



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**EVALUACION ALTERNATIVAS DE PROCESAMIENTO LINEA HIDROMETALURGIA
DIVISIÓN SALVADOR-CODELCO CHILE**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN
GESTIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS**

JAIME ANDRES TAPIA GODOY

**PROFESOR GUÍA
LUIS ZAVIEZO SCHWARTZMAN**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN
JUAN PABLO ZANLUNGO MATSUHIRO
IVÁN BRAGA CALDERÓN**

**SANTIAGO DE CHILE
2016**

RESUMEN

División Salvador perteneciente a la corporación CODELCO que está ubicada en la tercera región del país, específicamente en el campamento de el Salvador, posee en la actualidad una producción de 54.000 Ton de cobre fino por año, lo que la sitúa en la gran minería, los niveles de producción descritos son obtenidos por dos líneas productivas que hoy posee la división, que son la línea de operación de sulfuros y óxidos.

El año 2013 la DSAL declaró el cierre total de operaciones en una de sus líneas productivas, óxidos, debido a la falta de reservas y los altos costos incurridos en años posteriores, para la cual se declaró un plan productivo que contemplaba aproximadamente un 25% de su capacidad nominal y asumiendo costos de cierre que bordeaba en promedio los 350 CuS\$/Lb Cu.

Esta decisión conlleva sus consecuencias en que DSAL que si se concretaba el cierre de la línea productiva podría pasar a ser de la mediana minería (Bajo niveles productivos de 50.000 Ton de cobre fino por año) por lo cual se realizaron los esfuerzos por entregar alternativas viables de producción por la línea mencionada, sin dejar de lado la componente de negocio que es vital para la continuidad del mismo en el tiempo.

Fue así como se realizaron esfuerzos el año 2014 obteniendo un 217% sobre programa de producción y conteniendo los costos que bordearon en promedio los 145 Cus\$ esto principalmente resultado en base a una operación de lixiviación de material OBL ROM y el ciclo de vida que contenía las pilas de alta ley.

Para el año 2015 la línea óxidos tiene contemplado una producción de 1.540 Ton de cobre fino, pero la DSAL ha puesto los esfuerzos en estudiar y evaluar diferentes recursos disponibles en la división para obtener una mayor producción, esta tesis busca aportar para entregar parámetros y evaluaciones sólidas de cada uno de estos materiales que puedan entregar viabilidad a cada uno de los sub-proyectos propuestos, se acotara en tres tipos de materiales debido al tiempo requeridos para las pruebas y el costo asociado a las pruebas industriales necesarias para minimizar el error de los modelos de negocios, los cuales serían : materiales de baja ley de óxidos y mixtos, material de rípios denominados históricos y material circulante (Proveniente de Potrerillos), para esto se realizaron estudios del tipo técnico (Metalúrgico y operativo) y evaluaciones económicas con diferentes escenarios y entregando análisis de sensibilidad acorde a la factibilidad, esto se espera sea un aporte para extender la vida de la línea Óxidos y un eje fundamental de la producción de DSAL en la búsqueda de maximizar su producción y disminuir sus costos en el corto y largo plazo.

Con los resultados obtenidos en el presente trabajo, técnicamente es factible obtener cátodos de cobre por vía lixiviación de los 3 tipos de materiales estudiados en la división salvador, además se entregaron análisis la viabilidad económica de los posibles escenarios de acuerdo a los recursos con que cuenta la división, donde se da un horizonte de 3 años en el corto plazo, con operación de solo estos materiales como OBL, Circulante y OBL ROM, el análisis final entrega costos competitivos que según los resultados de modelación económica como plan integrado, se encuentran en costos de operación bajo los 126,5 Cus\$/lb, rentable considerando que la evaluación contempla una operación mina-planta, sumado a la logística de transporte y comercialización del mismo.

DEDICATORIA.

A mi amor María José y mi hijo Gabrielito, mis razones para luchar cada día a ser mejor...

Por su amor, comprensión y fuerza en cada desafío....

TABLA DE CONTENIDO

1.- INTRODUCCION	1
1.1.- ORGANIZACIÓN	1
1.2.- DESCRIPCION DEL PROYECTO	3
1.2.1.- BREVE RESEÑA HISTORICA DE EL SALVADOR	4
1.2.2.- UBICACIÓN CAMPAMENTO	5
1.2.3.- CLIMA	7
1.2.4.- GEOLOGIA GENERAL	8
1.8.- UBICACIÓN DEL PROYECTO	8
2.- OBJETIVOS	9
3.- ALCANCE	9
4.- METODOLOGIA	10
5.- MARCO CONCEPTUAL	11
5.1.- ORIGEN PROCESOS DE LIXIVIACION Y VARIABLES ASOCIADAS	11
5.2.- INFORMACION PLANTA HIDROMETALURGIA EL SALVADOR	18
5.3.- PROBLEMAS EXISTENTES PRUEBAS INDUSTRIALES	18
6.2.- OPERACIÓN ACTUAL PLANTA HIDROMETALURGIA	19
5.5.- DESCRIPCION DE INVENTARIO DE SOLUCIONES PLANTA HIDROMETALURGIA	20
5.5.1.- DESCRIPCION SOLUCION ILS	20
5.5.2.- DESCRIPCION SOLUCION REFINO	21
5.5.3.- DESCRIPCION SOLUCION PLS	22
6.- CRITERIOS DE DISEÑO PARA OPERACIÓN	23
6.1.- SUMINISTROS DE INSUMOS BASICOS OPERACIÓN	23
6.2.- DESCRIPCION TECNICA Y PRUEBAS DE LABORATORIO DE MATERIALES A LIXIVIAR	24
6.2.1.- DESCRIPCION Y PRUEBAS DE LABORATORIO MATERIAL CIRCULANTE	25
6.2.2.- DESCRIPCION Y PRUEBAS DE LABORATORIO MATERIAL RIPIOS	29
6.2.3.- DESCRIPCION Y PRUEBAS DE LABORATORIO DE OXIDOS BAJAS LEYES.	32
6.3- SECTORES HABILITADOS PARA CARGUIO	33
6.4.- CAPACIDAD DE RECEPCION DE VOLUMEN DE SOLUCION PLANTA.	34
7.- DESARROLLO PRUEBAS INDUSTRIALES	35
7.1.-DISPOCISION DE SECTORES DE CARGUIO EN PLANTA	35
7.2.- DESCRIPCION DEL PROCESO DE PRUEBA INDUSTRIAL RIPIOS	36
7.3.- DESCRIPCION DEL PROCESO DE PRUEBA INDUSTRIAL MATERIAL OBL	40
7.4.- DESCRIPCION DEL PROCESO DE PRUEBA INDUSTRIAL MATERIAL CIRCULANTE	41
7.5- RESULTADOS PRUEBAS INDUSTRIALES	43
7.5.1.- RESULTADOS PRUEBAS INDUSTRIALES MATERIAL RIPIOS	43

7.5.2.- RESULTADOS PRUEBAS INDUSTRIALES MATERIAL CIRCULANTE	47
7.5.3- RESULTADOS PRUEBAS INDUSTRIALES MATERIAL OXIDOS DE BAJA LEY	52
8.- EVALUACION ECONOMICA MATERIALES ESTUDIADOS	56
8.1.- EVALUACION ECONOMICA PILA OXIDOS DE BAJA LEY	56
8.2.- EVALUACION ECONOMICA PILA CIRCULANTE	57
8.3.- EVALUACION ECONOMICA MATERIALES RIPIOS	59
8.4.- EVALUACION ECONOMICA PLAN MINERO INTEGRADO	60
9.- DISCUSION Y CONCLUSIONES	62
10.- BIBLIOGRAFÍA	64
11.- ANEXOS	65

INDICE DE TABLAS.

Tabla N°5.1: PARAMETROS OPERACIONALES PLANTA HIDROMETALURGIA	19
Tabla N°5.2: PROPIEDADES DE LA SOLUCION ILS	21
Tabla N°5.3: PROPIEDADES DE LA SOLUCION REFINO PLANTA	22
Tabla N°6.1: ANALISIS MINERALOGICO DE MATERIAL CIRCULANTE	25
Tabla N°6.2: DESCRIPCION MINERALOGICA PILA DE CIRCULANTE	26
Tabla 6.3: ANALISIS GRANULOMTERICO PILA DE CIRCULANTE	26
Tabla N°6.4: DATOS INICIALES EN PRUEBAS DE LABORATORIO	27
Tabla N°6.5: LEYES DE MATERIALES DE RIPIOS PARA PRUEBA DE LABORATORIO	30
Tabla N°7.1: DATOS PRUEBA INDUSTRIAL PILA DE CIRCULANTE	47
Tabla N°8.1: PLAN MINERO DE OXIDOS DE BAJAS LEYES	56
Tabla N°8.2: ANALISIS ECONOMICO PLAN DE MATERIALES OXIDOS BAJAS LEYES	57
Tabla N°8.3: ANALISIS ECONOMICO PILA DE CIRCULANTE	58
Tabla N°8.4: PLAN MINERO DE MATERIAL DE RIPIOS	59
Tabla N°8.5 ANALISIS ECONOMICO DE MATERIAL DE RIPIOS, DSAL	60
Tabla N°8.6: EVALUACION ECONOMICA DE PLAN MINERO INTEGRADO, DSAL	61
Tabla N°9.1: RESUMEN DATOS DE OPERACIÓN	62

INDICE DE ILUSTRACIONES.

Figura N°1.1: ORGANIGRAMA DIVISION SALVADOR - CODELCO	3
Figura N° 2.1 UBICACIÓN TERCERA REGION EN MAPA DE CHILE	6
Figura N° 2.2 UBICACIÓN DEL CAMPAMENTO MINERO DE EL SALVADOR EN MAPA DE LA TERCERA REGION DE CHILE	7
Figura N°2.3 MAPA GEOGRAFICO DE DIVISION EL SALVADOR	8
Figura N°5.1: ESQUEMA LIXIVIACION EN PILAS	11
Figura N°5.2: MECANISMO QUE DA ORIGEN A LA CURVA PARABOLICA DE LA LIXIVIACION	13
Figura N°6.1 : TABLA DE RECUPERACION DE LABORATRIO MATERIAL CIRCULANTE	27
Figura N°6.2 : CONSUMO DE ACIDO DE MATERIAL CIRCULANTE	28
Figura N°6.3: RAZON DE LIXIVIACION VS CONCENTRACION DE CU EN EFLUENTES	29
Figura N°6.4: RECUPERACION EN COBRE TOTAL VS RAZON DE LIXIVIACION, MATERIAL CIRCULANTE	29
Figura N°6.5 PRUEBAS DE LABORATRIO MATERIAL DE RIPIOS, CONSUMO DE ACIDO Y RECUPERACION EN COBRE TOTAL	31
Figura N°6.6: CAPACIDAD DE SATURACION MATERIAL DE RIPIOS	32
Figura N°6.7 MODELO DE RECUPERACION EN BASE A PRUEBA INDUSTRIAL DE RIPIOS	33
Figura N°6.8: DISPOCISION DE PLANTA CON SECTORES ASOCIADOS A LAS PRUEBAS INDUSTRIALES	36
Figura N°7.1: PROCESO DE OBTENCION DE RIPIOS EN BASE A PROCESO OXIDO DE ALTA LEY	37
Figura N°7.2: CONFIGURACION DE RECOLECCION DE SOLUCIONES PROCESO DE LIXIVIACION RIPIOS	38
Figura N°7.3: ESQUEMA GENERAL DE PILA DE RIPIOS, DSAL.	39
Figura N°7.4: FRANJA DE 10 mts.	40
Figura N°7.5: DISPOCISION EN PLANTA DE PLATAFORMA TURQUEZA	41
Figura N°7.6: DEMARCACION DE CARGUIO PILA DE MATERIAL CIRCULANTE	42
Figura N°7.7: DESCRIPCION FOTOGRAFICA DE FORMACION DE PILA CIRCULANTE	43
Figura N°7.8: CONCENTRACIONES DE COBRE EFLUENTES VS RIEGO PILAS	44
Figura N°7.9: RECUPERACION EN COBRE TOTAL DE PRUEBA INDUSTRIAL DE RIPIOS	45
Figura N°7.10: CONSUMO ACIDO PILA DE RIPIOS	45
Figura N°7.11: CAUDALES DE RIEGO PILA DE RIPIOS	46
Figura N°7.12: RECUPERACION EN COBRE TOTAL VS RAZON DE LIXIVIACION, PRUEBA DE RIPIOS	47
Figura N°7.13: ANALISIS DE CAUDAL DE SOLUCIONES EN PRUEBA PILA CIRCULANTE	48
Figura N°7.14: CONCENTRACIONES DE COBRE EN RIEGO Y EFLUENTES PILA DE CIRCULANTE	48

Figura N°7.15: RECUPERACION EN COBRE TOTAL DE PILA DE CIRCULANTE	49
Figura N°7.16: CONSUMO DE ACIDO EN PRUEBA MATERIAL CIRCULANTE	49
Figura N°7.17: REACCIONES QUIMICAS INVLUCRADAS EN EL PROCESO DE LIXIVIACION PILA DE CIRCULANTE	50
Figura N°7.18: CONCENTRACION DE ION FERROSO EN EL SISTEMA DE REFINO PLANTA HIDROMETALURGIA, DSAL	51
Figura N°7.19: CONCENTRACION DE ION FERRICO EN EL SISTEMA DE REFINO PLANTA HIDORMETALURGIA, DSAL	51
Figura N°7.20: PILA TURQUESA EN RIEGO, PRUEBA INDUSTRIAL OXIDOS BAJAS LEYES	52
Figura N°7.21: CONSUMO DE ACIDO PRUEBA INDUSTRIAL OXIDOS BAJA LEY	53
Figura N°7.22: CONCENTRACIONES DE COBRE EN EFLUENTE VS SOLUCION DE RIEGO	53
Figura N°7.23: CAUDALES DE RIEGO VS EFLUENTES PRUEBA INDUSTRIAL OXIDOS BAJA LEY	54
Figura N°7.24: RECUPERACION EN COBRE TOTAL PILA INDUSTRIAL OXIDOS BAJAS LEYES	54
Figura 11.1: RESUMEN DE COSTOS DE OPERACIÓN PLANTA HIDROMETALURGIA 2013-2014	65

1. INTRODUCCIÓN.

La División Salvador de CODELCO- Chile inicio sus operaciones en noviembre de 1959 bajo la administración Copper Mining Company, posteriormente en 1971 paso a manos del estado de Chile, finalmente en 1976 comenzó a ser administrada por la Corporación del Cobre (CODELCO).

