE DOTACIÓN (HM)					
		2011					
		Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Administración del Proyecto							
Administración y Control del Proyecto (Ausenco)	34	1	8	9	9	7	
Construcción							
Construcción Primeras Tres Franjas							
Movimientos de Tierra	34		14	20			
Sistema de Impermeabilización	22			14	8		
Sistema de Drenaje y Colección	14			8	6		
Sistema de Traspaso de Soluciones	12			7	5		
Construcción Ultimas Tres Franjas							
Movimientos de Tierra	34			14	20		
Sistema de Impermeabilización	22				14	8	
Sistema de Drenaje y Colección	14				8	6	
Sistema de Impulsión							
Estación de Impulsión - Refino	26		10	16			
Estación de Re impulsión - Refino	36		20	16			
Arranques Pie de Pila	0						
Sistema Eléctrico e Instrumentación							
Construcción y Montaje Sistema Eléctrico e Instrumentación	25		12	13			
Comisionamiento y Puesta en Marcha							
Comisionamiento Sistema (PEM)	5				5		
Total Hombre Mes	278	1	64	117	75	21	0

Fuente: Vector Ingeniería, Proyecto ripios.

Como se puede observar existe un peak de dotación del proyecto estimado en 117 personas, las cuales debemos considerar con campamento, alimentación y transporte.

Para la problemática de recursos de campamento se está considerando entregar el proyecto en forma de contrato EPCM, el cual libera de todo desarrollo propia mente tal de las distintas actividades que se deben desarrollar para cumplir con estos requisitos de administración.

Considerando ya todas las actividades mencionadas se presenta la carta Gantt del proyecto (anexo N 5) con los tiempos involucrados a considerar para la planificación de la producción a considerar desde el año 2012 en adelante, esta nos presenta una fecha de termino del proyecto del 15 de diciembre partiendo el 18 de julio, esto es 5 meses de desarrollo del proyecto.

3.6 Evaluación Económica

3.6.1 Inversión:

A continuación se presenta el cuadro resumen de inversión de capital, obtenida a través de la ingeniería de detalles desarrollada. En el anexo 6 se encuentra el detalle de la inversión y actividades consideradas para la buena ejecución del proyecto.

Tabla 3.12: Resumen de Inversión.

Partidas	Adquisición	Construcción	Total
Movimiento de Tierra	13.540	3.396.525	3.410.065
Sistema de Impermeabilización	914.292	340.337	1.254.629
Sistema de drenaje y colección	300.770	220.179	520.949
Sistema traspaso soluciones	209.339	183.454	392.793
Sistema de Impulsión	1.932.442	463.559	2.396.001
Sistema Eléctrico	323.892	141.519	465.411
Costo Indirectos			3.814.039
Contingencias			612.694
Allowance			447.083
Total Inversión			13.313.664

Fuente: Vector Ingeniería, Proyecto rípios.

3.6.2 Parámetros operativos:

Los parámetros básicos para la evaluación económica son:

Tabla 3.13: Parámetros Operativos.

Parámetros:			
Reservas totales:	13.500.000	TM	
Ley de Cu soluble:	0,20%		
Recuperación:	38%		
Ley recuperada:	0,08%		
Precio Cu:	6.614	300,00	usc/lb
Producción mensual:		Unidad	
Cu fino	4.345	TM/año	
Vida útil mineral:	3,00	años	
Ripio Anual	4.666.667	TM/anual	

Fuente: Elaboración Propia

3.6.3 Costo de Operación:

A continuación se presentan los costos fijos y variables que componen el costo de operación estimado que tendrá el proyecto:

Tabla 3.14: Costos de operación.

Costos de operación:						
Actividad					US\$/anual	USc/lb Cu
Administración					-	-
Mano de Obra					24.000	0,25
Costo Fijo					24.000	0,25
Actividad	Parámetros		Precios		US\$/anual	USc/lb Cu
Acido sulfúrico	0,90	kg/TMS	140,00	US\$/TM	588.000	6,14
Apilamiento	4.500.000	TPA	2,84	US\$/TM	12.780.000	133,43
Laboratorio y Topografía	1,00		80.000	US\$	80.000	0,84
Apoyo y preparación plataformas	1,00		300.000	US\$	300.000	3,13
Mantenimiento HDPE	1,00		150.000	US\$	150.000	1,57
Agua	373.333	m3	0,85	US\$/m3	317.333	3,31
Energía	1.200	HP	0,17	US\$/KWH	153	0,00
Costo SX/EW	4.344,67	ton Cu	0,24	US\$/lb Cu	2.298.363	24,00
Costos Variables					16.513.850	172,41
COSTO TOTAL OPERACION					16.537.850	US\$/año
					172,66	cUS\$/Lb Cu

Fuente: Elaboración Propia

3.6.4 Flujo de Caja:

A continuación se presenta el flujo de caja y los parámetros de rentabilidad obtenidos del proyecto:

Tabla 3.15: Flujo de Caja.

	Año 1	Año 2	Año 3
Producción Cu (TM)	4.345	4.345	4.345
Precio de venta de cátodos (US\$/TM Cu fino)	6.614	6.614	6.614
Ingresos por venta (US\$)	28.735.017	28.735.017	28.735.017
Costo total de operación (US\$)	16.537.850	16.537.850	16.537.850
Resultado operacional (US\$)	12.197.167	12.197.167	12.197.167
Depreciación (US\$)			
Resultado antes de impto. (US\$)	12.197.167	12.197.167	12.197.167
Impuesto (US\$)	21%	2.561.405	2.561.405
Resultado después de impto. (US\$)	9.635.762	9.635.762	9.635.762
Depreciación (US\$)			
Inversión (US\$)	(13.313.664)		
Valor residual (US\$)			0
Flujo de caja (US\$)	(13.313.664)	9.635.762	9.635.762

VAN (US\$) =	10.665.398
Tasa de descuento =	8%
TIR =	52%

Fuente: Elaboración Propia.

IV.- Discusiones

4.1 Análisis de Resultados

4.1.1 Análisis técnico

En cuanto al análisis técnico se puede observar claramente las oportunidades de mejora que presenta el proyecto, debido a que las condiciones de riego pueden ser más favorables realizando ajustes en la acidez de riego a 7 gpl y disminución de la concentración de cobre en la solución de riego, como se demuestra claramente en la figura 3.12.

Por otro lado se considera que existirá una optimización en el ciclo de riego, principalmente por el margen no significativo en el aumento de recuperación (2%) y que incrementa el ciclo de lixiviación y por ende la razón de lixiviación en 25%. Esto sin considerar las mejoras mencionadas en el párrafo anterior.

En cuanto a los mecanismos de lixiviación que gobiernan el proceso de lixiviación de ripios (difusión), se explican por el cobre disuelto o lixiviado durante el tiempo en que el ripio fue depositado a la fecha actual, por las condiciones de acidez y actividad bacteriana (limitada por el oxígeno disuelto en el lecho) que actuaron químicamente a través del tiempo. Esto se justifica de mejor forma debido a la relación férrico/ferroso detectado y que sobrepasan los valores que se obtienen en la lixiviación primaria (bacteriana) donde ingresamos aire forzado y calor al sistema. No olvidar que existe también un chancado químico que ha continuado ocurriendo, con esto logrando una granulometría más fina la cual libera área no atacadas en la primera lixiviación.

Una oportunidad de mejorar el aporte de cobre del proyecto fase I, es mapear en cuanto a ley el botadero ripios y con ello poder identificar los ripios con mayor ley y mayor solubilidad de cobre, lo cual se debe en forma lógica encontrar en los niveles

inferiores del botadero, con ello aprovechando el tiempo depositado (más de 10 años) y las mejores leyes tratadas en ese periodo.

En cuanto al comportamiento hidráulico del lecho lixiviante se recomienda utilizar ramp up en la tasa de riego en los primeros días de lixiviación, con ello poder facilitar el acomodo del material más fino (-100#), dando una migración lenta y no saturada que provoca niveles freáticos altos y apozamiento por la localización de estas partículas.

Dentro de algunos cambios en terreno en el test industrial y que mejoraron o aceleraron la recuperación final obtenidas es el traslape de líneas de riego, por consiguiente evitaron las canalizaciones y apozamientos de solución en la corona de pila y que se generan principalmente por los valles que quedan por el mecanismo de carguío empleado (excavadora), además de regar zonas que no fueron regadas eficientemente.

En cuanto a la ingeniería desarrollada se debe mencionar que existen tres actividades críticas que podrían retrasar el proyecto, las cuales son:

- Adquisición del equipo de bombeo
- Licitación del transporte de ripios
- Instalaciones de faena para el personal de ejecución del proyecto.

Estas actividades deben ser consideradas de forma especial para poder cumplir con los tiempos comprometidos de puesta en marcha del proyecto, dando énfasis a la parte administrativa de la compra, donde se requiere de la eficiencia del proceso licitación, evaluación, y adjudicación.

La instalación de faena principalmente pasa por una decisión estratégica de compra de las instalaciones por parte del mandante, lo cual puede disminuir costos por

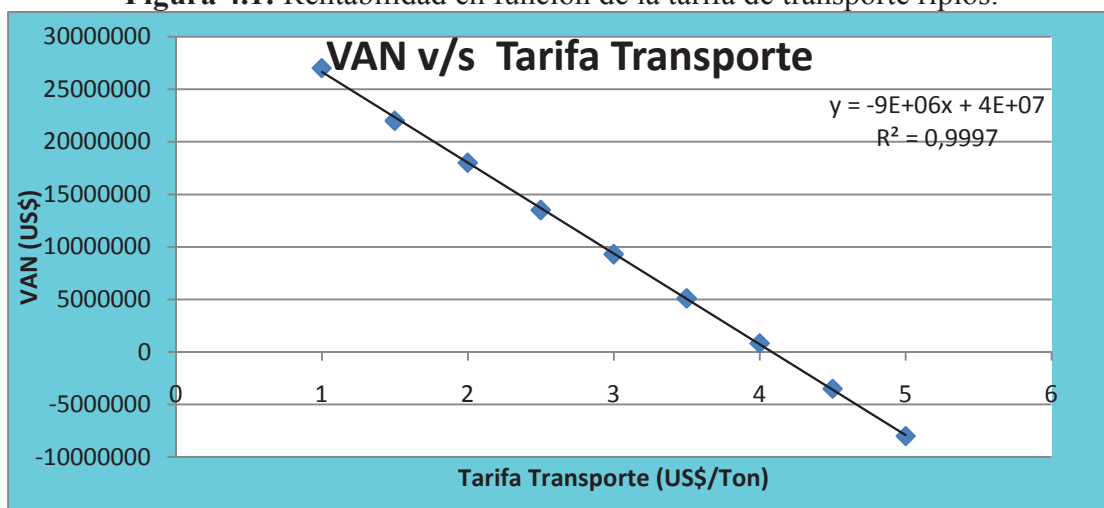
desmovilización y mejorar su capacidad de campamento para otros proyectos a corto de plazo dentro del desarrollo estratégico de la faena.

4.1.2 Análisis Económico

El resultado del análisis económico da un resultado de positivo en cuanto VAN obtenido en 10 MMUS\$, para una tasa de descuento de un 8%, y con una TIR de 45%. Este resultado se ve atractivo para una vida útil del proyecto de 3 años, pero se puede cuestionar en cuanto a su eficiencia comparada con la inversión a través del índice IVAN, el cual arroja un valor de retorno por dólar invertido de 0,80 US\$.

Independiente de lo mencionado en el párrafo anterior se observa claramente que la rentabilidad de este proyecto se ve afectada a través de los costos de operación por la tarifa de transporte, la cual es aproximadamente un 80% del total del costo de operación, por ello es de vital importancia lograr tarifas atractivas bajo el objetivo de aumentar la rentabilidad del proyecto. Debido a la importancia de esta tarifa en la rentabilidad del proyecto es que a continuación mostramos un análisis de VAN en función de la tarifa de transporte:

Figura 4.1: Rentabilidad en función de la tarifa de transporte ripios.



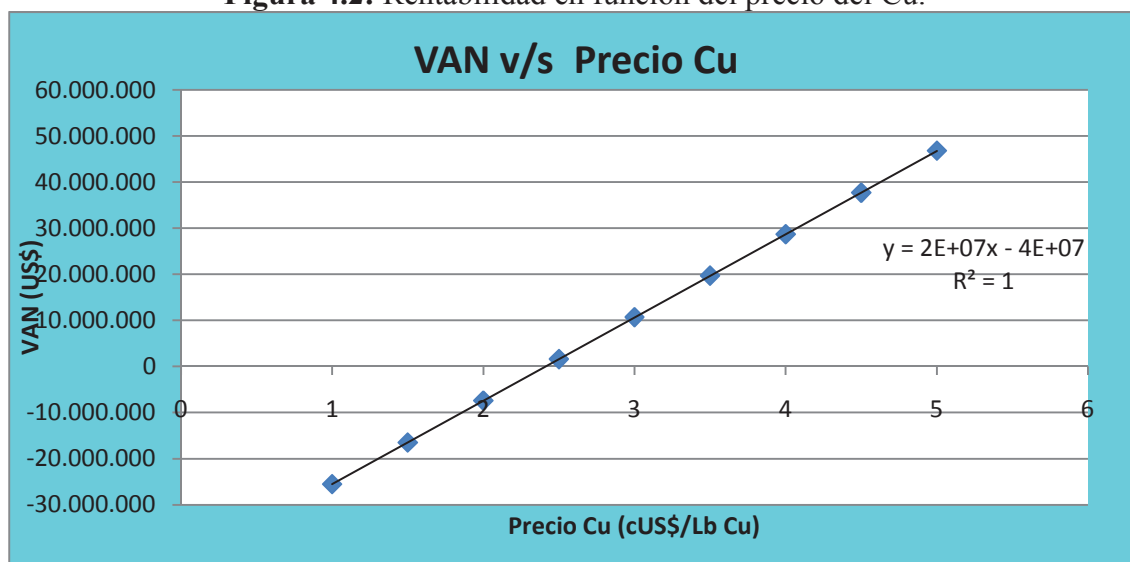
Fuente: Elaboración Propia

Aquí se observa claramente el resultado obvio de caída del Van a medida que aumenta la tarifa de transporte. Tarifas altas para las condiciones geográficas y climáticas de faena son comunes y regularmente se encuentran en un 30% por sobre el valor de mercado.

Existe sí una holgura en el precio de 1,20 US\$/ton para que afecte negativamente el VAN, lo cual es poco probable.

Otra variable a sensibilizar en la rentabilidad del proyecto es el precio de cobre, a continuación se presenta una grafica de VAN en función del precio del cobre:

Figura 4.2: Rentabilidad en función del precio del Cu.



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar de la figura 4.2 el VAN en forma lógica aumenta al momento de aumentar el precio del Cu, pero el análisis más importante acá es el precio de equilibrio es decir cuando el VAN es cero. Este valor da 241 cUS\$/Lb Cu, lo cual es un valor alto que nuevamente cuestiona su eficiencia y su nivel de riesgo.

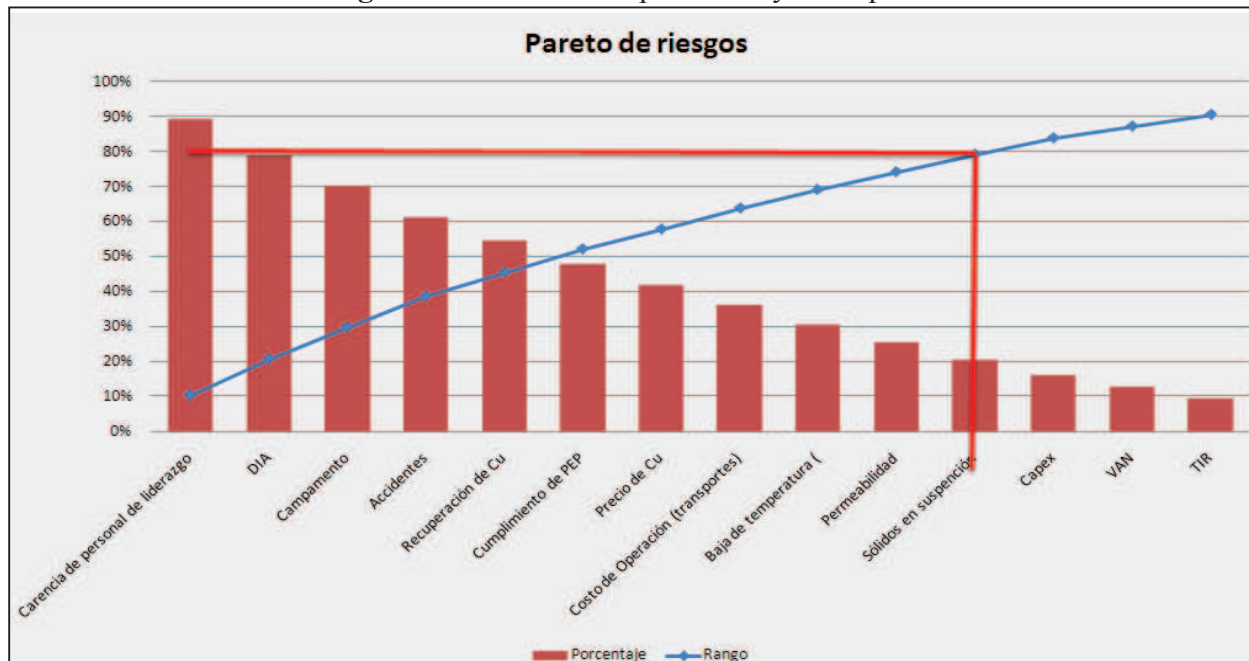
Por lo último mencionado, se revisan los precios considerados por la compañía a corto plazo, tienen el respaldo de los estudios de mercado respectivo.

4.2 Análisis de Riesgo

Debido a las distintas actividades asociadas al proyecto, las cuales pueden ser cuestionables por el cumplimiento de fechas comprometidas, aporte de Cu fino a la producción y la eficiencia de rentabilidad cuestionada a través del IVAN y alto precio de equilibrio del Cu, es que se ha realizado un análisis de riesgo. Primeramente se realiza un diagrama de Pareto el cual nos permite identificar el 80% de los riesgos asociados al

proyecto y con ello poder ingresar e identificar el nivel de riesgo del proyecto en sus distintas actividades.

Figura 4.3: Análisis de Pareto Proyecto rípios.



Fuente: Elaboración Propia

Acá podemos observar distintas actividades donde podemos observar la falta de personal especializado, declaración de impacto ambiental DIA (no considerada en este estudio), campamento, accidentabilidad, recuperación de Cobre, cumplimiento del plan de trabajo, precio del Cu, costo de operación, y otros menores. Todos estos factores influyen en la decisión estratégica de la compañía en implementar este proyecto.

Para llegar a un resultado en forma más precisa se evalúa según las calificaciones dadas a este Pareto en una matriz de evaluación de riesgo de probabilidad e impacto, midiendo con ello el riesgo, que para este proyecto da con riesgo alto, con una probabilidad de ocurrencia media y un impacto medio.

Figura 4.4: Matriz de riesgo Probabilidad / Impacto, proyecto rípios.