División Salvador hoy en día dentro de sus áreas productivas cuenta con dos líneas de producción de minerales, la línea de Sulfuros y la línea de Óxidos, siendo esta última el motivo de presentación de este documento. Si bien las actividades asociadas a la línea de óxidos han cumplido con sus obligaciones ambientales de presentación ante la autoridad competente, muchas de estas actividades que habían cesado operaciones se reactivarán con la finalidad de aprovechar las ventajas del mercado de metales.

Tal como se menciona el año 2013 en su plan productivo como DSAL, se presentó el cierre de las operaciones mineras asociadas a la línea óxidos con una capacidad nominal de 27.000 Ton cátodos por año, por lo cual se presentó un plan de producción para el año 2014 de 4.654 Ton de cobre fino por la línea mencionada, lo cual se cumplió en un 217% con una baja sostenida de costos (En promedio 145 Cus\$/lb), lo cual presento una oportunidad de lixiviación de nuevos materiales y/o recursos en la división, como son : material circulante, óxidos de baja ley, ripios históricos.

Este tipo de lixiviación se ha realizados en diversas operaciones del país como por ejemplo en Chuquicamata y Radomiro Tomic, pero la complejidad que presenta este desafío en la DSAL es la diferencia en recursos asociados y el menor margen presentado por los volúmenes asociados del recurso, lo cual hace imperioso una evaluación y operación optimizada de estos recursos para obtener un negocio rentable.

1.1. ORGANIZACIÓN.

Esta división depende organizacional y funcionalmente de la Vicepresidencia de Operaciones Centro-Sur. Dicha Vicepresidencia congrega las siguientes Divisiones:

- División El Teniente
- División Ventanas
- División Andina

Específicamente, la División es liderada por un Gerente General, dependiendo directamente de ella 6 Gerencias, más una Consejería Jurídica que hoy está siendo emigrada a la casa matriz.

Sucintamente, a continuación se describen las funciones y responsabilidades de cada una de las Gerencias.

- **Gerencia Minas-Plantas:** Responsable de realizar la explotación de la Mina Subterránea y rajo abierto, para la extracción mineral de cobre sulfurado y oxidado, hasta la salida del proceso de chancado primario de ambas plantas, luego procesa el mineral proveniente del chancado primario de la Mina Chuquicamata, realizando el proceso de beneficio de minerales, hasta obtener un concentrado de cobre, el cual puede ser enviado a la Fundición, procesamiento en División Salvador y/o venta al mercado. Esta gerencia, obtiene subproductos tales como: trióxido de molibdeno y concentrado de molibdenita. En sus plantas concentradoras se procesan minerales de Mina Chuquicamata, División Radomiro Tomic y Escorias de Fundición Chuquicamata.
- **Gerencia Fundición y Refinería:** Funde los concentrados propios provenientes de la Gerencia Concentración y concentrados externos, para la obtención de ánodos de cobre y su posterior refinación electrolítica, en conjunto con ánodos provenientes de División El Teniente y externos, para producir cátodos de cobre electro refinados y barro anódico.
- **Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo:** Planifica y controla la producción de cobre y subproductos de corto, como también de largo plazo, para cada uno de los procesos mineros y metalúrgicos que constituyen la División.
- **Gerencia de Recursos Humanos:** Encargada de realizar y normar las actividades de provisión de personal, realización de planes de desarrollo de las personas, actividades con dirigencia sindical y funciones de relaciones laborales. Se relaciona con la Inspección del Trabajo.
- **Gerencia de Seguridad Salud Ocupacional:** Lidera, planifica y controla la gestión de seguridad de las personas y la integridad de las instalaciones. Se relaciona con instituciones fiscalizadoras en el ámbito de la seguridad y la salud ocupacional.
- **Gerencia de servicios, suministros y Proyectos:** Lidera la obtención de ideas, elaboración, construcción, desarrollo, ejecución y puesta en marcha de la cartera de proyectos de la División, alienada con la Vicepresidencia de Proyectos, la Gerencia de Administración y las Gerencias que serán las dueñas de los futuros activos
- **Gerencia de Administración:** Lidera la gestión de la División en aspectos tales como: Inversiones y Costos, realiza el control de gestión en ámbitos de seguridad, producción, costos, inversiones y proyectos. Realiza actividades transaccionales de contraloría, abastecimiento y tecnologías de la información.
- **Consejería Jurídica:** Realiza todas actividades en el ámbito legal y de tribunales. Además, cautela la propiedad minera del distrito de Chuquicamata.

Dependiente de la Gerencia de Administración, está la Dirección de Estrategia y Control de Gestión, dicha unidad, entre otras funciones, tiene la misión de liderar, construir y controlar el desarrollo de los ejercicios presupuestarios de operación de la División.

El organigrama de la División Salvador se muestra a continuación en la Figura N°1.1:

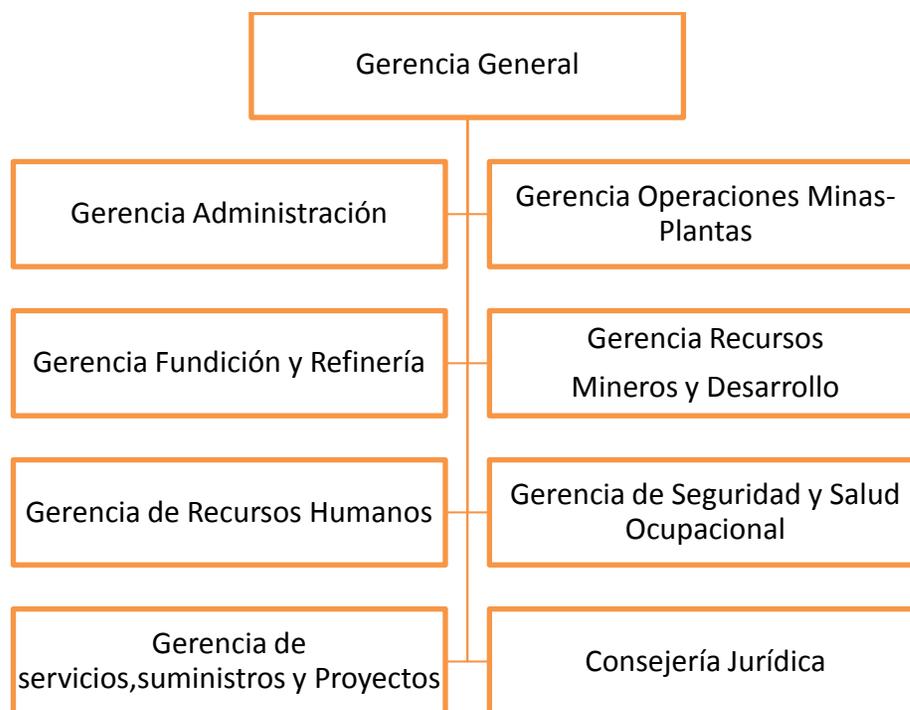


Figura N°1.1: Organigrama División Salvador - CODELCO

1.2. DESCRIPCION DEL PROYECTO.

Para el año 2013, la División Salvador de Codelco instruyo en sus planes productivos, de acuerdo a análisis mineros de recursos disponible en la división, poner fin a una de sus líneas productivas, la correspondiente a la línea de óxidos de la división, que posee una capacidad nominal de producción 27.000 Ton de cátodos de cobre por año, las razones expuestas para la decisión de cierre de operaciones fueron el agotamiento de recursos mineros y altos costos operativos obtenidos en los años posteriores por esta línea, de acuerdo a esto se planifico para el año 2014 un plan productivo que contemplaba 4.565 Ton de cátodos asumiendo un costo de cierre en promedio de 356 Cus\$/Lb, este alto nivel de costo se explica por la baja producción y costos que son asociados al cierre de instalaciones.

Sin embargo los resultados obtenidos en el año 2014 se contrastan de manera positiva con la planificado inicialmente, debido principalmente a que se realizó una producción catódica superior en un 217% y una baja de costos sostenida que logro entregar en promedio un costo de producción catódico de 148 Cus\$/Lb, por lo cual estos resultados condujeron al análisis de una oportunidad de negocio real en esta línea productiva, esta performance alcanzada se basa principalmente en la lixiviación de otros materiales de menor costo en contraste al ya conocido oxido de alta ley y su operación minera que contempla altos gastos en el traslado del mismo posterior a la operación de planta (Deposito y movimiento de ripios).

En la actualidad la operación en planta hidrometalurgia se basa en el proceso de lixiviación de materiales denominados como OBL ROM (Proveniente de la Mina directamente de la operación de tronadura), y la búsqueda de nuevos materiales que sean rentables para un proceso de lixiviación, el trabajo de la presente tesis aborda la problemática y la oportunidad de estudiar estos posibles materiales para así optimizar la operación de estos mismos, junto con la evaluación económica cada uno de ellos, es importante mencionar que este presente estudio se acotara a tres tipos de materiales que posee la división salvador en sus reservas mineras los cuales son, material circulante, material OBL ROM y Material de ripios.

Cabe mencionar que los recursos que hoy se disponen en la división son aproximadamente más de 50.000.000 Millones de toneladas que aún no son procesados por la incertidumbre de su potencial beneficio, y considerando los menores márgenes que pueden presentar cada uno de ellos, por lo que esta tesis abordara con parámetros de operación metalúrgica sumado a evaluaciones consistentes y fundadas de los potenciales negocios descritos y que aporten de manera real a una extensión de la vida operativa de la línea de óxidos de DSAL, sin dejar de mencionar que sería un aporte significativo a los niveles productivos de la división Salvador.

1.2.1 BREVE RESEÑA HISTORICA DE SALVADOR

La División Salvador es un complejo minero industrial que se inaugura el 28 de noviembre de 1959, manejado por la empresa estadounidense Andes Copper Mining Company. En 1971, paso a manos del Estado y en 1976 comenzó a ser administrado por CODELCO, tras la fundación de la Corporación.

El inicio de las operaciones de División Salvador se remonta al año 1959, como sucesor del mineral de Potrerillos (1927-1959), que luego de cumplir un importante ciclo en la minería chilena, comenzó a agotar sus reservas, por esta razón en los planos de exploración se buscó en los alrededores de Potrerillos otros minerales de importancia.

Las exploraciones no fueron satisfactorias hasta el año 1954, en que con la visión de los geólogos del Staff de Anaconda Copper Company (Empresa norteamericana dueña de la Andes Copper Mining Company), liderados por William Swayne, descubrió el yacimiento Indio Muerto, conocido desde la época de los Incas. La apertura de este mineral, demando una gran inversión por la distancia de 48 Km del centro de actividades de Potrerillos. Los trabajos comenzaron en 1956 y culminaron con la puesta en marcha de la mina el salvador en 1959, nuevo nombre que adquiere por salvar la compañía con nuevas reservas y manteniendo el centro de trabajos de Potrerillos.

Actualmente la producción anual de la mina subterránea es en el sector denominado Inca, es de un orden de las 11.217 [Kton], con una ley promedio de alimentación de 0,618 % cobre total, aporte de sulfuros de la mina rajo abierto de 935,6 [Kton], con una ley promedio de 0,743%, 62.102 toneladas de cobre fino en concentrado, 1231

Toneladas de molibdeno fino de concentrado, 500 Kg de oro y 11.959 Kg de plata, tanto el oro como la plata están contenidos en los barros anódicos.

1.2.1 UBICACIÓN CAMPAMENTO

El mineral El Salvador, perteneciente a la División Salvador de CODELCO-Chile, se encuentra ubicado en la III región del país. Provincia de Chañaral, a 124 Km al este del puerto del mismo nombre y a unos 1.100 Km al norte de Santiago y a 2.600 metros sobre el nivel del mar. Se encuentra entre los 69 y 70 grados longitud oeste y entre los 26 y 27 grados latitud sur.

La Mina y la Planta Concentradora se encuentran ubicadas a unos 5 Km del campamento y a una altura promedio de 2.500 m.s.n.m. En Potrerillos, distante unos 50 Km de el Salvador se ubica la fundición y refinería que recibe el concentrado proveniente de la Planta de filtros cerámicos ubicada en la localidad de Llanta, distante 20 Km de la mina.

La División, importante productor de cobre dentro del complejo de la gran minería chilena, esta comunicado por carretera al puerto de Barquito, donde se encuentra la agencia portuaria por la cual ingresa la mayor parte de los insumos importados y la exportación total de la producción de cobre electrolítico, que es transportado a través del Ferrocarril desde Potrerillos al puerto de Barquito.

Como la ciudad de El Salvador se encuentra alejada de los centros urbanos, obliga a mantener una compleja y amplia infraestructura que incluye generación parcial de energía, desarrollo de los recursos de agua, tanto potable como industrial y servicios de comunicaciones, transporte, abastecimientos, asistencia hospitalaria y planes habitacionales.

En la figura 2.1 se presenta un mapa de Chile con la ubicación de la tercera región de Atacama en la cual se desarrollan las operaciones de la División Salvador de CODELCO-Chile.



Figura Nº 2.1 Ubicación tercera región en mapa de Chile

En la figura 2.2 se muestra la ubicación de la ciudad de el Salvador dentro un mapa de la tercera región de Chile.

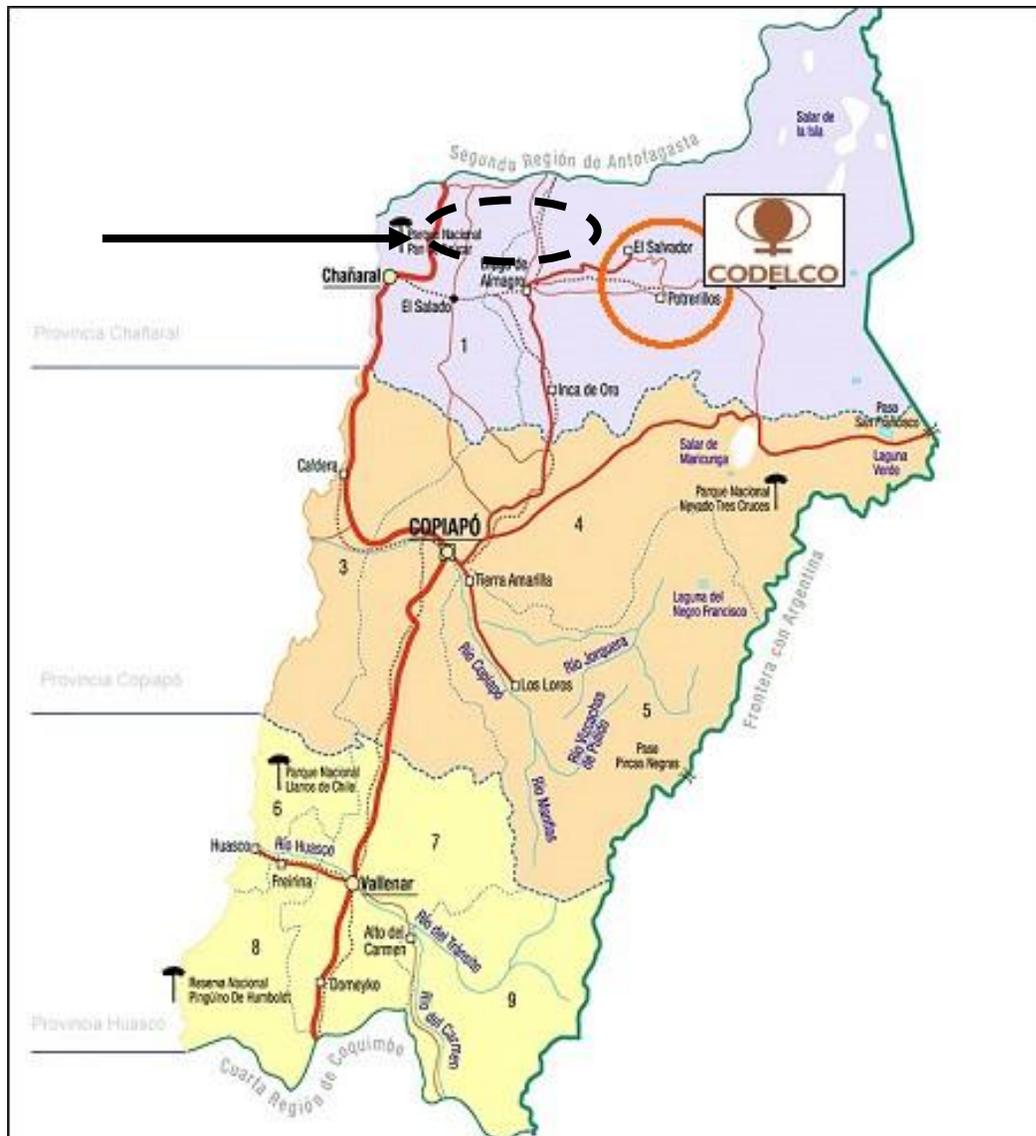


Figura N° 2.2 Ubicación del campamento minero de el Salvador en mapa de la tercera Región de Chile

1.2.3 CLIMA

El Salvador se encuentra en una zona precordillerana y desértica, el clima es muy árido y seco, donde el promedio anual de precipitaciones es aproximadamente de 6 mm, la temperatura anual es de 29°C y la temperatura mínima promedio es de 8°C. La altura de nieve caída es de 2 a 8 cm, dos veces al año.

1.2.4 GEOLOGIA GENERAL

El yacimiento de cobre El Salvador se encuentra ubicado en un sector denominado Distrito Indio Muerto, con una cota máxima de 3.444 [m.s.n.m] y aproximadamente a 1.000 metros sobre una planicie pre-cordillerana aluvial antigua, constituyendo un alto topográfico prominente de entre varios otros alineados en una franja de dirección Norte-Sur que corresponde a las elevaciones pre-cordilleranas de la cadena principal andina.

El yacimiento de cobre El Salvador es del tipo denominado yacimiento de cobre o diseminado, en el cual la mineralización se encuentra distribuida principalmente en forma de pecas y venillas finas de sulfuros de cobre y molibdeno en un volumen importante de roca alterada hidrotermalmente.

El yacimiento está asociado a un complejo de rocas volcánicas e intrusitas ubicado al pie de la cordillera andina formando parte de una franja en la que se ubican la mayoría de prospectos potencialmente interesantes.

1.2.5 UBICACIÓN PROYECTO

A continuación se ilustra el mapa geográfico donde se ubica las operaciones mineras de la división Salvador sumado a la ubicación exacta del proyecto de lixiviación expuesto en esta tesis, que están ubicadas en la tercera región del país:



Figura N°2.3: Mapa geográfico de división El Salvador

2. OBJETIVOS

Esa tesis de acuerdo a su criticidad de entregar parámetros metalúrgicos y económicos que sustenten cualquier decisión de aprobación de un proyecto a baja escala de los materiales estudiados, contara con el objetivo general y sus objetivos específicos que se designan a partir de los diferentes materiales estudiados en el proyecto.

➤ Objetivo General

El objetivo general del proyecto es dar viabilidad tanto técnica como económica a la DSAL en procesar diferentes tipos de recursos minerales disponibles en la división en la planta hidrometalurgia y con esto utilizar el 100% de la capacidad de una de sus líneas productivas pertenecientes a las instalaciones hoy en división Salvador.

➤ Objetivos Específicos

Se determinaran diferentes tipos de material que podrán ser técnicamente viables para ser lixiviados en las instalaciones mencionadas y cada uno de ellos se describen a continuación:

- ✓ Estudio de lixiviación de ripios, con los parámetros asociados a la mineralogía presentada.
- ✓ Estudio de lixiviación de minerales de óxidos de baja ley, con los parámetros metalúrgicos necesarios para optimizar la operación.
- ✓ Estudio de lixiviación de material circulante, proveniente de fundición de Potrerillos.

3. ALCANCE.

Los alcances del proyecto de estudio de tesis no son los del todo consolidados en términos prácticos de la operación de los materiales estudiados, debido al poco tiempo de análisis en laboratorio y sus posteriores pruebas industriales, todo esto se explica porque la cinética de operación de materiales oxidados es mayor en tiempo que un material del tipo sulfuro, por lo tanto se considera que las pruebas de tipo metalúrgico (Laboratorio) tiene una cinética lenta (2 a 3 meses) para su posterior evaluación económica (Que conlleva transporte, preparación de las áreas y materiales dispuestos en las área determinadas), se consideraran también algunos modelos metalúrgicos o inferencias de acuerdo a pruebas de laboratorio, para lograr plasmar casos de negocios que nos entreguen una visión de la factibilidad de cada uno de los ítems relevantes del

proyecto con su objetivo final, para que finalmente sea operativo y rentable como negocio.

Se contempla además entregar información técnica respaldada por pruebas de laboratorio e industriales de todos los posibles recursos estudiados en este periodo de pruebas, notando los puntos de inflexión en el cual existan diferencias entre ambas pruebas y con esto lograr entregar modelos de negocio para cada uno de ellos, para con esto entregar una real factibilidad de procesamiento a cada uno de los recursos estudiados en la DSAL.

Es importante mencionar que las pruebas industriales son un real diagnóstico de un posible negocio con los tipos de materiales estudiados, debido las diferentes variables asociadas al éxito o fracaso de un proceso de lixiviación por lo sensibilidad que poseen estos materiales a diferentes volúmenes que se procesan y considerando pruebas industriales a gran escala, los márgenes de error entregados en las variables disminuye considerablemente a una prueba de laboratorio.

4. METODOLOGÍA

En cada uno de los diferentes escenarios que se presentan en el estudio, considerando los diferentes tipos de materiales que se buscara para factibilidad técnica y económica, en lo posible se abordara con notaciones y/o investigación previa en cada uno de los lugares en los cuales se ha experimentado, esto principalmente para entender si existe una factibilidad técnica inicial de su éxito, esto sin dejar de considerar que los tipos de mineralogía de cada una de los yacimientos mineros tiene su particularidad geológica y por tanto su forma de analizarlos es diferentes en cada uno de los yacimientos mineros. Por lo que se realizaran las pruebas industriales correspondientes a los materiales de la división salvador.

Cada uno de los tipos de materiales mencionados, se realizaron diferentes pasos en la metodología de trabajo para su posterior prueba industrial, esta metodología contempla en una primera instancia una investigación bibliográfica de cada uno de los materiales estudiados para así incrementar el porcentaje de éxito de cada uno de ellos, con esta fase superada se procedió a obtener pruebas de laboratorio que entregaron datos técnicos metalúrgicos de un posible recurso viable de industrializar, sin dejar de mencionar que en esta etapa es donde se obtienen los valores con los cuales se genera los modelos necesarios para presentar el recurso como una potencial reserva.

Finalmente con las etapas superadas y con información centrada en cada uno de los materiales estudiados se procedió a realizar una prueba industrial de estos materiales, esto considerando el alto costo que significa una prueba de esta magnitud y ya con esto obtener los datos necesarios para evaluar técnicamente y económicamente de los potenciales recursos de la división y para así obtener una optimización de la operación de nuevos materiales no contemplados en los planes de producción que entregue los beneficios esperados para la DSAL.

5. MARCO CONCEPTUAL

El concepto asociado a la lixiviación de minerales de óxidos, está bien estudiado de acuerdo a la bibliografía metalúrgica, donde en el presente informe se refuerza conceptos básicos que se utilizarán en el mismo estudio y conocimientos generales necesarios para comprender el análisis metalúrgico de los materiales que se presentan en el trabajo.

5.1. ORIGEN PROCESO LIXIVIACION Y VARIABLES ASOCIADAS.

El proyecto que se evaluará en el presente informe, se enfoca principalmente en la línea productiva correspondiente a los minerales oxidados de cobre, donde el principal proceso realizado es la lixiviación, donde el concepto general se describe a continuación como una porción de mineral que forma un lecho fijo de partículas que es bañado por una solución. El agente lixivante (generalmente es ácido sulfúrico con diferentes grados de concentración) entra en contacto con el lecho mineral y a medida que va descendiendo va diluyendo el material de interés. Finalmente la solución rica en el elemento de interés se recoge en la base del lecho. Así, en este grupo de procesos se distinguen:

- ✓ Lixiviación In situ – In place
- ✓ Lixiviación en bateas
- ✓ Lixiviación en pilas
- ✓ Lixiviación en botaderos

En el presente estudio se evaluará a través de lixiviación en pilas y botaderos, los cuales se explican a continuación:

Lixiviación en pilas: Es un proceso que permite disolver el cobre de los minerales oxidados que lo contienen, aplicando una solución de ácido sulfúrico y agua.

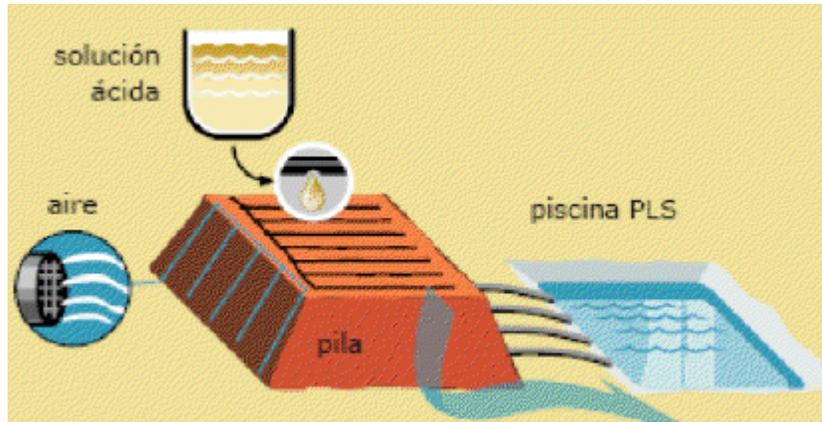


Figura N°5.1: Esquema lixiviación en pilas

Lixiviación en botaderos: Esta técnica consiste en lixiviar lastres, desmontes o sobrecarga de minas de tajo abierto, los que debido a sus bajas leyes no pueden ser tratados a través de métodos comunes.

Otro elemento relevante en la lixiviación que se estudiara son los sistemas de riego de las pilas o botaderos mencionados, lo cual se detalla a continuación:

Sistema de riego: A través del sistema de riego por goteo y de los aspersores, se vierte lentamente una solución ácida de agua con ácido sulfúrico en la superficie de las pilas. Esta solución se infiltra en la pila hasta su base, actuando rápidamente. La solución disuelve el cobre contenido en los minerales oxidados, formando una solución de sulfato de cobre, la que es recogida por el sistema de drenaje, y llevada fuera del sector de las pilas en canaletas impermeabilizadas.

El riego de las pilas, es decir, la lixiviación se mantiene por 45 a 60 días, después de lo cual se supone que se ha agotado casi completamente la cantidad de cobre lixiviable. El material restante o ripio es transportado mediante correas a botaderos donde se podría reiniciar un segundo proceso de lixiviación para extraer el resto de cobre.