			Impacto				
			1 - Insignificante	2 - Menor	3 - Moderado	4 - Mayor	5 - Catastrófico
Probabilidad	5 -	Certesa de que va a ocurrir el evento	Medium (M)	High (H)	High (H)	Very High (VH)	Very High (VH)
	4 -	Puede ocurrir con cierta frecuencia	Medium (M)	Medium (M)	High (H)	High (H)	Very High (VH)
	3 -	Puede ocurrir alguna vez (meses)	Low (L)	Medium (M)	High (H)	High (H)	High (H)
	2 -	Poco probable pero ocurrirá	Low (L)	Low (L)	Medium (M)	Medium (M)	High (H)
	1 -	Ocurrirá en situaciones remotas	Low (L)	Low (L)	Medium (M)	Medium (M)	High (H)

Fuente: Elaboración Propia

El riesgo alto como resultado de la evaluación responde principalmente a las actividades asociadas a la ejecución del proyecto principalmente afectada por la falta de personal idóneo para llevar la ejecución del proyecto, capacidad de campamento o implementación de este, y los riesgos de seguridad que con lleva ejecutar un proyecto fast track. Esto sumado a la variables de precio del cobre que según proyección interna de la compañía, existen posibilidades de baja de este commodity, debido a la situación cambiante en la economía mundial, lo cual en sinergia con el alto precio de transporte de minerales que el mercado impone hoy (considerando condiciones extremas de geografía y climáticas), resultan en que el proyecto requiere de una revisión en estos aspecto, y que para ser ejecutado se deben controlar estos los riesgos asociados a las actividades evaluadas o eliminarlos.

La evaluación detallada de la matriz de riesgo del proyecto la pueden observar en el anexo 7.

V.- Conclusiones

Las conclusiones y recomendaciones del presente estudios son:

- La recuperación en cobre soluble alcanza un 37%, bajo condiciones actuales de operación.
- La pruebas pilotos concluyen en mejorar la recuperación a través del ajuste de ácido en la solución de riego a 7 gpl, lo cual permitiría obtener recuperaciones por sobre el 60% en cobre soluble.
- Existe una pérdida de cobre aún significativa por impregnación, la cual se recomienda mejorar a través de regar con soluciones con bajo contenido en cobre, logrando mejorar el mecanismo de lixiviación por difusión y lavado de pila.
- La relación férrico/ferroso en las soluciones percoladas nos ratifican que existe una cantidad de cobre que fue lixiviada a una vez abandonado los ripios en botadero, esto favorece la solubilidad del cobre supérgeno no lixiviado en la etapa primaria.
- El plan de ejecución de obras del proyecto cumple con las fechas de partidas comprometidas, con ello alcanzando a aportar cobre fino en la producción, cumpliendo el objetivo primario del proyecto.
- Tanto la entrega de equipos de bombeo y componentes eléctricos se encuentran dentro de la ruta crítica del proyecto, debido a la alta demanda los tiempos de entrega se encuentran muy ajustados.
- En tanto para la realización de obras del proyecto, dentro de las actividades críticas se encuentra la capacidad de campamento, la cual se suple a través de instalaciones móviles por contratistas.

- El análisis de rentabilidad del proyecto Fase I de rípios nos da una VAN de 10MUS\$ aprox. con una TIR de 45%. Concluyendo en el proyecto es rentable.
- Asociado al punto anterior se calculó el índice IVAN para el proyecto el cual arrojó un valor de 0,8 dólares por un dólar invertido, lo cual se traduce en que el proyecto es rentable pero no es eficiente en cuanto a su análisis de financiero, debido a la menor utilidad con respecto a lo invertido.
- Para el proyecto la tarifa de transporte de rípios es una variable crítica en el análisis financiero del proyecto, debido a su alta influencia en los costos de operación del proyecto.
- Del análisis de sensibilidad realizado para esta variable (tarifa), concluimos que existe una margen importante en el precio que el proyecto puede adsorber sin dejar de ser rentable el negocio. Precio de equilibrio con respecto a $VAN=0$, 4,0 US\$/ton.
- Al realizar el análisis de sensibilidad del proyecto con respecto al precio del cobre, este, nos arroja un resultado como precio de equilibrio para $VAN=0$ de 2,41 US\$/lb de Cu.
- Basado en las consideraciones de la compañía respecto al precio futuro del cobre (2,5 US\$/ton), comparado con el precio de equilibrio del proyecto, concluimos que existe un riesgo alto asociado a esta variable exógena, lo cual eleva los riesgos financieros del proyecto.
- El análisis de riesgo del proyecto para las distintas actividades, define el proyecto como de alto riesgo, debido principalmente a la ejecución del proyecto.
- Como conclusión general del proyecto no recomendamos ser ejecutado esta iniciativa, debido principalmente a los riesgos asociados al cumplimiento de los

tiempos de implementación y a su poca eficiencia financiera en los resultados de rentabilidad asociados a este estudio.

VI.- Bibliografías

Esteban M. Domic M., " Revisión de los mas Recientes Proyectos Chilenos de Lixiviación de Cobre ", Vº Encuentro Minero de Tarapaca, pp 293-307, Universidad Arturo Prat, Iquique, 1995.

G. Cáceres, " Hidrometalurgia y Electrometalurgia ", Curso de capacitación, Universidad de Atacama, Copiapó, 1992.

F. Habashi, " A Textbook of Hydrometallurgy ", Metallurgie Extractive Quebec, 1993.

A. Reghezza I., " Fisico-Química de la Hidrometalurgia ", Universidad de Concepción, Concepción, 1987.

Martin Col & al (RAHCO), " Manejo de Materiales en Proyectos de Lixiviación ",

Andrés Reghezza, " Aspectos Tecnológicos de la Lixiviación ", Universidad de Concepción, Concepción, 1987.

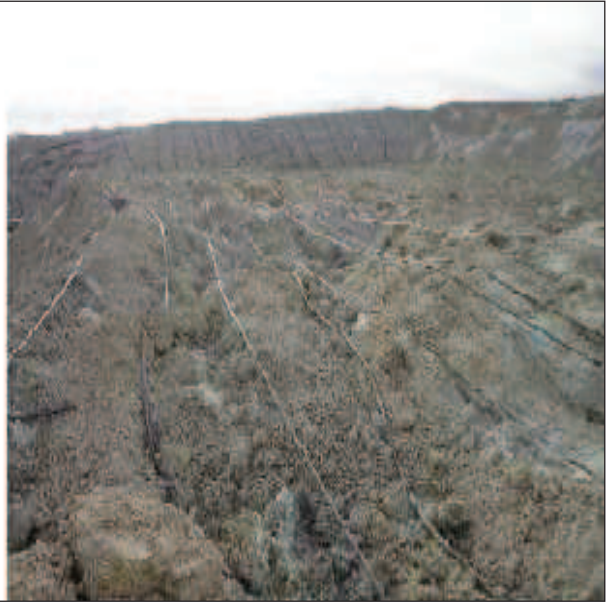
Nassir Sapag, Reinaldo Sapag "Preparación y Evaluación de Proyectos", Mc Graw - Hill 4ª edición 2000.

José Manuel Sapag "Evaluación de Proyectos, Guía de problemas y Soluciones", Ediciones Copigraph, Segunda Edición.

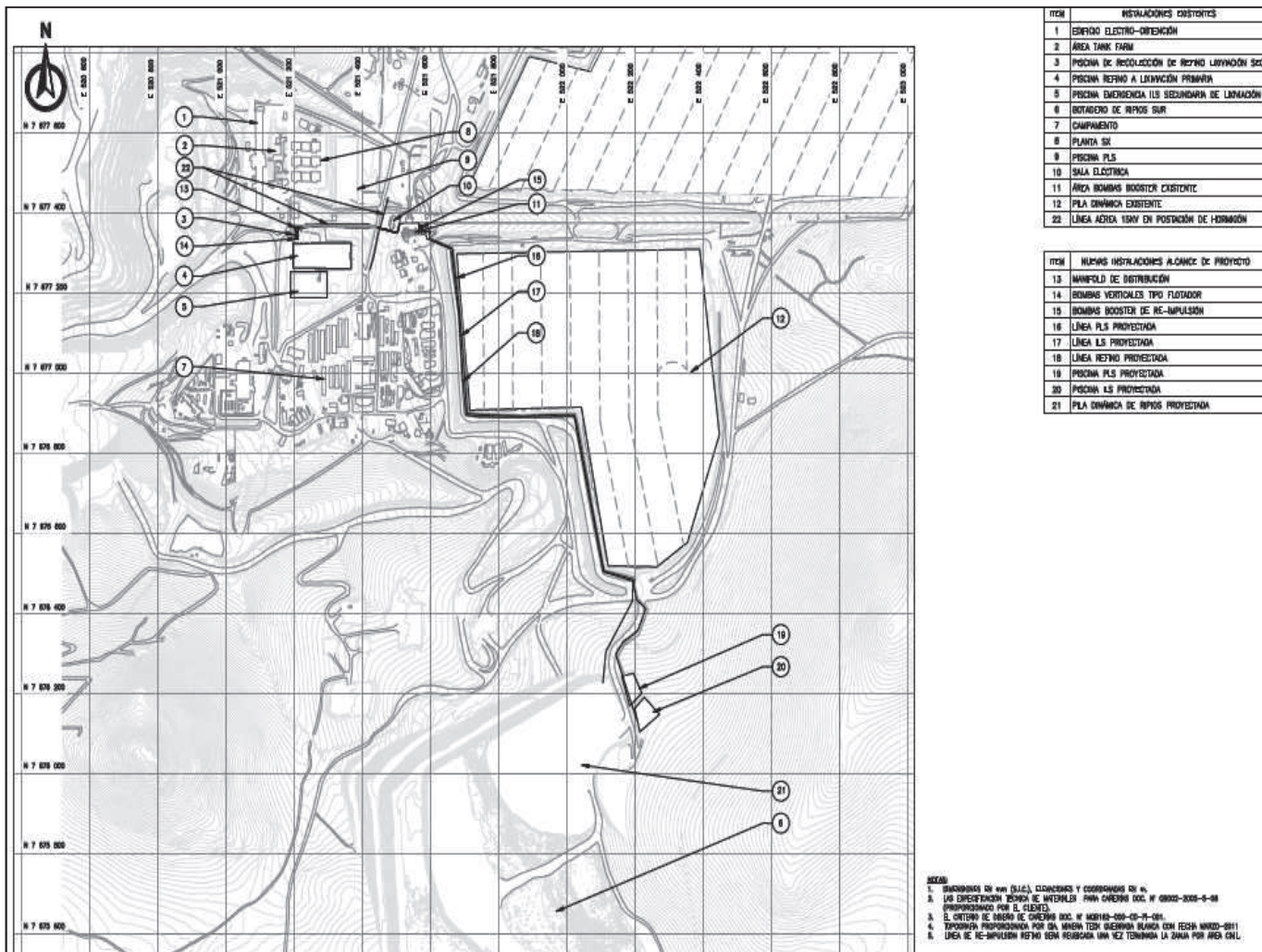
Gabriel Baca Urbinas, "Evaluación de Proyectos ", Mc Graw-Hill 3a. Edición 1995.

Anexo N 2: Prueba Industrial.





Anexo N 3: Lay out Proyecto Ripios.



ITEM	INSTALACIONES EXISTENTES
1	EMPEDIDO ELECTRO-ORIENTACION
2	AREA TANK FARM
3	PISCINA DE RESERVA DE RETENIDO LAVADO DE SCS
4	PISCINA RETENIDO A LAVACION PRIMARIA
5	PISCINA EMERGENCIA (LS SECUNDARIA DE LAVADO)
6	BOTADERO DE REPOS SUR
7	CAMPAMENTO
8	PLANTA SX
9	PISCINA PLS
10	SALA ELECTRICA
11	AREA BOMBAS BOOSTER EXISTENTE
12	PLA DINAMICA EXISTENTE
22	LINEA ADICIA 15KV EN POSICION DE FORMACION

ITEM	NUEVAS INSTALACIONES ALAMICO DE PROYECTO
13	MANIFOLD DE DISTRIBUCION
14	BOMBAS VERTICALES TIPO FLUTADOR
15	BOMBAS BOOSTER DE RE-IMPULSION
16	LINEA PLS PROYECTADA
17	LINEA PLS PROYECTADA
18	LINEA RETEN PROYECTADA
19	PISCINA PLS PROYECTADA
20	PISCINA LS PROYECTADA
21	PLA DINAMICA DE REPOS PROYECTADA

NOTAS
 1. DISEÑOS DE VAN (S.L.), CONCEPTOS Y COORDINADOS DE VA.
 2. LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MATERIALES PARA CABLES DOC. N° 09002-2005-0-08 (PROPORCIONADO POR EL CLIENTE).
 3. EL CANTIDAD DE CABLES DOC. N° 09010-005-05-01-001.
 4. TIPOGRAFIA PROPORCIONADA POR SIA, MIREM TERN GUERRA BLANCA CON FECHA 04/02-0911.
 5. LINEA DE RE-IMPULSION RETENIENDO USANDO UNO DE LOS TERMINOS LA DUNA POR AREA CHL.

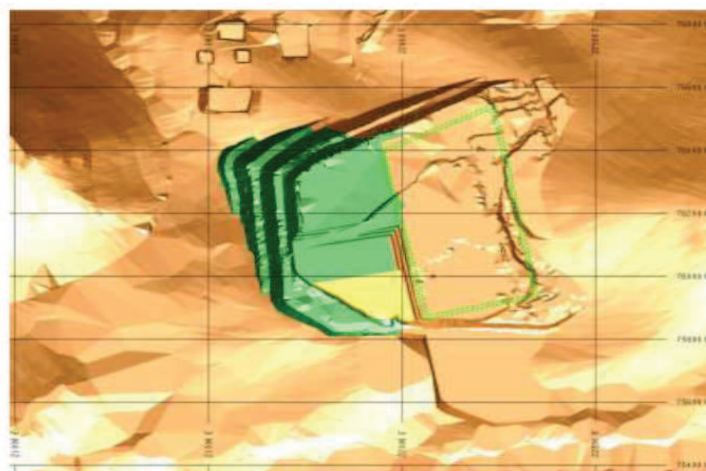
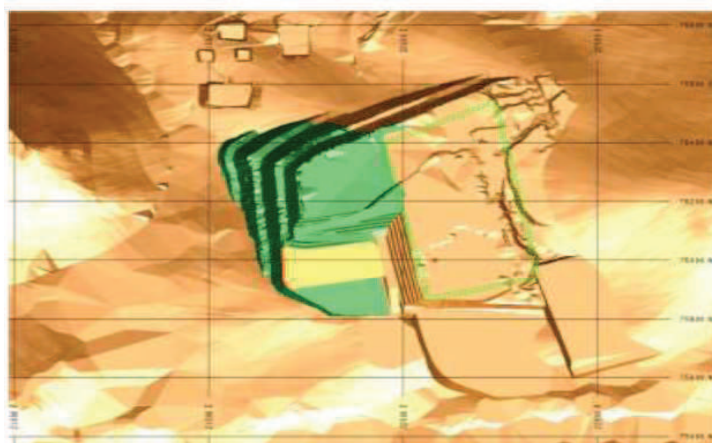
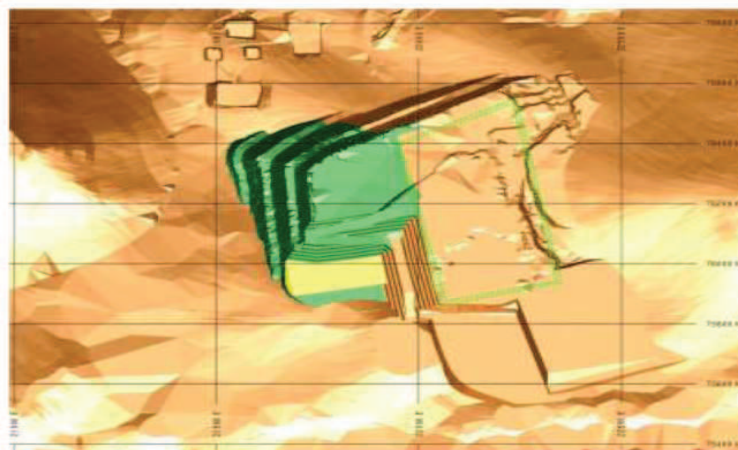
Anexo N 4: Secuencia de extracción y descarga Proyecto Ripios.**Figura 4.1: Año 0 – Trimestre 1****Figura 4.2: Año 1 – Trimestre 2****Figura 4.3: Año 1 – Trimestre 3**