Los productos que se obtienen de la lixiviación, son también una componente relevante en el proceso, ya que es el producto final que ingresa al proceso SX-EW que obtiene el cátodo de cobre, se detalla a continuación:

Productos de la lixiviación: De la lixiviación se obtienen soluciones de sulfato de cobre (CuSO_4) con concentraciones de hasta 9 gramos por litro (gpl) denominadas PLS que son llevadas a diversos estanques donde se limpian eliminándose las partículas sólidas que pudieran haber sido arrastradas. Estas soluciones de sulfato de cobre limpias son llevadas a planta de extracción por solvente.

El proceso químico que ocurre en la lixiviación será relevante para nuestro estudio, debido a los márgenes reducidos en el estudio, debe ser un foco para lograr optimizar el proceso de lixiviación, se detalla a continuación:

Descripción del proceso químico: La velocidad a la que ocurre el proceso de lixiviación tiene un comportamiento parabólico, esto se debe a las etapas involucradas en el mecanismo de lixiviación de una partícula de mineral, las etapas son las siguientes:

- 1- Reactivo lixivante (H^+ , Fe^{+3}) difunde a través de la capa límite hacia la superficie de la partícula
- 2- Reactivo lixivante difunde en el interior de la partícula hacia la zona de reacción
- 3- Ocurre la reacción química, se forman productos de la reacción
- 4- Productos solubles de la reacción (Cu^{+2} , Fe^{+2}) difunden en el interior de la partícula hacia la superficie de esta.
- 5- Productos solubles difunden a través de la capa límite hacia el seno de la solución

La velocidad del proceso de lixiviación es inicialmente alta dado que el reactivo ataca directamente a las especies de cobre presentes en la superficie de la partícula. Con el paso del tiempo la velocidad de la reacción decae porque la superficie de reacción está cada vez más alejada de la superficie de la partícula y los reactivos y productos tarda más tiempo en desplazarse a interior de la partícula.

El siguiente esquema ilustra el proceso

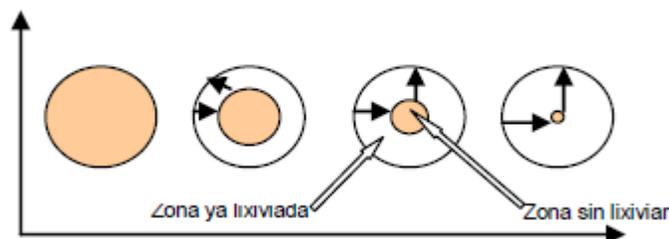


Figura N°5.2: Mecanismo que da origen a la curva parabólica de la lixiviación

Como bien se ha especificado en el estudio, la componente económica estará presente en la evaluación y con esto conlleva los factores asociados al resultado global del negocio, por lo que a continuación se detallan los factores de sensibilidad de un proyecto que conlleva el proceso hidrometalurgico según las estadísticas de los analistas:

Primer Factor: El precio del cobre.

Segundo Factor: El tamaño del yacimiento, en términos de tonelajes y leyes de fino, por factores asociados a la economía de escala.

Tercer Factor: La recuperación metalúrgica.

Cuarto Factor: Habitualmente es el consumo de ácido.

Factores Siguietes: Más variados y asociados a cada caso particular, tales como: presencia de impurezas, disponibilidad de agua, de energía, de elementos de infraestructura, de espacio, financiamiento, factores ambientales y otros varios.

Para abordar una lixiviación que nos conduzca al éxito de un proyecto, se deben considerar algunas variables “deseables” de la lixiviación y que deben ser analizadas al momento de las pruebas que se realizarán en este estudio, se detallan a continuación:

- ✓ Debe maximizar la recuperación metalúrgica de las especies de valor,
- ✓ Debe minimizar los consumos de ácido y reactivos en general, de agua y de energía.
- ✓ Debe anular los efectos de eventuales reductores, arcillas intercambiadoras iónicas y silicatos complejos presentes en el mineral alimentado.

- ✓ Debe evitar la formación de capas freáticas e inundaciones localizadas, que se traducen en canalizaciones y deslizamientos o derrumbes del apilamiento y en sólidos suspendidos en el PLS.
- ✓ Debe permitir idealmente, el tratamiento conjunto de minerales con mineralogía diversa, incluidas especies de óxidos, de sulfuros y de algunas consideradas como refractarias.
- ✓ Debe minimizar las pérdidas por impregnación de soluciones en la pila.
- ✓ Debe permitir administrar el comportamiento del fierro e impurezas de modo que:
- ✓ Su disolución sea la mínima posible, dentro del rango de recuperación de especies de valor plantadas como objetivo.
- ✓ Se mantengan en solución las cantidades y proporciones "férico-ferroso" para producir las interacciones deseadas, en cuanto a: la regeneración de ácido, a la creación de condiciones oxidantes y a la co-precipitación de impurezas.
- ✓ Se evite la formación de precipitados férricos coloidales que fomenten bloqueos y canalizaciones al paso de las soluciones.
- ✓ Se permita anular el efecto de esos precipitados cuando ellos se formen inevitablemente.
- ✓ Se mantengan en solución los contenidos necesarios para el comportamiento adecuado de bacterias de distintos tipos en la lixiviación de sulfuros.

Como uno de los materiales a abordar en este estudio contempla la lixiviación de material circulante proveniente de una fundición es relevante mencionar y definir la importancia que tiene el potencial Redox en la lixiviación y se muestra a continuación:

El potencial Redox tiene una importancia ampliamente reconocida en la lixiviación de sulfuros, pero también controla los reductores del mineral y los estados de oxidación del hierro en la lixiviación de óxidos y así define los compuestos secundarios que ellos forman.

Por ejemplo, en un ambiente reductor, el hierro estará al estado ferroso y no formará precipitados coloidales de hidróxidos, ni de jarositas y por lo tanto no interferirá en la porosidad del lecho. Pero si el ambiente es oxidante, aumentará el consumo de ácido para mantener los iones férricos en solución, pero aparece el peligro de la formación de jarositas, que son capaces de afectar la porosidad del lecho mineral y también la difusión al interior de las propias partículas.

Los parámetros operacionales descritos con posterioridad en este informe, tiene la relevancia de que el control de cada uno de ellos son la base para el éxito de la lixiviación de cada uno de los materiales estudiados, los principales factores operacionales que deben controlarse en la lixiviación se detallan a continuación :

- ✓ El riego pulsante o intermitente
- ✓ La secuencia de aplicación de soluciones
- ✓ Revisión de la dosis de ácido y técnicas de aplicación de curado
- ✓ Revisión de la conveniencia de lavar el mineral
- ✓ Lixiviación bacteriana
- ✓ Configuración operacional utilizada (Manejo de soluciones)

Todas estas variables explicitadas y definidas en el marco conceptual sumado a la componente económica son el eje principal de este estudio, que determinara el éxito o fracaso de la lixiviación de materiales en DSAL.

➤ **Biolixivación**

La biolixivación se define como el ataque y solubilización de un mineral por acción bacteriana. Cuando la superficie del mineral donde reside la bacteria se humedece, ésta desarrolla toda su actividad oxidando espontáneamente a la pirita y a otros sulfuros metálicos, generando el Fe (III), sulfatos solubles y ácido sulfúrico

La biolixivación de minerales de cobre fue practicada empíricamente muchos siglos antes del descubrimiento de las bacterias, en China fue empleada al menos 100 o 200 años A.C, y en Europa por lo menos desde el siglo II. Durante miles de años se lixivió cobre a partir de minerales de bajo grado, sin darse cuenta que esta extracción es imposible sin la presencia de una bacteria que crece en las minas.

Esta bacteria fue denominada thiobacillus ferrooxidans en virtud de su capacidad de oxidación, cuando se descubrió en 1947 que su presencia en las aguas de

mina de río tinto en Huelva, España, era responsable del gran deterioro que sufrían los equipos metálicos en las instalaciones de la mina. El microorganismo acelera el proceso de oxidación hasta un millón de veces. Las aguas del río presentan características de acidez elevada y gran concentración de metales. *El proceso en que interviene se le llamó biolixiviación, del griego bios vida y del latín lixivium lejía, término que reflejaba la capacidad de las bacterias para aumentar por poder corrosivo del agua.

En 1957 L.C Bryner y J.V Beck encontraron en los drenajes de las minas de cobre de mina cielo abierto de Kennecott en Bingham Canyon, Utah, las mismas bacterias, *Thiobacillus ferrooxidans* y *Thiobacillus thiooxidans*, que habían sido encontradas en drenajes ácidos de minas de carbón.

Este fenómeno se ha aprovechado en las explotaciones de cobre en gran cantidad, técnica extremadamente barata y eficiente, donde pilas de grandes dimensiones son irrigadas con agua.

Anteriormente las aguas de arrastre se conducían a través de canales a una red de pequeños embalses en los que se enriquecían por decantación y se pasaban a balsas de precipitación conteniendo chatarra de hierro para fijar el cobre metálico. Actualmente las aguas de arrastre enriquecidas se colectan y se envían a las plantas de extracción por solventes (ES) y electrodeposición (EW) para obtener el cobre metálico.

➤ Mecanismos de acción

Existe controversia en cuanto al papel jugado por los microorganismos en la lixiviación de minerales, predominando básicamente dos mecanismos de acción.

- ✓ El ataque directo o enzimático del mineral por una o más bacterias. El contacto físico entre la bacteria y el mineral es necesario.
- ✓ El ataque indirecto del mineral por uno o más productos del metabolismo de las bacterias, como Fe^{3+}/H^+ . El contacto físico entre la bacteria y el mineral no es necesario.

Mecanismo Directo

La bacteria que está en contacto directo con la superficie del mineral, oxida al hierro y al azufre de los sulfuros metálicos a sulfatos. La oxidación proporciona la energía para el crecimiento de las bacterias.

Mecanismo Indirecto

El sulfuro metálico es oxidado químicamente por la acción del agente oxidante, Fe^{+3} . La función de los microorganismos es regenerar a esta especie. Si la oxidación química es completa se obtienen Fe^{+2} y SO_4^{2-}

Mecanismo Mixto

La combinación de ambos mecanismos, es decir, un ataque directo e indirecto al mineral por uno o varios microorganismos activos.

Lixiviación de contacto

El mecanismo directo se ha redefinido, puesto que para que exista un ataque biológico a la superficie del mineral, es indispensable la existencia de una capa de lipopolisacáridos o sustancias extrapoliméricas excretadas por la bacteria, EPS (entre la bacteria y el mineral), las cuales sirven como almacén temporal del S° producido.

Mecanismo de ataque indirecto vía tiosulfato

El Fe (III) contenido en la capa de EPS ataca de forma indirecta al sulfuro metálico produciendo $\text{Fe} (+2)$ y $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$. El tiosulfato reacciona con el Fe (III) formando varios intermediarios hasta llegar al SO_4^{2-} .

➤ Aplicaciones

La oxidación bacteriana se ha usado desde hace varios millones de años. La biolixiviación practicada por los fenicios y los romanos, pero las bases microbiológicas no fueron conocidas hasta 1947, cuando se conoció el rol de las bacterias presentes en las aguas de mina en la oxidación de los minerales

La lixiviación bacteriana a temperatura ambiente ha sido comercialmente explotada en gran escala en la recuperación de cobre y uranio de sulfuros minerales de baja ley. Sin embargo, en la última década, el efecto de los microorganismos termófilos en la disolución de sulfuros en montones

ha tomado gran importancia, la calcopirita se oxida más rápidamente y en mayor grado.

➤ **Ventajas**

- ✓ Se generan productos estables. el arsénico contenido en menas refractarias de oro y plata se estabiliza mediante precipitación como arsenito de hierro en vez de arsénico impuro obtenido por tostación y difícil de eliminar.
- ✓ Tiempos más cortos para obtener permisos ecológicos por lo que reduce globalmente el tiempo de explotación de la zona.
- ✓ Menos costo y tiempo para legalizar los desechos.
- ✓ Costos de capital y operación menores. En el caso de minerales de baja ley el costo energético está limitado al bombeo de las soluciones.
- ✓ Ausencia de emisiones de SO₂.
- ✓ Tecnología apropiada para empresas que no cuentan con gran soporte de personal calificado y de mantenimiento, al utilizar equipos sencillos.
- ✓ La selectividad del ataque microbiológico permite la fácil separación de los subproductos.
- ✓ Bajo consumo de reactivos. Los propios microorganismos acidifican el medio.
- ✓ Su versatilidad es amigable con las variaciones en los parámetros de operación, como la cantidad de sulfuros, la composición mineralógica, etc.

➤ **Desventajas**

- ✓ Pese a que las bacterias aceleran el proceso de disolución la cinética es aun lenta, días, meses e incluso años dependiendo del material y del método empleado.
- ✓ Aunque los equipos que utiliza son sencillos hay dificultad para implantarla a partir de los procesos en funcionamiento.
- ✓ La industria extractiva dispone de muy poco margen de maniobra para la implantación y adaptación de nuevos procesos.

5.2. INFORMACION PLANTA HIDROMETALURGIA EL SALVADOR.

Para obtener los datos con los cuales se evaluara la propuesta de negocio de los materiales estudiados, se debe conocer los parámetros metalúrgicos y de diseño de la planta en la cual se llevaría a cabo un posible modelo de negocios, por lo tanto a continuación se entrega información relevante para la evaluación correcta del proyecto estudiado.

5.3. PROBLEMAS EXISTENTES PRUEBAS INDUSTRIALES

Para la prueba industrial de los materiales mencionados, se necesita contar con ciertos apoyos que son de envergadura considerable en términos económicos para una prueba industrial, debido a que los resultados son, como se mencionó anteriormente de cinética lenta (tres a cuatro meses) considerando un alto costo inversiones en realizar el inicio de carga de material de la prueba industrial sin asegurar retornos de capital al inversionista.

5.4 OPERACIÓN ACTUAL PLANTA HIDROMETALURGIA

Las condiciones de operación y diseño de la planta hidrometalurgia son relevantes en el estudio, debido a que son el punto de inicio de cualquier iniciativa que analice el ingreso y procesamiento de cobre fino al sistema de la planta hidrometalurgia, las instalaciones mencionadas cuentan con una capacidad nominal de diseño que se describe a continuación :

Producción de Cobre, nominal	t/a	27.600
	t/d	75,6
Operación lixiviación	d/a	365
	h/d	24
Disponibilidad - Utilización hidráulica	%	98
Ley de cobre total	%	0,74

Extracción de Cobre	%	71,73
Mineral nominal base	t/a secas	5.200.000
Período avance riego modular	d/módulo	8
Nº total de módulos primarios		4,25
Tonelaje por Modulo, t		113.973
Densidad aparente, t/ m ³		1,47
Tamaño de los módulos, m		48 x 400 (base)
Angulo de reposo, grados		38
Pendiente del drenaje de la Pila, %		3
Nº total de módulos secundarios		8,26
Tonelaje en riego secundario, t		459.308

Tabla N°5.1: Parámetros operacionales planta Hidrometalurgia

5.5 DESCRIPCION DE INVENTARIO SOLUCIONES PLANTA HIDROMETALURGIA

Se realiza una breve descripción de las soluciones que contiene la planta, con el objetivo de analizar el potencial que existe para las alternativas propuestas en el presente informe, el detalle se presenta a continuación :

5.5.1 DESCRIPCION SOLUCION ILS

- Tasa de riego para ciclo primario de 11 [(l/h)/m²].
- Flujo máximo actual de ILS operando las 4 bombas existentes de 830 [m³/h].
- Presión considerada en colector de solución ILS ubicado en cota 2650 [m].
- Concentración de ácido en ILS desde pilas de 8 [g/l].
- Concentración de ácido en ILS desde piscina de 18 [g/l].
- Concentración de ácido en ILS desde mixer de 25-35 [g/l].
- Inyección de ácido sulfúrico al 98% para acidificar.

Algunas propiedades de la solución ILS, utilizada en el proceso de LIX-SX-EW se entregan a continuación:

Propiedad	ILS
Densidad (kg/m ³)	1100 - 1300
Viscosidad (cP)	3 - 12
Cl ⁻ (g/l)	1 - 5
Sulfato (g/l)	150 - 200
pH	0,2 – 1,0
Sólidos (ppm)	20 - 40

Tabla N°5.2: Propiedades de la solución ILS

5.5.2 DESCRIPCION SOLUCION REFINO

- Tasa de riego para ciclo secundario de 9 [l/h/m²].

- Flujo máximo actual de Refino operando las 4 bombas existentes de 930 [m³/h].
- Presión considerada en colector de solución ILS ubicado en cota 2650 [m].
- Concentración de ácido en Refino desde pilas de 13 [g/l].
- Concentración de ácido en Refino desde piscina de 20 [g/l].
- Inyección de ácido sulfúrico al 98% para acidificar.

Algunas propiedades de la solución refino se entregan a continuación:

Propiedad	Refino
Densidad (kg/m ³)	1100 - 1300
Viscosidad (cP)	3 - 12
Cl ⁻ (g/l)	1 - 5
Sulfato (g/l)	130 - 140
pH	0,5 – 0,8
Sólidos (ppm)	10 - 40

Tabla N°5.3: Propiedades de la solución refino planta

- Flujo máximo actual de Refino desde SX-EW a LIX operando las 3 bombas existentes de 600 [m³/h].

5.5.3 DESCRIPCION SOLUCION PLS (Régimen de tratamiento OAL)

- Flujo máximo actual de solución denominada PLS desde LIX a SX-EW operando con sus tres cañerías existentes es de 600 [m³/hrs], Esta capacidad está restringida respecto a 800 [m³/hrs] debido a problemas de impulsión del reactivo de extracción del sistema de planta química, donde se aumentaría en volumen la solución, lo cual aporta a una operación de bajas leyes.

6 CRITERIOS DE DISEÑO PARA OPERACION

Los siguientes criterios de diseño se utilizaron para el presente proyecto, debido a que los suministros necesarios son un eje fundamental en una evaluación de negocio, es importante destacar que la logística de operación en la división salvador esta consolidada y contempla una ventaja al momento de la evaluación final.

6.1 SUMINISTRO DE INSUMOS BASICOS OPERACION

➤ SUMINISTRO ACIDO SULFURICO

El ácido sulfúrico de 98% de concentración es suministrado por camiones al estanque de almacenamiento ubicado en el área lixiviación y SX-EW, no siendo necesaria una modificación de capacidad de almacenamiento. Este ácido es generado por la fundición de Potrerillos en su proceso productivo.

➤ SUMINISTRO DE AGUA

Se considera suministro de agua requerida disponible en presión y caudal, por parte de DSAL, en la misma proporción que se suministra para la operación de óxidos de alta ley.

➤ CAÑERÍAS DE SOLUCIONES

- Para las cañerías de soluciones, se consideró utilizar materialidad similar a las existentes, es decir HDPE.
- Para soluciones ILS, Refino se consideró velocidades hasta 3 [m/s], para diseño, de acuerdo a criterio Codelco.
- Flujo de diseño se considera un 15% adicional sobre el máximo flujo de operación.

➤ CAÑERÍAS DE ÁCIDO SULFÚRICO

Para estas cañerías se consideró válida la aplicación de las recomendaciones de la norma NACE RP 0391-2001.

✓ Acero al carbono:

1. El acero al carbono es resistente a la corrosión a temperaturas ambientes, ácido concentrado y bajas velocidades (menores que 0,9 m/s).
2. Velocidades de hasta 1,5 m/s pueden permitirse si el período de bombeo es breve (unas pocas horas por día).
3. En el rango de 99,5 a 100% de concentración el ácido aumenta su velocidad de corrosión.

✓ Acero Inoxidable:

1. Aceros inoxidables austeníticos son generalmente resistentes al ácido concentrado a temperatura ambiente.
2. UNS S31600/S31603 es resistente en el rango de concentración de ácido entre 90 – 100%.

3. UNS S30400/S30403 debe ser solo utilizado a concentraciones de 93% o mayores.
4. Las velocidades recomendadas para el acero inoxidable son hasta 1,8 m/s.

6.2 DESCRIPCION TECNICA Y PRUEBAS DE LABORATORIO DE MATERIALES A LIXIVIAR

El primer paso para el estudio de nuevos materiales de lixiviación, es obtener un respaldo técnico desde una perspectiva de pruebas de laboratorio de cada uno de los materiales, con el objetivo de minimizar el riesgo asociado a una prueba industrial, debido a que contempla una inversión no contemplada en el plan de inversiones de la división Salvador.

6.2.1 DESCRIPCION Y PRUEBAS DE LABORATORIO MATERIAL CIRCULANTE

Este material denominado “circulante” que se realizaron pruebas metalúrgicas con el objetivo de analizar su potencialidad de negocio, es proveniente desde Potrerillos y es generado durante el proceso de fundición, donde contiene un considerable nivel del denominado metal blanco (Contenido de cobre), este material se utiliza principalmente en la fundición como carga fría al sistema.

La mineralogía semicuantitativa mediante difracción de rayos x, realizada al material que fue transportado a la planta se detalla a continuación:

Análisis mineralógico Material circulante	
Mineral	% Contenido
Fayalita	63,2
Magnesioferrita	22,9
Albita	1,8
Alunita	0,5
Biotita	2,3
Calcita	4,4
Clinocloro	1,9
Epidota	0,9
Hematita	0,4
Magnetita	1,6
Otros, Amorfos	0,4
Total	100,0

Tabla N°6.1: Análisis mineralógico de material circulante

La gran cantidad de materiales con hierro en su composición, entrega una aproximación de una posible lixiviación bacteria de acuerdo a lixiviación que se puede aplicar con la solución que posee la planta hidrometalurgia.

Las respectivas formulas químicas asociada a los materiales encontrados en la muestra se detallan a continuación:

Mineral	Fórmula Química
Fayalita	Fe ₂ SiO ₄
Magnesioferrita	MgFe ₂ O ₄
Albita	NaAlSi ₃ O ₈
Biotita	K(Mg,Fe+2) ₃ (Al,Fe+3)Si ₃ O ₁₀ (OH,F) ₂
Calcita	CaCO ₃
Clinocloro	(Mg,Al) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈
Alunita	Al ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂
Magnetita	Fe ₃ O ₄
Hematita	Fe ₂ O ₃
Epidote	Ca ₂ Al ₂ Fe(SiO ₄)(SiO ₇)(O,OH) ₂

Tabla N°6.2: Descripción de mineralogía de pila circulante

Se realizó un análisis granulométrico con el objetivo de analizar la capacidad de percolación de este material, considerado el alto contenido de hierro en el sistema:

		Columna 1			
		Peso inicial: 6,386 Kg			
Malla	micrones	Peso, kg	% peso	%retenido	%pasante
		retenido	retenido	acumulado	acumulado
		0,000	0,00	0,00	100,00
+6"	125000	0,000	0,00	0,00	100,00
-6" +4"	100000	0,000	0,00	0,00	100,00
-4" + 3"	75000	0,000	0,00	0,00	100,00
-3" + 2"	50000	0,000	0,00	0,00	100,00
-2" + 1"	25000	0,252	4,39	4,39	95,61
-1" + 3/4 "	19000	1,239	21,56	25,95	74,05
-3/4" + 1/2"	12500	0,919	15,99	41,94	58,06
-1/2" + 3/8"	9500	0,740	12,88	54,82	45,18
-3/8" + 1/4"	6300	0,351	6,11	60,93	39,07
-1/4" + 4#	4750	0,338	5,88	66,81	33,19
-4# + 6#	3350	0,485	8,44	75,25	24,75
-6# + 12#	1700	0,308	5,36	80,61	19,39
-12# + 20#	850	0,220	3,83	84,44	15,56
-20# + 40#	425	0,136	2,37	86,81	13,19
-40# + 60#	250	0,078	1,36	88,17	11,83
-60# + 80#	180	0,037	0,64	88,81	11,19
-80# + 100#	150	0,643	11,19	100,00	0,00
-100#	-150	5,746	100,00		

Tabla 6.3: Análisis granulométrico de material circulante

Se puede concluir de acuerdo al análisis granulométrico presentado, que el 95,61% del material está bajo las 2 pulgadas de tamaño, cuando se realiza la comparación con el material que tiene tratamiento de OAL que sus parámetros nos indican 95% -1/2”, este material presenta una granulometría más gruesa, es importante mencionar que para la prueba industrial está contemplado la etapa de chancado para obtener este producto de la muestra.

➤ Pruebas de laboratorio material circulante:

Se realizaron pruebas a escala de laboratorio con el material circulante con el objetivo de analizar la recuperación del material, considerando los siguientes datos de inicio para la prueba:

Material prueba Laboratorio		
Masa Col.	46,32	kgh
Humedad (b.s.)	1,2	%
CuT	14,950	%
CuSC	4,310	%
CuSF	2,615	%

Tabla N°6.4: Datos iniciales en prueba de laboratorio

Como se mencionó para analizar la recuperación posible del material y consumo de ácido del mismo, ambas variables relevantes del proceso de lixiviación (que entregan los parámetros esenciales de la lixiviación), con una especie lixivianante de la solución que fue en esta prueba refino de la misma planta, considerando las variables asociadas al proceso actual de la planta.

La prueba de laboratorio se realizó con los siguientes parámetros de operación:

- Columna de 10 metros de altura.
- Riego con solución de refino de planta hidrometalurgia
- 212 días de operación.
- Tasa de riego promedio de 12,17 [l/h/m²]

Los resultados obtenidos de recuperación en cobre total del material la prueba son los siguientes:

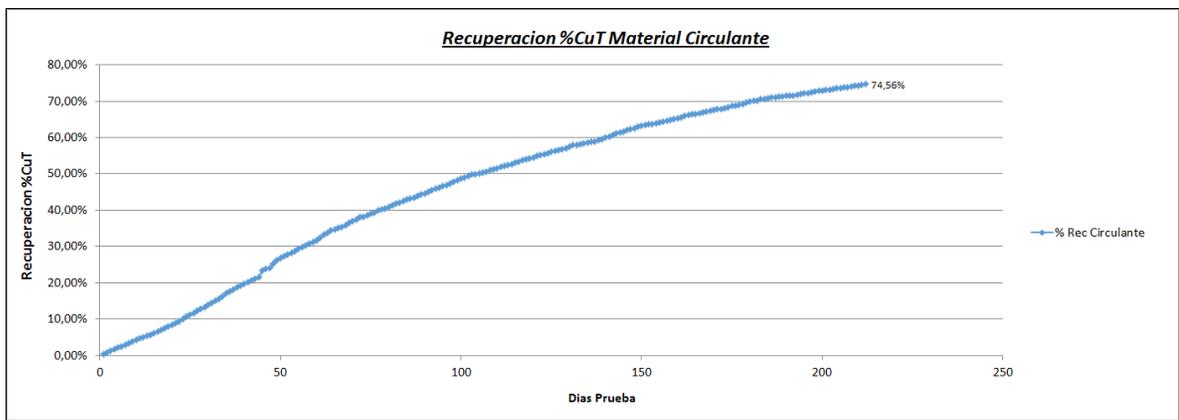


Figura N°6.1: Tabla de recuperación de laboratorio de material circulante

En el ciclo de lixiviación de 212 días, la recuperación alcanza un nivel de 74,56% medido en cobre total, ese valor se encuentra dentro de los parámetros de una operación de materiales óxidos de alta ley, que por lo general maneja márgenes de recuperación del 75%, por lo que se toma la decisión de proceder con la prueba industrial del mismo.