Figura 4.4: Año 1 – Trimestre 4

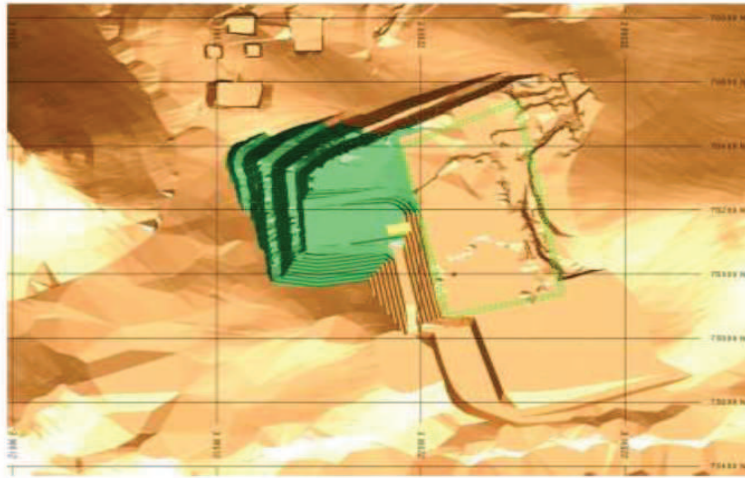


Figura 4.5: Año 2 – Trimestre 1

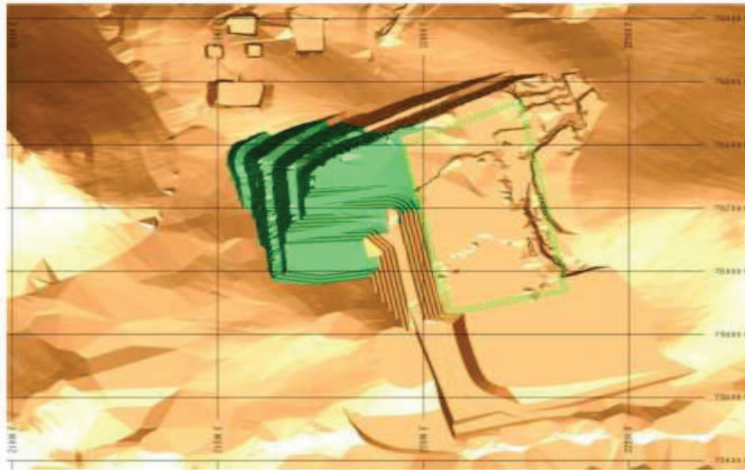


Figura 4.6: Año 2 – Trimestre 2

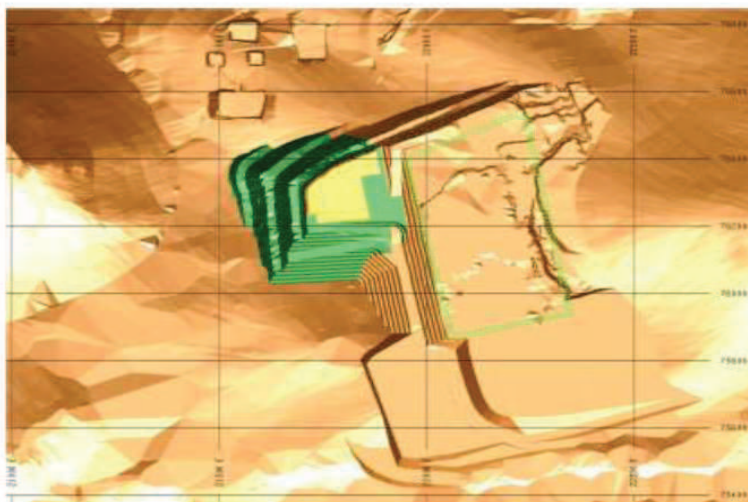


Figura 4.7: Año 2 – Trimestre 3

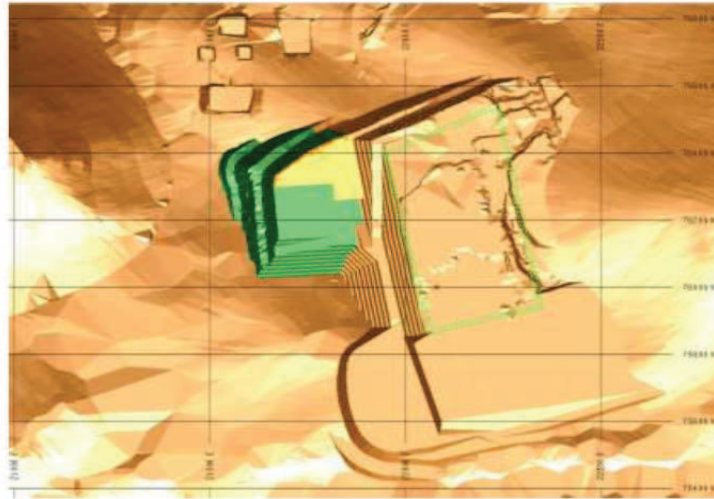


Figura 4.8: Año 2 – Trimestre 4

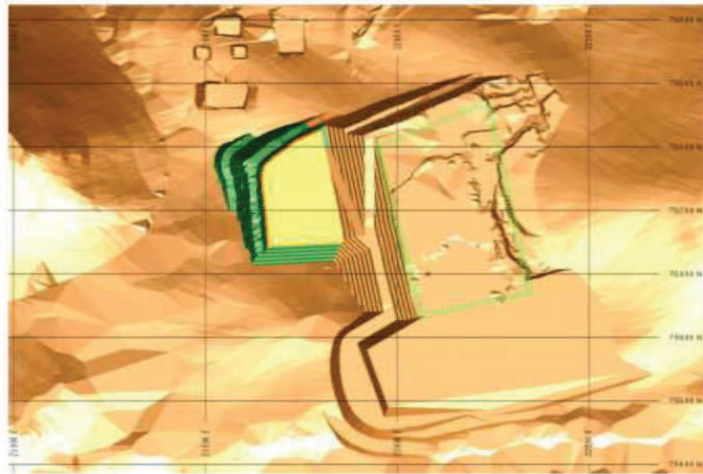


Figura 4.9: Año 3 – Trimestre 1

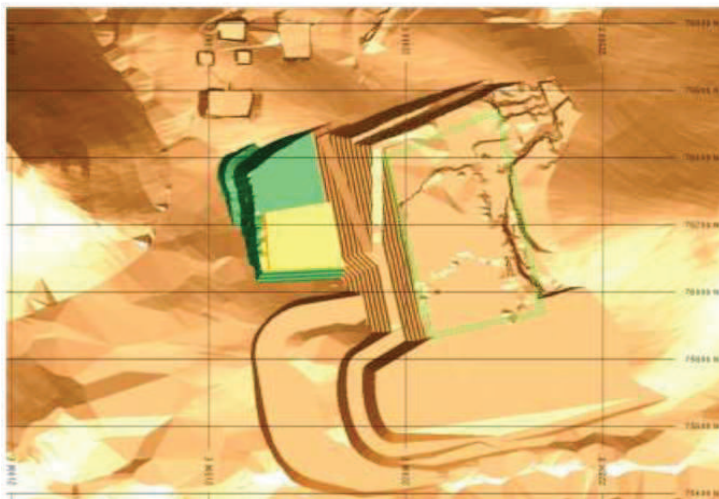


Figura 4.10: Año 3 – Trimestre 2

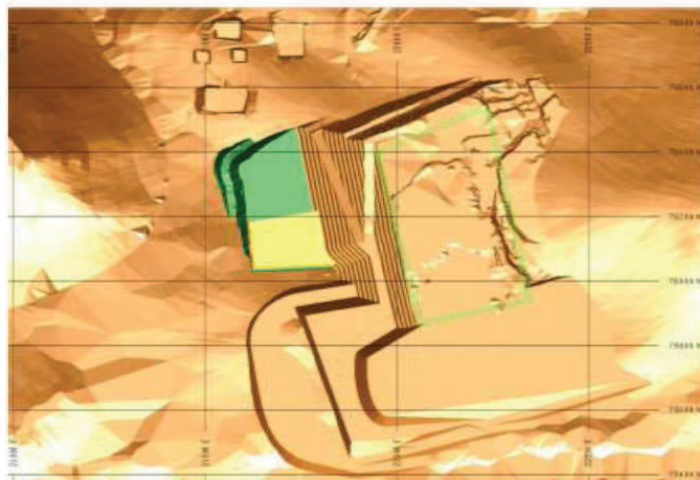


Figura 4.11: Año 3 – Trimestre 3

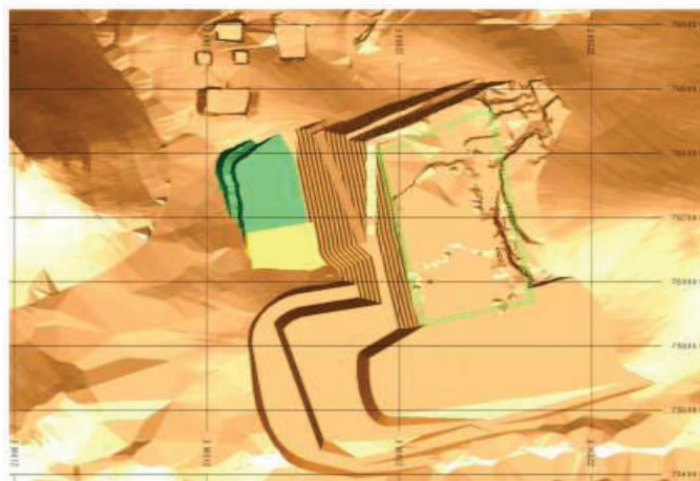
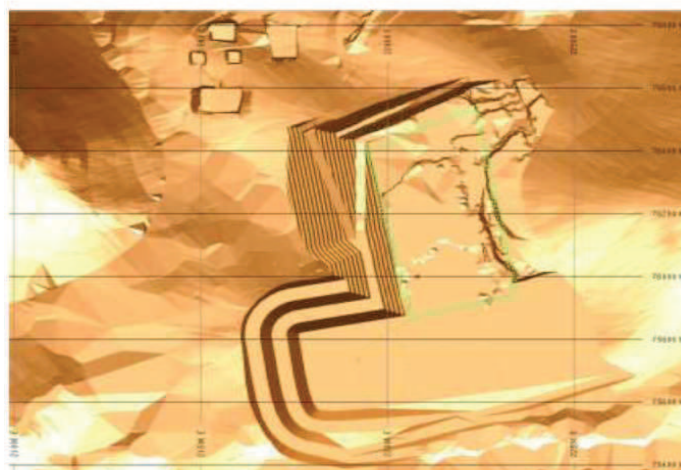
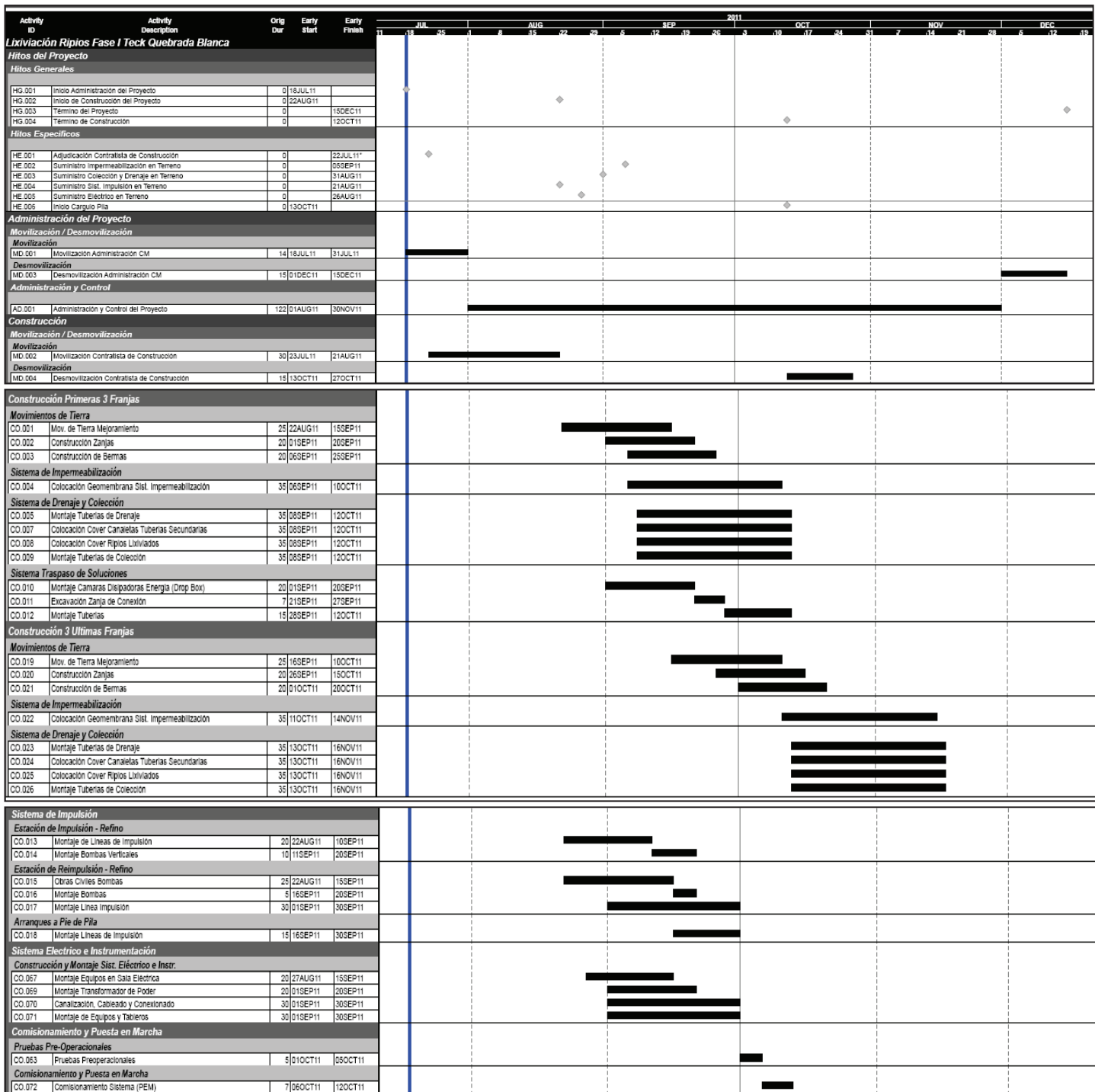


Figura 4.12: Año 3 – Trimestre 4



Anexo N 5: Carta Gantt Fase de ejecución Proyecto Ripios.



Anexo N 6: Detalle de Inversión Proyecto Ripios.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD CUBICADA	ADQUISICIÓN				CONSTRUCCIÓN		TOTAL COSTOS DIRECTOS US\$
			P.UNIT. US\$	FLETES, SEG Y BODEGA US\$	TOTAL P.UNIT. US\$	P.TOTAL US\$	COSTO UNIT. US\$	P.TOTAL US\$	
Movimientos de Tierra						13,540		3,396,525	3,410,065
Corte mejoramiento	m²	165,301.0	0.00	0.00	0.00	0	5.05	834,770	834,770
Relleno mejoramiento	m²	168,442.0	0.00	0.00	0.00	0	5.76	970,226	970,226
Confección bermas intermedia separadora de soluciones	m	1,400.0	0.00	0.00	0.00	0	5.43	7,602	7,602
Excavación zanja de anclaje	m²	2,021.4	0.00	0.00	0.00	0	5.05	10,208	10,208
Relleno zanja de anclaje	m²	2,021.4	0.00	0.00	0.00	0	5.43	10,976	10,976
Excavación zanjas tubería secundaria inferior (perimetral)	m²	447.6	0.00	0.00	0.00	0	5.43	2,431	2,431
Excavación zanjas canaleta colectoras	m²	1,448.8	0.00	0.00	0.00	0	5.43	7,867	7,867
Relleno bermas de contención perimetrales	m²	12,961.3	0.00	0.00	0.00	0	5.43	70,380	70,380
Relleno pretil de seguridad camino de servicio	m²	289.1	0.00	0.00	0.00	0	5.43	1,570	1,570
Cover Ripios liviviados e= 150 cm.	m²	219,998.3	0.00	0.00	0.00	0	6.67	1,467,664	1,467,664
Cover canaletas de tuberías secundarias (material Hipógeno)	m²	1,758.4	7.00	0.70	7.70	13,540	7.30	12,830	26,370
Sistema de Impermeabilización						914,292		340,337	1,254,630
Geomembrana interior cancha - LLDPE e=1,5mm Texturado Simple	m²	134,189.0	4.21	0.43	4.64	622,744	1.88	225,438	848,182
Geomembrana exterior cancha - HDPE e=2,0mm Texturado Doble	m²	27,835.6	5.20	0.52	5.72	159,131	2.02	56,117	215,247
Geomembrana zanjas tuberías colectoras secundarias - HDPE e=1,5mm Texturado Simple	m²	19,147.6	4.21	0.43	4.64	88,860	1.88	32,168	121,028
Geotextil 400 g/m2	m²	19,147.6	2.06	0.21	2.27	43,557	1.39	26,615	70,172
Sistema de Drenaje y Colección						300,770		220,179	520,949
Tubería HDPE doble pared interior lisa, exterior corrugada perforada D=100mm	m	60,040.7	1.51	0.16	1.67	100,068	1.68	100,868	200,936
Tubería HDPE doble pared interior lisa, exterior corrugada perforada D=250mm	m	939.0	7.91	0.80	8.71	8,179	8.82	8,282	16,461
Tubería HDPE doble pared interior lisa, exterior corrugada perforada D=200mm	m	1,296.0	5.27	0.53	5.80	7,521	5.88	7,620	15,142
Tuberías Colectoras principales HDPE lisa PE100 PN6 D=280mm	m	34.2	20.77	2.08	22.85	781	13.88	475	1,256
Tuberías Colectoras principales HDPE lisa PE100 PN6 D=450mm	m	2,745.6	53.58	5.36	58.94	161,838	35.80	98,298	260,137
Cámara principal manejo de soluciones Inicio	un	1.0	3,200.00	320.00	3,520.00	3,520	640.00	640	4,160
Cámara principal manejo de soluciones de traspaso	un	5.0	3,200.00	320.00	3,520.00	17,600	640.00	3,200	20,800
Reducción excéntrica HDPE corrugado 250mm x 200mm	un	6.0	27.35	2.74	30.09	181	10.25	62	242
Copla unión D=250mm corrugada - D=280mm lisa	un	6.0	16.66	1.67	18.33	110	20.82	125	235
Tee 90° HDPE lisa D=450mm	un	5.0	160.75	16.08	176.83	884	107.41	537	1,421
Codo 90° HDPE lisa D=450mm	un	1.0	80.38	8.04	88.42	88	71.60	73	160
Sistema de Traspaso de Soluciones						209,339		183,454	392,793
Tuberías traspaso Pila-Cajones HDPE lisa PE100 PN6 D=450mm	m	3,312.8	53.58	5.36	58.94	195,259	35.80	118,607	313,866
Excavación zanja conexión a Cajones	m²	5,118.4	0.00	0.00	0.00	0	11.47	58,688	58,688
Cámara disipadora de energía Drop box, traspaso de solución	un	4.0	3,200.00	320.00	3,520.00	14,080	640.00	2,560	16,640
Emplantillado e=5cm	m²	9.0	0.00	0.00	0.00	0	397.77	3,599	3,599
Sistema de Impulsión						1,932,442		463,559	2,396,001
Estación de Impulsión - Refinio (Bombas Verticales a Booster)									
Bombas verticales tipo turbina Q: 300m3/h, TDH: 30 mcf, Potencia eléctrica: 37 kW (con balsa)	un	3.0	137,764.00	13,776.40	151,540.40	454,621	41,329.20	123,988	578,609
Flange de respaldo DN 350 mm, SS 304 ANSI/ASME B16.5, clase 150 PSI	un	14.0	513.83	51.39	565.22	7,913	154.15	2,158	10,071
Stub end 355 mm, HDPE PE100 PN10	un	14.0	63.28	6.33	69.61	975	101.54	1,422	2,396
Reducción en derivación 90° DN 355X110 PECC100, pn10	un	2.0	55.55	5.56	61.11	122	39.33	79	201
Reducción en derivación 90° DN 355X63 PECC100, pn10	un	2.0	52.25	5.23	57.48	115	36.99	74	189
Reducción en derivación 90° DN 400X63 PECC100, pn10	un	3.0	65.61	6.57	72.18	217	46.45	139	356
Reducción en derivación 90° DN 400X110 PECC100, pn10	un	10.0	68.91	6.90	75.81	758	48.78	488	1,246
Reducción en derivación 90° DN 355X63 PECC100, pn10	un	2.0	52.25	5.23	57.48	115	36.99	74	189
Válvula check 350 mm, wafer, duo check, ASME 16.5, clase150, cuerpo 316L, asiento BUNA-N, disco, resorte y vástago 316L	un	2.0	3,587.12	358.72	3,945.84	7,892	322.84	646	8,537
Válvula mariposa 350 mm, lug ASME 16.5, clase150, high performace, cuerpo 316 L, asiento y sello PTFE, disco y vástago 316L, accionamiento caja reductora	un	3.0	3,960.19	396.02	4,356.21	13,069	356.42	1,069	14,138
Válvula de bola 50 mm, split body, brindada ASME 16.5, clase 150, cuerpo y bola 316L, asiento y sello RTFE, paso total, accionamiento por palanca	un	10.0	247.99	24.80	272.79	2,728	22.32	223	2,951
Flange ciego 400 mm, SS 304, ASME B16.5, clase150	un	3.0	419.04	41.91	460.95	1,383	125.71	377	1,760
Tee Reduccion exc. Pecc 100 PN10 DN 400x355 mm	un	6.0	178.59	17.86	196.45	1,179	126.43	759	1,937
Válvula mariposa 400 mm, lug ASME 16.5, clase150, high performace, cuerpo 316 L, asiento y sello PTFE, disco y vástago 316L, accionamiento caja reductora	un	4.0	5,279.45	527.95	5,807.40	23,230	475.15	1,901	25,130
Flange de respaldo 1000 mm, 304L, ASME B16.5, clase 150	un	12.0	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0
Stub end 1000 mm, vm, hdpe pe100 PN6	un	12.0	343.48	34.35	377.83	4,534	529.94	6,359	10,893
Stub end 200 mm, VM, HDPE PE100 PN10	un	3.0	20.92	2.10	23.02	69	32.27	97	166
Flange de respaldo 200 mm, 304L, ASME B16.5, clase 150	un	3.0	239.79	23.98	263.77	791	71.94	216	1,007
Reducción excéntrica 355 mm x 200 mm, HDPE PE100 PN 10	un	3.0	66.72	6.68	73.40	220	47.23	142	362
Válvula mariposa 100 mm, lug ASME 16.5, clase150, high performace, cuerpo 316 L, asiento y sello PTFE, disco y vástago 316L, accionamiento palanca	un	5.0	631.34	63.14	694.48	3,472	56.82	284	3,757