Y el consumo de ácido de la prueba de laboratorio se detalla a continuación:

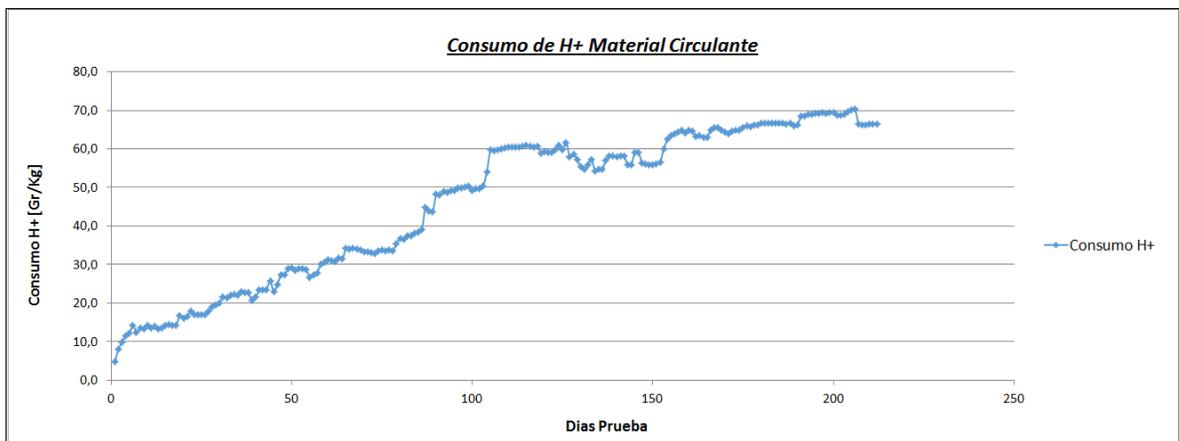


Figura N°6.2: Consumo de ácido de material circulante

El consumo de ácido muestra niveles de 66,4 [Kg/Ton] de material, esto está sobre la media de operación en una planta de lixiviación, donde sobre 40 [Kg/Ton] ya es un material denominado consumidor de ácido (En el proceso de alta ley DSAL de material proveniente de Mina Damiana, que fue el proceso de óxidos de alta ley en Salvador, los consumos promedio eran de 42 kg/Ton), pero asociado a la recuperación obtenida en la misma prueba aún sigue siendo un negocio rentable para una prueba industrial.

Otro dato que se analiza es cómo se comporta el cobre en solución de efluente, para luego tener un contraste con la prueba industrial, lo que se analiza en este gráfico es la cantidad necesaria de solución que necesita la pila para mantener sus niveles de aporte de Cu fino, el gráfico se muestra a continuación:

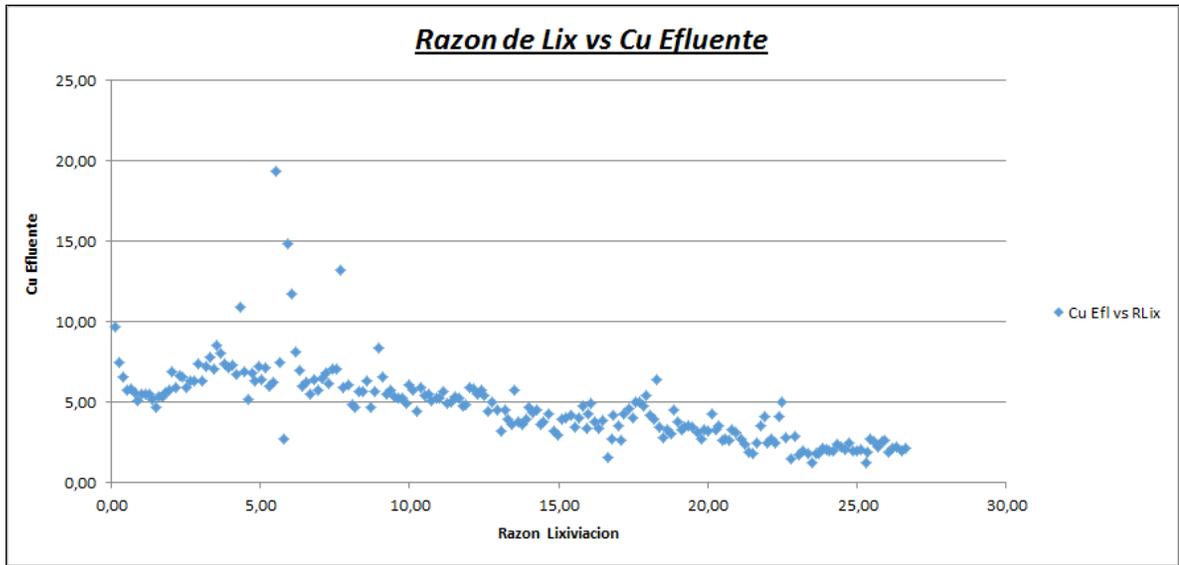


Figura N°6.3: Razón de lixiviación vs concentración de Cu en efluentes

La relación que existe entre la recuperación del material en cobre total en contraste con su razón de lixiviación nos indica la cantidad necesaria de solución de lixiviación en la pila para producir un porcentaje de recuperación de la pila, los resultados de la prueba de laboratorio se presentan a continuación:

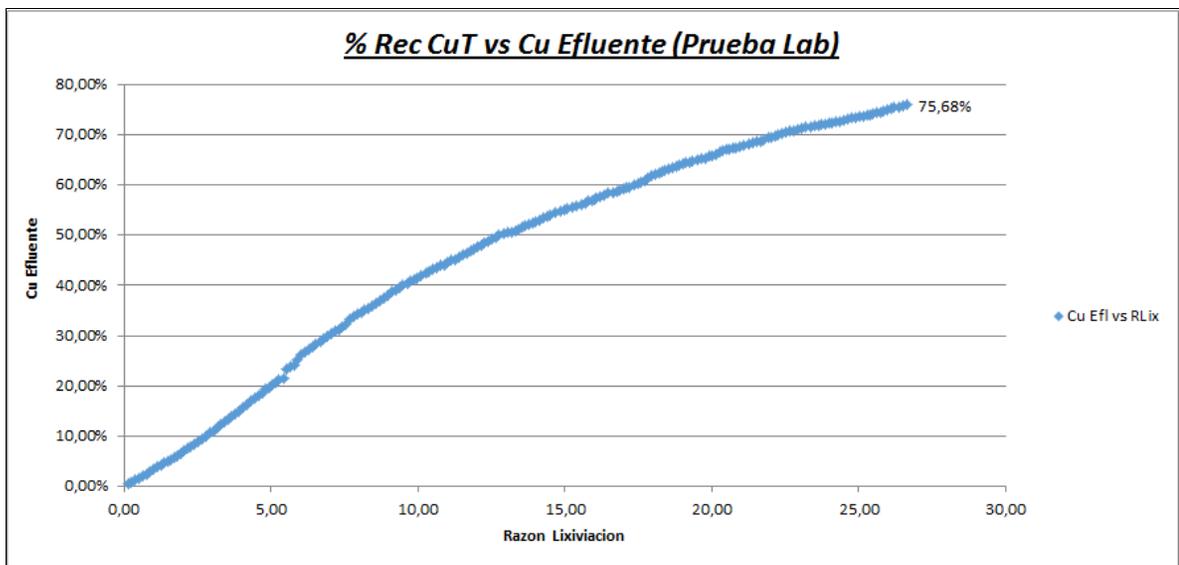


Figura N°6.4: Recuperación en cobre total vs razón de lixiviación, material circulante

Como se muestra se alcanza una recuperación en cobre total de 75,68% a una razón de 26,63 [m³/Ton], lo que nos indica que cuando se tiene 26,62 [m³] de solución

lixiviante en cada [m³] del mineral se logra obtener los parámetros de recuperación indicados.”

6.2.2 DESCRIPCION Y PRUEBAS DE LABORATORIO MATERIAL RIPIOS

Los siguientes materiales fueron procesados por la planta lixiviación en su proceso de óxidos de alta ley desde los inicios de la planta el año 1995 hasta el año 2013, estos fueron obtenidos en sus orígenes de dos minas rajos que son: Quebrada M y Damiana, a continuación se detalla la mineralogía que presentan estos materiales a estudiar :

- Silicatos: Crisocola, neotocita, copper pitch y montmorillonita
- Óxidos: Cuprita y copper wad
- Sulfatos: Brochantita, chalcantita y antlerita
- Fosfatos: libetenita, turquesa, pseudomalaquita y rasleighita
- Carbonatos: trazas de malaquita.

Además todos los minerales indicados por su composición química, se tiene un 80% óxidos Negros (neotocita+copper wad+copper pitch) y 20% óxidos verdes (crisocola+montmorillonita+brochantita), el baja ley pueden ir acompañado de una menor proporción de calcosina.

Se considera una mineralogía conocida por DSAL, debido a que su proceso de alta ley se realizó con este material, con resultados metalúrgicos de acuerdo a los parámetros de diseño de planta.

Se realizaron pruebas de laboratorio con este material obtenido desde los botaderos de rípios, como muestra inicial del proceso, con el objetivo de obtener la recuperación y consumo de ácido sumado al potencial negocio que existe con este material, para con estos resultados proceder a dar la aprobación a una prueba industrial de mayor escala, los resultados se detallan a continuación:

Prueba	Leyes de Cabeza			RSF (%)
	CuT	CSC	CSF	
	%	%	%	
IsopH 1 (Ripio 1)	0,181	0,163	0,101	55,80
IsopH 2 (Ripio 1)	0,208	0,166	0,102	49,04
IsopH 3 (Ripio 2)	0,238	0,190	0,118	49,58
IsopH 4 (Ripio 2)	0,231	0,194	0,116	50,22
IsopH 5 (Ripio 3)	0,164	0,146	0,082	50,00
IsopH 6 (Ripio 3)	0,170	0,144	0,080	47,06

Tabla N°6.5: Leyes de materiales de rípios para prueba de laboratorio

Con una ley de 0,19% de Cut en los muestreos que se realizaron en diversos puntos del botadero, este valor se considera como promedio para análisis posterior de prueba industrial, como también su razón soluble que está en un 50,28 [%].

En cuanto al análisis granulométrico del material, se considera como este fue procesado por la planta chancado de óxidos, obtienes los parámetros históricos de la misma que nos indica como producto final lo siguiente:

- ✓ Granulometría: 85% -1/2".

La recuperación y consumo de ácido son los parámetros relevantes de esta prueba, para su posterior análisis económico, debido a que su capacidad de lixiviación está probada cuando se procesó el mismo material como óxido de alta ley, donde los principales parámetros históricos nos indican lo siguiente:

- ✓ Ley de cabeza : 0,65 [%] CuT
- ✓ Solubilidad : 82 [%]
- ✓ Recuperación CuT : 65,2 [%]
- ✓ Consumo de ácido promedio : 42,3 [Kg/Ton]

Se trabajó con 6 muestras obtenidas de manera aleatoria desde el botadero de rípios de la división con el objetivo de analizar las variables más necesarias para un proceso de lixiviación, que son consumo de ácido y recuperación.

A continuación se muestra el consumo de ácido y la capacidad de extracción de Cu obtenidas en las pruebas de laboratorio para el material de rípios:

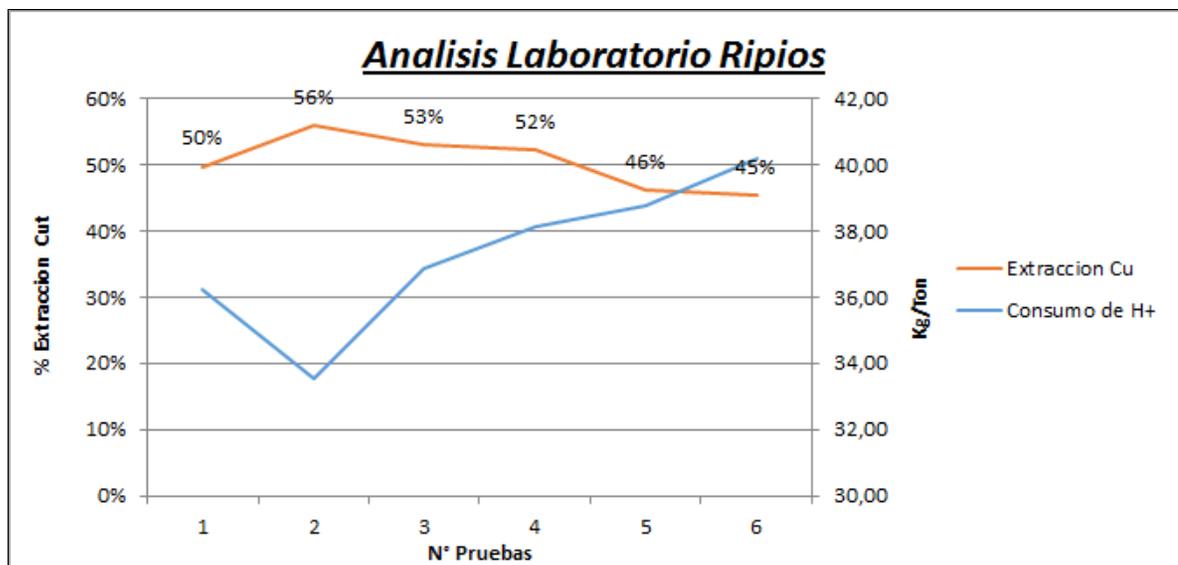


Figura N°6.5 Pruebas de laboratorio material rípios, consumo de ácido y recuperación en cobre total

También se realizaron pruebas de IsoPH para el material de rípios, con el objetivo de obtener el consumo de material y su capacidad de saturación de ácido en el material, el gráfico se muestra a continuación:

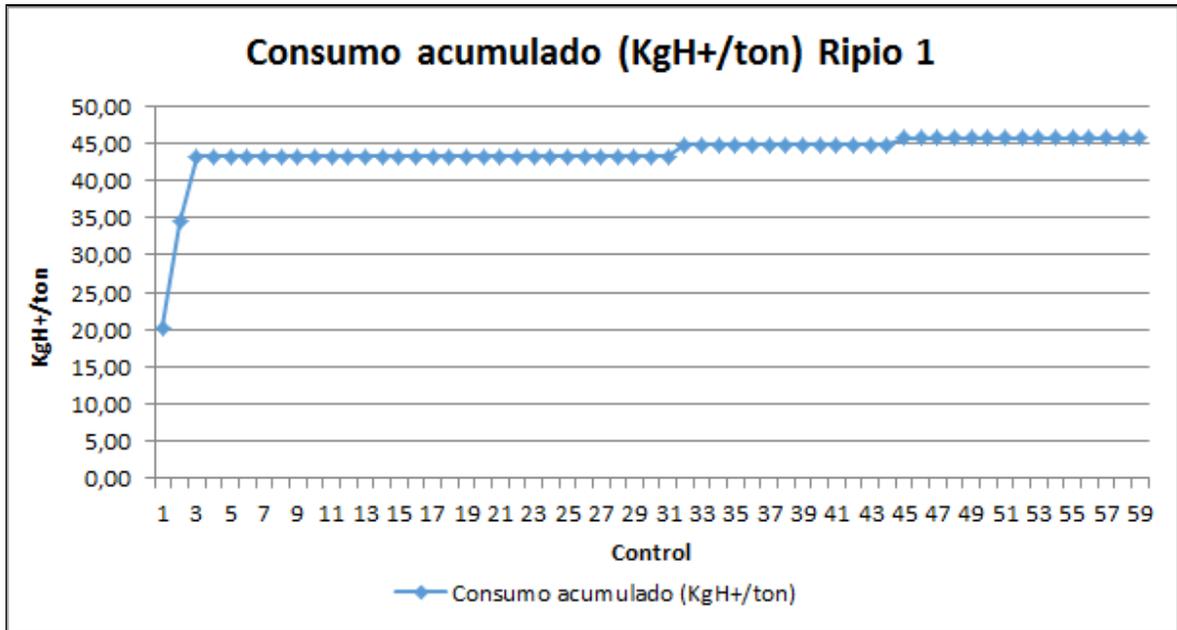


Figura N°6.6: Capacidad de saturación de material de rípios

Nos indica un consumo de 45 Kg/Ton, de capacidad de saturación de la partícula, es muy similar a los valores históricos que presenta este material, que es gran consumidor de ácido, principalmente por su composición de ganga y arcillas como montmorillonita en la mineralogía

6.2.3 DESCRIPCION Y PRUEBAS DE LABORATORIO DE OXIDOS BAJAS LEYES.

Los materiales que fueron procesados para la prueba industrial y que fueron denominados óxidos de baja ley, con el criterio de ley de corte de alimentación a las altas leyes de 0.45%, en su origen son obtenidos desde el rajo de colina de cobre, el cual en su composición mineralógica es la siguiente:

Para el caso de los stock de bajas leyes de Colina de Cobre oxidados de cobre corresponden a:

- óxidos verdes: 20% crisocola, 10 brochantita, 5% libietenita, 40% montmorillonita
- óxidos negros: 25% neotocita+copper wad+copper pitch
- Trazas de turqueza y calcosina.

Mientras que los minerales oxidados de los ripios son principalmente 70% óxidos negros (copper wad+copper pitch+neotocita) y 30% crisocola.

La granulometría obtenida se considera con la información obtenida desde el proceso minero continuo de la división, debido a que no existe un proceso posterior al de tronadura desde la mina, se obtiene la malla de disparo de la operación minera el cual nos indica:

- ✓ Granulometría de disparo de mina 95% + 1/2".
- ✓ Ley de alimentación promedio de 0,30 % CuT.

Con respecto a las pruebas de laboratorio, el único objetivo que se buscó analizar era un modelo de recuperación para el material, debido a la variabilidad del material que se alimentaría en la prueba industrial de la planta.

Se realizó la prueba de lixiviación hasta el día 180, debido al análisis que busca el comportamiento de recuperación del material, para la comparación con la prueba industrial se utilizó un modelo matemático con los datos obtenidos.

Se detalla a continuación los parámetros de recuperación obtenidos en modelación de recuperación para materiales de bajas leyes:

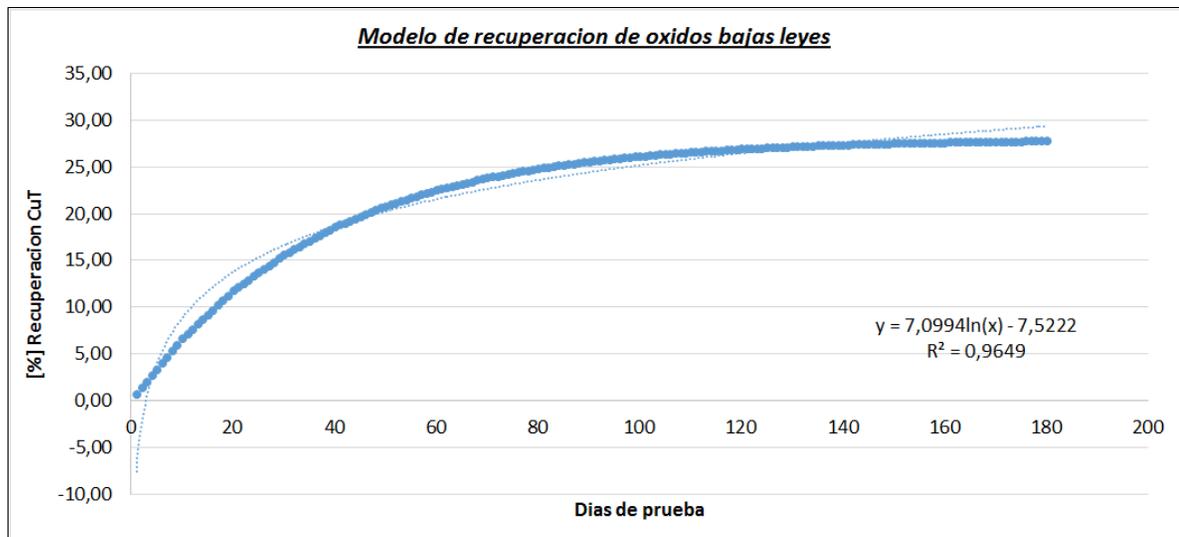


Figura N°6.7 Modelo de recuperación en base a prueba industrial de ripios

En cuanto al consumo de ácido debido a las dimensiones de la partícula es poco factible las pruebas de laboratorio, solo se evaluara en la prueba industrial los consumos y recuperaciones, las variables relevantes del proceso de lixiviación.

6.3 SECTORES HABILITADOS PARA CARGUIO

Se dispuso de sectores habilitados con ciertas características para la prueba industrial de cada uno de los materiales, lo principal que debe tener cada uno de los sectores acondicionados son:

- Habilidad del sector con maquinaria pesada y encarpetao del sector.
- Habilidad de canalizaciones para recolección de soluciones.
- Estudio geo-mecánico de estabilidad de pila (Con ángulos de talud necesarios).

Con la preparación de cada uno de los sectores, es factible proceder al carguío de cada una de las pilas, hay que considerar que las pilas no tienen la misma dimensión ni cantidad de material a cargar debido a la naturaleza de la prueba (Diferentes tipos de materiales).

6.4 CAPACIDAD DE RECEPCION DE VOLUMEN DE SOLUCION PLANTA.

La planta Hidrometalurgia fue diseñada el año 1995 con una capacidad de procesamiento de minerales de alta ley con un chancado de 16.000 TMS/Día, debido a esto la capacidad de la lixiviación se diseñó para una capacidad de diseño de movimiento de soluciones de 1.200 [m³/Hr] entre los diferentes pozos de recolección y alimentación a planta SX-EW, con lo mencionado la planta no cuenta con capacidad adicionada para prueba de materiales los cuales no sean denominados de alta ley.

Con esto se generaron alternativas de recepción de soluciones para cada una de las pruebas industriales que se detallan a continuación:

- **Prueba de Circulante:** Construcción de pozo de recolección de soluciones de 5.000 [m³] de capacidad que cuenta con autonomía de impulsión (Líneas de HDPE y bombas) hacia el proceso de alta ley y refinado del sistema.
- **Prueba de rípios:** Construcción de canala de recolección de soluciones que se conecta directamente con el sistema de recolección de soluciones de alta ley, que cuenta con conexión al proceso.
- **Pruebas de OBL:** Construcción y habilitación de sistema de recolección desde plataforma denominada Turqueza, donde se cuenta con pozo de recolección de soluciones (Capacidad de: 15.000 m³) e impulsión hacia el sistema de alta ley y refinado de la planta.

Con esta construcción y esta habilitación del sistema, se cuenta con la capacidad de movimiento de soluciones necesarios para las pruebas industriales de cada uno de los tres materiales que irán al proceso de lixiviación.

7 DESARROLLO PRUEBAS INDUSTRIALES.

Luego de obtener datos de laboratorio que permiten obtener respaldo técnico del éxito de una lixiviación para este tipo de materiales, se procede a realizar las pruebas industriales, donde los márgenes de error obtenidos en los resultados son cada vez menores y finalmente son estos resultados los que permiten obtener datos de evaluación de negocios consolidados para el futuro de esta propuesta.

7.1 DISPOCISION DE SECTORES DE CARGUIO EN PLANTA

En la planta como se mencionó anteriormente está diseñada para el procesamiento de materiales OBL, donde se construyó la plataforma denominada única de alta ley (Pila dinámica), en el siguiente diagrama se especifica mediante un mapa donde se ubicaran las pruebas industriales mencionada de los materiales nuevos

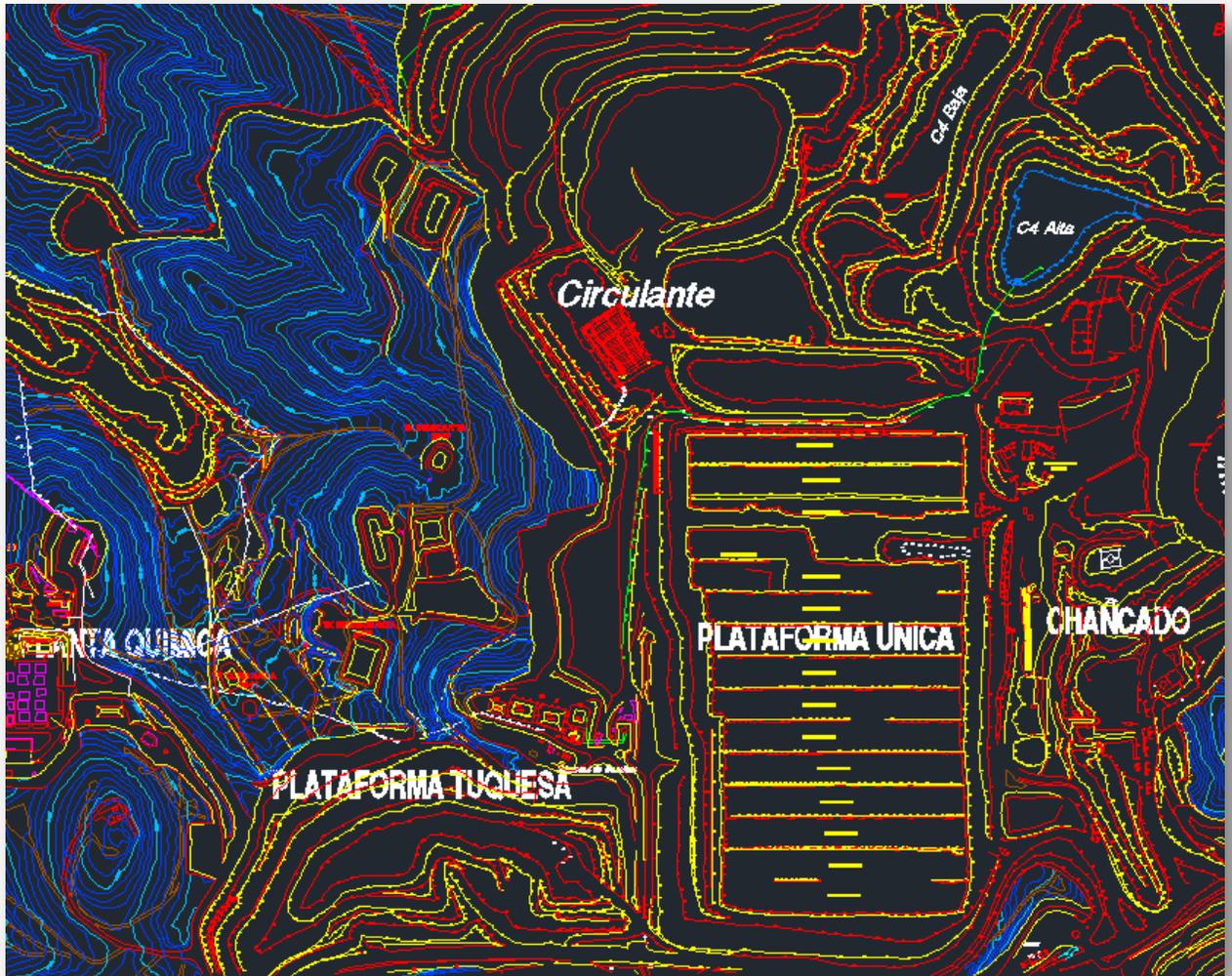


Figura N°6.8: Disposición de planta hidrometalurgia con sectores asociados a pruebas industriales.

7.2 DESCRIPCION DEL PROCESO DE PRUEBA INDUSTRIAL RIPIOS

El material que con el cual se formara la pila de prueba, proviene del proceso de lixiviación de óxidos de alta ley, tal como se muestra en la imagen n°1 adjunta. Éste material, corresponde al remanente posterior al proceso de lixiviación primaria (Y que se denominan rípios de lixiviación) ubicados en los botaderos autorizados para recibir dicho material, el cual nuevamente es lixiviado mediante un proceso denominado lixiviación secundaria (Lixiviación de rípios).