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD CUBICADA	ADQUISICIÓN				CONSTRUCCIÓN		TOTAL COSTOS DIRECTOS US\$
			P.UNIT. US\$	FLETES, SEG Y BODEGA US\$	TOTAL P.UNIT. US\$	P.TOTAL US\$	COSTO UNIT. US\$	P.TOTAL US\$	
Válvula de venteo 100 mm, tipo globo, conexión ASME B16.5, clase 150, trifuncional, cuerpo y trim 316L, asiento PTFE	un	5.0	12,633.92	1,263.40	13,897.32	69,487	1,137.05	5,685	75,172
Stub end 110 mm, VM, HDPE PE100 PN10	un	15.0	6.40	0.65	7.05	106	9.88	148	254
Flange de respaldo 50 mm, 304L, ASME B16.5, clase 150	un	20.0	48.94	4.90	53.84	1,077	14.68	294	1,370
Stub end 63mm, VM, HDPE PE100 PN10	un	20.0	2.12	0.22	2.34	47	3.26	65	112
Flange de respaldo 100 mm, 304L, ASME B16.5, clase 150	un	15.0	132.13	13.22	145.35	2,180	40.96	614	2,795
Flange de respaldo 400 mm, 304L, ASME B16.5, clase 150	un	12.0	1,101.06	110.11	1,211.17	14,534	330.32	3,964	16,498
Stub end 400 mm, HDPE PE100 PN10	un	12.0	79.98	8.00	87.98	1,056	128.33	1,540	2,596
Flujómetro magnético 355 mm, ASME B16.5, Clase150	un	1.0	19,932.00	1,993.20	21,925.20	21,925	876.65	877	22,802
Flujómetro magnético 1000 mm, ASME B16.5, Clase150	un	1.0	35,000.00	3,500.00	38,500.00	38,500	1,539.37	1,539	40,039
Cañería 355 mm, HDPE PE100 PN10	m	84.0	50.62	5.07	55.69	4,678	33.82	2,841	7,520
Cañería 400 mm, HDPE PE100 PN10	m	410.0	63.98	6.40	70.38	28,856	42.75	17,527	46,383
Cañería 63 mm, HDPE PE100 PN10	m	40.0	1.63	0.17	1.80	72	1.09	43	115
Codo 90° 400 mm, HDPE PE100 PN10	un	12.0	95.97	9.60	105.57	1,267	67.94	815	2,082
Codo 45° 400 mm, HDPE PE100 PN10	un	2.0	95.97	9.60	105.57	211	67.94	136	347
Tee Full Size PECC 100 PN10 DN 400 mm	un	1.0	191.94	19.20	211.14	211	135.89	136	347
Cañería 1000 mm HDPE PE100 PN6	m	12.0	264.22	26.43	290.65	3,488	176.53	2,118	5,606

Estación de Re-impulsión -Refino (Bombas Booster a Pie de Pila)									
Bombas centrifugas horizontales con descarga vertical Q: 300m3/h; TDH: 120 mof; Potencia eléctrica: 160 kW	un	3.0	124,762.00	12,476.20	137,238.20	411,716	37,428.80	112,288	524,000
Cañería 250 mm, HDPE PECC 100 PN16	m	36.0	36.95	3.70	40.65	1,463	24.69	888	2,352
Cañería 400 mm, HDPE PECC 100 PN16	m	1,610.0	94.51	9.48	103.97	167,397	63.15	101,688	269,085
Cañería 63 mm, HDPE PECC 100 PN16	m	30.0	2.40	0.24	2.64	79	1.60	48	127
Cañería 350 mm, HDPE PECC 100 PN16	m	10.0	74.44	7.45	81.89	819	49.74	497	1,316
Flange de respaldo 250 mm, 304L, ASME B16.5, clase 150	un	16.0	342.55	34.26	376.81	6,029	108.19	1,699	7,728
Válvula check 250 mm, wafer, duo check, ASME B16.5, clase150, cuerpo 316L, asiento BUNA-N, disco, resorte y vástago 316L	un	3.0	2,080.53	208.06	2,288.59	6,866	187.25	562	7,428
Válvula mariposa 350 mm, lug ASME B16.5, clase150, high performace, cuerpo 316 L, asiento y sello PTFE, disco y vástago 316L, accionamiento caja reductora	un	3.0	3,960.18	396.02	4,356.21	13,069	366.42	1,069	14,138
Válvula mariposa 250 mm, lug ASME B16.5, clase150, high performace, cuerpo 316 L, asiento y sello PTFE, disco y vástago 316L, accionamiento caja reductora	un	4.0	2,080.56	208.06	2,288.62	9,154	187.25	749	9,903
Válvula mariposa 400 mm, lug ASME B16.5, clase150, high performace, cuerpo 316 L, asiento y sello PTFE, disco y vástago 316L, accionamiento caja reductora	un	1.0	5,270.45	527.05	5,807.40	5,807	475.15	475	6,283
Válvula mariposa 100 mm, lug ASME B16.5, clase150, high performace, cuerpo316L, asiento PTFE, disco y vástago 316L, accionamiento palanca	un	8.0	631.34	63.14	694.48	5,556	56.82	455	6,010
Válvula de venteo 100 mm, tipo globo conexión ASME B16.5, clase 150, trifuncional, cuerpo y trim 316L, asiento PTFE, bola A351 CF8M	un	8.0	12,633.92	1,263.40	13,897.32	111,179	1,137.05	9,098	120,275
Stub end 110 mm, HDPE PE100 PN16	un	24.0	6.18	0.62	6.78	183	14.41	346	509
Flange de respaldo 100 mm, 304L, ASME B16.5, clase 150	un	24.0	132.13	13.22	145.35	3,488	40.96	983	4,471
Flange de respaldo 60 mm, 304L, ASME B16.5, clase 150	un	20.0	48.94	4.90	53.84	1,077	14.68	294	1,370
Stub end 63 mm, HDPE PE100 PN16	un	20.0	2.03	0.21	2.24	45	4.80	96	141
Flujómetro magnético 360 mm, ASME B16.5, Clase150	un	1.0	19,932.00	1,993.20	21,925.20	21,925	876.65	877	22,802
Válvula de bola 50 mm, split body, bridada ASME B16.5, clase 150, cuerpo y bola SS,316, asiento y sello Viton, paso total, accionamiento por palanca	un	12.0	7,796.75	779.68	8,576.43	102,917	701.71	8,420	111,338
Reducción concéntrica 250 x 160 mm, HDPE PE100 PN16	un	3.0	52.18	5.22	57.40	172	36.94	111	283
Reducción excéntrica 400 x 350 mm, HDPE PE100 PN16	un	2.0	168.96	16.90	185.86	372	119.62	239	611
Tee Reduccion conc. Pecc 100 PN10 DN 400x250 mm	un	3.0	225.08	22.60	248.68	746	169.98	480	1,226
Reduccion en derivacion 90° DN 400X63 PECC100, PN16	un	2.0	191.42	19.15	210.57	421	135.52	271	692
Flange ciego 400 mm, SS 304, ASME B16.5, clase150	un	1.0	419.04	41.91	460.95	461	125.71	126	587
Stub end 160 mm, HDPE PE100 PN16	un	3.0	19.04	1.91	20.95	63	30.55	92	155
Flange de respaldo 150 mm, 304L, ASME B16.5, clase 150	un	3.0	132.13	13.22	145.35	436	40.96	123	559
Junta de Expansión, 150 mm, Clase 150, ASME B16.5.	un	3.0		0.00	0.00	0		0	0
Stub end 365 mm, HDPE PE100 PN16	un	8.0	93.08	9.31	102.37	819	149.31	1,195	2,013
Flange de respaldo 350 mm, 304L, ASME B16.5, clase 150	un	8.0	513.83	51.39	565.22	4,522	154.15	1,233	6,755
Stub end 400 mm, HDPE PE100 PN16	un	3.0	118.14	11.82	129.96	390	189.57	588	959
Flange de respaldo 400mm, 304L, ASME B16.5, clase 150	un	3.0	1,101.06	110.11	1,211.17	3,634	330.32	991	4,624
Reduccion en derivacion 90° DN 355X63 PECC100, PN16	un	2.0	76.84	7.69	84.53	169	54.40	109	278
Reduccion en derivacion 90° DN 250X63 PECC100, PN16	un	6.0	39.35	3.94	43.29	260	27.86	167	427
Reduccion en derivacion 90° DN250X110 PECC100, PN16	un	3.0	44.14	4.42	48.56	146	31.25	94	239
Reduccion en derivacion 90° DN 400X110 PECC100, PN16	un	5.0	101.70	10.17	111.87	569	72.00	360	919
Codo 90° 400 mm, HDPE PE100 PN16	un	6.0	141.77	14.18	155.95	936	100.37	602	1,538
Codo 45° 400 mm, HDPE PE100 PN16	un	4.0	141.77	14.18	155.95	624	100.37	401	1,025
Codo 45° 365mm, HDPE PE100 PN16	un	2.0	111.67	11.17	122.84	246	79.06	158	404
Tee Reduccion exc. Pecc 100 PN16 DN 355x250 mm	un	1.0	185.84	18.59	204.43	204	131.57	132	336
Tee 45° pecc100 PN16, dn 365	un	2.0	223.33	22.34	245.67	491	169.11	316	809

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD CUBICADA	ADQUISICIÓN				CONSTRUCCIÓN		TOTAL COSTOS DIRECTOS US\$
			P.UNIT. US\$	FLETES, SEG Y BODEGA US\$	TOTAL P.UNIT. US\$	P.TOTAL US\$	COSTO UNIT. US\$	P.TOTAL US\$	
ARRANQUES A PIE DE PILA									
Tee reducción excéntrica 400 mm x 200 mm, HDPE PE100 PN16	un	6.0	212.76	21.28	234.04	1.404	160.62	904	2.308
Válvula manoposa 200 mm, lug ASME 16.5, clase150, high performance, cuerpo 316 L, asiento y sello PTFE, disco y vástago 316L, accionamiento palanca	un	6.0	1,549.66	154.97	1,704.63	10,228	139.47	837	11,065
Válvula manoposa 150 mm, lug ASME 16.5, clase150, high performance, cuerpo 316 L, asiento y sello PTFE, disco y vástago 316L, accionamiento palanca	un	12.0	703.08	70.31	773.39	9,281	63.28	759	10,040
Stub end 150 mm , HDPE PE100 PN16	un	36.0	19.04	1.91	20.95	754	30.55	1,100	1,854
Reducción excéntrica 200 mm x 150 mm, HDPE PE100 PN16	un	24.0	49.77	4.98	54.75	1,314	25.55	613	1,927
Reducción en derivación 200 mm x 63mm, HDPE PE100, PN16	un	18.0	39.35	3.94	43.29	779	20.20	364	1,143
Válvula de bola 60 mm, split body, bridada ASME 16.5, clase 150, cuerpo y bola 316L, asiento y sello RTFE, paso total, accionamiento por palanca	un	24.0	7,796.75	779.68	8,576.43	205,834	701.71	16,841	222,675
Stub end 63 mm, HDPE PE100 PN16	un	42.0	2.99	0.30	3.29	138	4.80	202	340
Flujómetro magnético 150 mm, ASME B16.5, Clase150	un	6.0	5,335.00	533.50	5,868.50	35,211	152.37	914	36,125
Stub end 200 mm, VM, HDPE PE100 PN16	un	6.0	29.97	3.00	32.97	198	47.00	238	483
Reducción en derivación 100 mm x 63 mm, HDPE PE100, PN16	un	12.0	17.63	1.77	19.40	233	12.48	150	383
Flange de respaldo 150 mm, 304L, ASME B16.5, clase 150	un	36.0	132.73	13.22	145.95	5,233	40.98	1,475	6,707
Flange de respaldo 50 mm, 304L, ASME B16.5, clase 150	un	42.0	48.64	4.90	53.54	2,261	14.68	617	2,878
Flange de respaldo 250 mm, 304L, ASME B16.5, clase 150	un	6.0	239.79	23.98	263.77	1,583	71.94	432	2,014
Válvula ventosa 50 mm, split body, bridada ASME 16.5, clase 150, cuerpo y trim 316L, asiento y sello PTFE	un	6.0	7,796.75	779.68	8,576.43	51,489	701.71	4,210	55,699
Cañería 400 mm, HDPE PE100 PN16	m	70.0	94.61	9.48	103.87	7,278	63.15	4,420	11,898
Cañería 200 mm, HDPE PE100 PN16	m	76.0	23.73	2.38	26.11	1,958	15.98	1,139	3,147
Cañería 83 mm, HDPE PE100 PN16	m	27.0	2.40	0.24	2.64	71	1.60	43	114
Cañería 180 mm, HDPE PE100 PN16	m	18.0	15.23	1.53	16.76	302	10.18	133	485
Tee Full Sixe PE100 PN16 DN 200 mm	un	12.0	71.19	7.12	78.31	940	50.40	605	1,545
Codo 90° 200 mm, HDPE PE100 PN16	un	12.0	35.60	3.56	39.16	470	25.20	302	772
Sistema Eléctrico e Instrumentación						323,892	141,519	465,411	
Sala Eléctrica N°3 Existente									
Centro de Control de Motores BT (Bombas Flotantes - Bombas Booster)	un	1.0	31,029.50	3,102.95	34,132.45	34,132	0.00	0	34,132
Variadores de Frecuencia 400 V - 250 kW (Bombas Booster)	un	3.0	34,157.20	3,415.72	37,572.92	112,719	0.00	0	112,719
Transformador de de Poder 13.8/0.4 kV - 1 MVA	un	1.0	39,376.30	3,937.63	43,313.93	43,314	0.00	0	43,314
Cables de Fuerza y Control Bombas Refino y Booster									
Cable de MT - 15 kV 133% 1x3/c N° 4 AWG	m	100.0	65.40	6.54	71.94	7,194	0.00	0	7,194
Cable de BT - 600 V 1x 4/c N° 2 AWG	m	1,000.0	43.60	4.36	47.96	47,960	0.00	0	47,960
Cable de Control 600 V - 1x3/c 14 AWG	m	1,000.0	9.50	0.95	10.45	10,450	0.00	0	10,450
Cable 1x4/c N° 10 AWG - 600 V	m	600.0	7.00	0.70	7.70	4,620	0.00	0	4,620
Conduit PVC Sch. 40 - 4"	tiras	30.0	31.80	3.18	34.98	1,049	0.00	0	1,049
Escaleras de FRP 450 x 100 mm con tapa, separador 100 mm y accesorios	tiras	300.0	142.70	14.27	156.97	47,091	0.00	0	47,091
Accesorios (Botoneras, enchufes, luminarias, mufas, etc.) y ferretería en general	gl	1.0	8,486.30	848.63	9,334.93	9,335	0.00	0	9,335
Conductor de Cu desnudo 4/0 AWG - 17 hebras	m	200.0	27.40	2.74	30.14	6,028	0.00	0	6,028
Construcción y Montaje									
Montaje, Cableado y Conexión Equipos en Sala eléctrica	gl	1.0	0.00	0.00	0.00	0	13,790.20	13,790	13,790
Montaje, cableado y conexión Transformador de Poder 13.8/0.4 kV - 1MVA	un	1.0	0.00	0.00	0.00	0	3,818.80	3,819	3,819
Montaje de equipos y tableros	un	4.0	0.00	0.00	0.00	0	636.60	2,546	2,546
Canalizaciones	m	800.0	0.00	0.00	0.00	0	63.60	50,880	50,880
Cableado	m	3,200.0	0.00	0.00	0.00	0	15.90	50,880	50,880
Conexión	gl	18.0	0.00	0.00	0.00	0	361.90	6,874	6,874
Pruebas y puesta en marcha	gl	1.0	0.00	0.00	0.00	0	12,729.40	12,729	12,729
Subtotal Pila de Lixiviación						3,694,276	4,745,573	8,439,849	
TOTAL COSTO DIRECTO						3,694,276	4,745,573	8,439,849	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD CUBICADA	ADQUISICIÓN				CONSTRUCCIÓN		TOTAL COSTOS DIRECTOS US\$
			P.UNIT. US\$	FLETES, SEG Y BODEGA US\$	TOTAL P.UNIT. US\$	P.TOTAL US\$	COSTO UNIT. US\$	P.TOTAL US\$	
COSTOS INDIRECTOS									
Gastos Generales e Instalación de Faena (20% Costo Construcción)									949,115
Utilidades (15% Costo Construcción)									711,836
Ingeniería de Terreno									100,418
Inspección Técnica									183,040
Servicios CQA									211,200
Seguros de Construcción (7% Costo Directo)									645,648
Costos del Propietario (12% Costo Directo)									1,012,762
TOTAL COSTO INDIRECTO									3,814,039
CONTINGENCIA (5%)									612,694
ALLOWANCES									447,083
TOTAL COSTO DE INVERSIÓN									13,313,665

Anexo N 7: Evaluación de riesgos.

Los cálculos son: Probabilidad multiplicado por la suma de los cuatro factores de riesgo por el Impacto dado como peso relativo. Mientras mayor es el Peso relativo más importante es la actividad

Amenaza	Probabilidad	X	Factor de Riesgo				X	Impacto	=	Peso relativo			
			(V.Ocurrencia	+	Control	+					Duración	+	Intensidad)
Carencia de personal de liderazgo	4		2		2		1		2		4		112
DIA	4		1		2		2		2		4		112
Campamento	4		2		1		1		2		4		96
Accidentes	3		2		2		2		2		4		96
Recuperación de Cu	3		2		1		1		2		4		72
Cumplimiento de PEP	3		2		1		1		2		4		72
Precio de Cu	3		1		2		2		2		3		63
Costo de Operación (transportes)	3		2		1		2		2		3		63
Baja de temperatura (5		1		1		2		2		2		60
Permeabilidad	3		2		1		2		1		3		54
Bótilos en suspensión	3		2		1		2		1		3		54
Capex	2		2		1		1		2		4		48
VAN	2		2		1		1		2		3		36
TIR	2		2		1		1		2		3		36
Rendimiento de 30000 tpd	2		2		1		1		1		2		20
Impulsión de soluciones 600 m3/hr	2		2		1		1		1		2		20
Acidos	2		2		1		1		1		2		20
Tasa de fuego	1		2		1		1		1		2		10
Presión de fuego	1		2		1		1		1		2		10
Armado de pilas controlado	1		2		1		1		1		2		10
Desarme de pilas	1		2		1		1		1		2		10

Definición	Valores	Descripción
Probabilidad	1=Bajo 2=Poco probable 3=Puede ocurrir 4=Frecuente 5=Seguro	La posibilidad de que el evento ocurra
Velocidad de ocurrencia	1=Lento 2=Rápido	El periodo de tiempo entre que existe la alarma y ocurre el evento
Control	1=Suficiente 2=Insuficiente	Es la alarma suficiente
Duración	1=Corto 2=Largo	Tiempo esperado del evento
Intensidad	1=Baja 2=Alta	La intensidad o severidad del evento
Impacto	1=Insignificante 2=Menor 3=Moderado 4=Mayor 5=Catastrófico	Impacto al negocio, personas, etc