Si bien actualmente, DSAL posee agotamiento de sus minerales oxidados, existe una reserva importante de éstos rípios con leyes que están en promedio en 0,19 % CuT, lo cual presenta una oportunidad de negocio con estos materiales, la prueba industrial

tiene como objetivo poder determinar los parámetros de diseño y metalúrgicos más relevantes de una operación de lixiviación secundaria, como puntos relevantes, evaluar la recuperación de cobre y el consumo de ácido, para evaluar una ejecución a mayor escala de estos materiales y que sea rentable para la división.

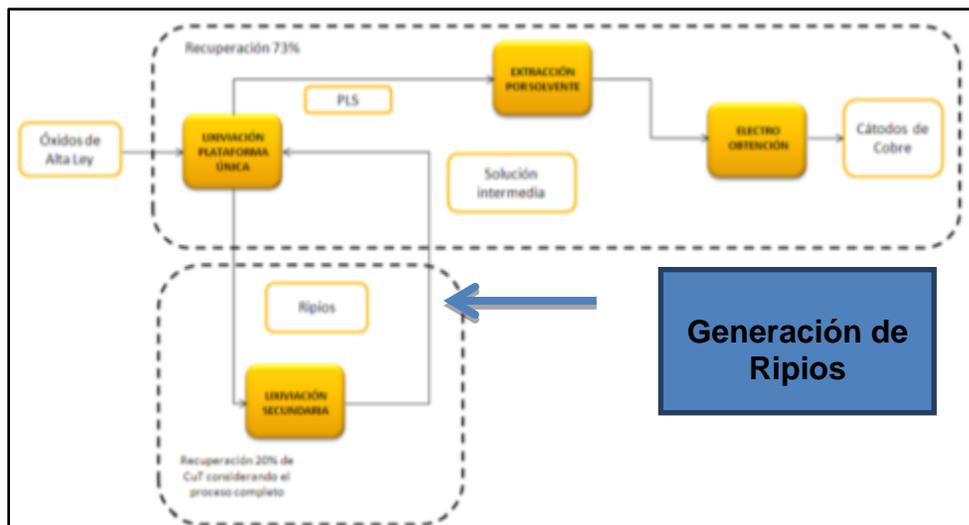


Figura N°7.1: Proceso de obtención de rípios en base a proceso óxido alta ley

Los efluentes de las pilas de rípios, son recibidos en un pozo denominado de Descarte, luego, estos efluentes dependiendo de la concentración en cobre de la producción del alta ley (Cuando estaba en operación), son derivados a directamente Planta SX-EW para formar parte de la producción de cobre fino o al proceso de lixiviación OAL.



Figura N°7.2: Configuración de recolección de soluciones proceso de lixiviación de ripios

La pila que se cargara será de operación estática y estará ubicada en un sector ya determinado que cumplirá con todos los resguardos para la contención de posibles derrames de solución del proceso.

Las dimensiones de la pila industrial se detallan a continuación (Diseño):

- ✓ 5 Metros de altura.
- ✓ 150 metros de largo.
- ✓ 100 Metros de ancho.
- ✓ Canala de recolección de soluciones encarpetaada con ancho de 3 [Metros].
- ✓ Drenas ubicadas en la base de pila con una separación de 3 [Mts] cada uno.

A continuación se representa gráficamente la pila de ripios, notando los datos más relevantes de ella, que se cargara con las dimensiones descritas.

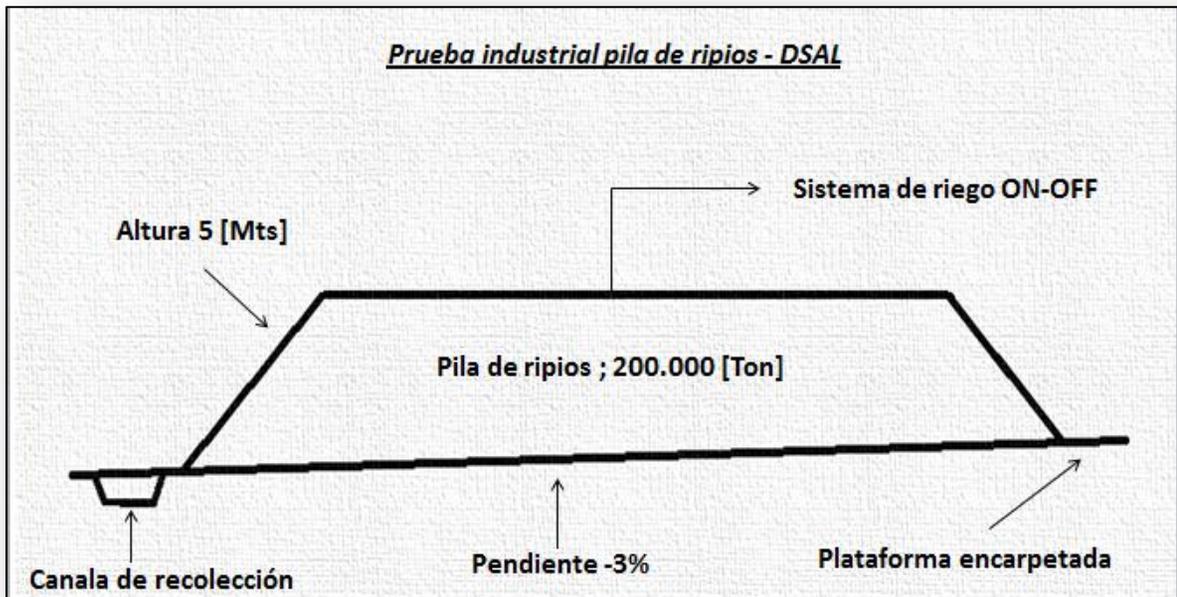


Figura N°7.3: Esquema general de pila de ripios, DSAL.

Sumado al esquema presentado, se notan algunos parámetros de operación relevantes de la prueba:

- ✓ La canal de recolección transportara la solución a un cajón de recolección donde se realizara el control metalúrgico a la solución de efluentes.
- ✓ Todo el sector descrito se encuentra encarpado, por posibles derrames de solución.
- ✓ Se instalaran drenas en la base de la pila con distancia de 3 [Mts] que tiene por objetivo la percolación correcta de la pila a la canal descrita en imagen N°2.
- ✓ Angulo de formación de talud 45°.

El sistema de riego y por consecuencia la tasa de riego se realizara por ciclos, debido a que esta pila tendrá un sistema de riego ON-OFF, notando que lo que se detalla a continuación son las tasas de riego cuando la pila este en régimen (Horarios de riego determinados):

- ✓ 2 Hrs de riego (Los primeros 10 días), tasa de riego 5 [L/Hrs/M²]
- ✓ 12 Hrs de riego (Los siguientes 10 días) Tasa de riego 6 [L/Hrs/m²]
- ✓ 24 Hrs de riego (posterior a los primeros 20 días) Tasa de riego se mantiene constante en 6 [L/Hrs/m²].

La prueba se estima en 8 meses dado que, este es el tiempo que debiese demorar la generación de un cátodo de cobre grado A en la planta SX-EW de DSAL, desde que se comenzó el proceso de lixiviación de ripio. En esta prueba industrial solo se considera la ejecución de una carga de 200.000 toneladas de ripio por lo que solo habrá un ciclo en toda la prueba.

Las notaciones principales del proceso se detallan a continuación:

- ✓ Riego en sistema ON-OFF
- ✓ Riego con concentración de ácido entre 8 a 15 [Gr/L] (Riego refino)
- ✓ Recolección de soluciones por canaleta que transporta las soluciones a un pozo de solución rica en Cu.
- ✓ Malla de riego de 6x6 [m] con aspersores de bajo ángulo.
- ✓ Control cada 6 Hrs de las soluciones efluentes para evaluar la lixiviación.
- ✓ Control metalúrgico a las soluciones efluentes provenientes de la pila.

➤ **Recomendaciones Geo mecánicas.**

A continuación, se presenta el cómo fueron abordadas las recomendaciones geomecánicas por parte de la operación para llevar a cabo y, a buen término la prueba industrial lixiviación de ripios en botaderos.

Esta franja de 10 mts, fue recomendada con el objetivo de evitar deslizamientos de talud hacia el sector en donde se recibieron los efluentes de las pilas de ripios, esto es, la pila de riego se emplaza 10 mts antes de llegar a la cresta del talud. Ver Figura 1

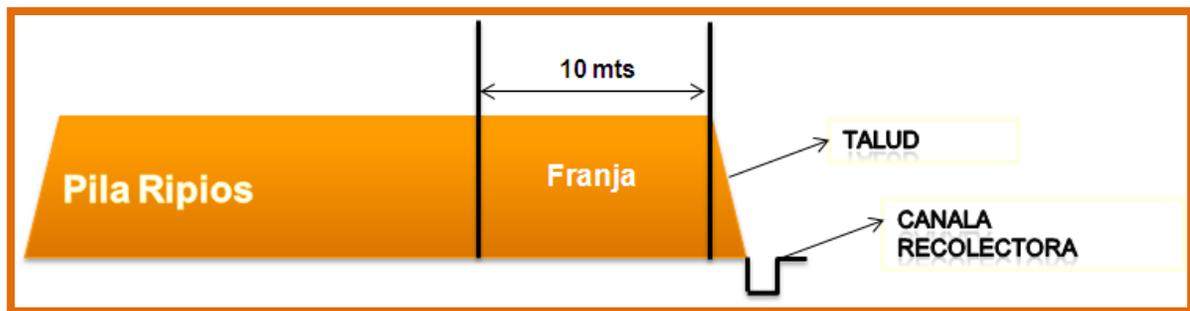


Figura N°7.4: Franja de 10 mts

Como se muestra en la figura, se tomaron todas las recomendaciones realizadas debido a la potencialidad de derrumbe de este material, considerando los volúmenes a procesar y la humedad del material.

7.3 DESCRIPCION DEL PROCESO DE PRUEBA INDUSTRIAL MATERIAL OBL

Los materiales OBL se concentran en dos sectores de la planta y con dos tipos específicos de materiales a cargar: Sectores denominado como Central-4 (materiales provenientes de quebrada M) y el sector de turquesa.

En la siguiente figura se muestra la ubicación de la pila turquesa:



Figura N°7.5: Disposición en planta de plataforma Turquesa

Los parámetros operaciones de la pila turquesa en el carguío se detallan a continuación:

- ✓ Cuenta con un área corona de: 22.019 m².
- ✓ Altura de Pila: 10 m. en el carguío de ROM con un tonelaje de 462.854 t.
- ✓ Esta Pila es soportada por mineral cargado del año 2010.
- ✓ Para Regadío, se cuenta con 2 bombas en serie, a una capacidad de TR: 6,76 l/hm².

7.4 DESCRIPCION DEL PROCESO DE PRUEBA INDUSTRIAL MATERIA CIRCULANTE

Para la formación de pila de circulante proveniente de potrerillos, se inicia con la preparación del área y la recepción de la misma a través de camiones, este traslado cuenta con un recorrido de 72 Km (Aproximadamente) desde el stock ubicado en Potrerillos hasta el lugar dispuesto por la planta, en la siguiente figura se muestra la disposición de pila en planta hidrometalurgia:

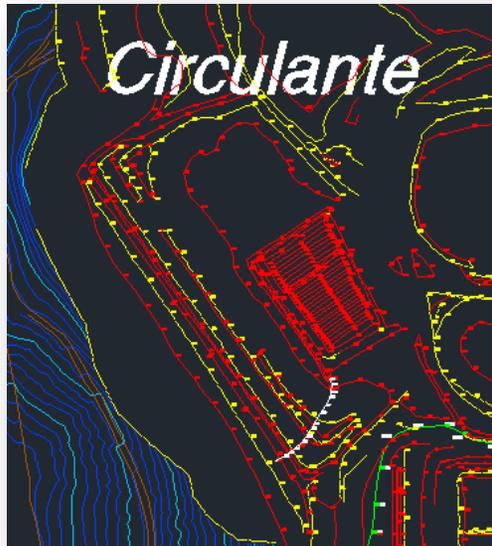


Figura N°7.6: Demarcación de carguío pila de material circulante

Los datos de la formación de la pila se detallan a continuación:

- ✓ Cuenta con un área dispuesta a riego de 4.756 [m²].
- ✓ Altura de Pila: 2 [m].
- ✓ Tonelaje de la pila: 19.576 [t]

A continuación se muestra con una fotografía la disposición final de la pila de circulante para la prueba, esta instalación cuenta con la descripción de todo el sistema necesario de recolección de soluciones para una operación normal de lixiviación:



Figura N°7.7: Descripción fotográfica de formación pila de material circulante

7.5 RESULTADOS PRUEBAS INDUSTRIALES

A continuación se presentan los resultados de las pruebas industriales, lo relevante de la obtención de resultados a través de pruebas de envergadura industrial es que permite obtener datos consolidados para la posterior evaluación económica de cada uno de los materiales, donde el margen de error en una evaluación de negocio es menor considerablemente en comparación con una prueba de laboratorio.

7.5.1 RESULTADOS PRUEBAS INDUSTRIALES MATERIAL RIPIOS

Los datos de operación y diseño para realizar la prueba industrial de material ripios son los siguientes:

- ✓ Tonelaje puesto en riego: 201.254 t.
- ✓ Ley CuT : 0.19%
- ✓ Área Corona: 9.857 m²
- ✓ Numero de Pilas de lixiviación: 1
- ✓ Altura de Pila: 4 [m]

- ✓ Angulo Talud Pila: 35° a 36°
- ✓ Tiempo de Lixiviación: 8 meses
- ✓ Fino puesto en riego : 382 [Ton]

El tiempo estimado de lixiviación se muestra desde un inicio debido a que las cinéticas de lixiviación de pruebas de laboratorio están cerca de la magnitud expuesta.

Todo este material dispuesto para la prueba industrial, se procedió el riego con solución refino de la planta hidrometalurgia.

A continuación se presenta los efluentes presentados por la pila de rípios en los 8 meses de prueba:

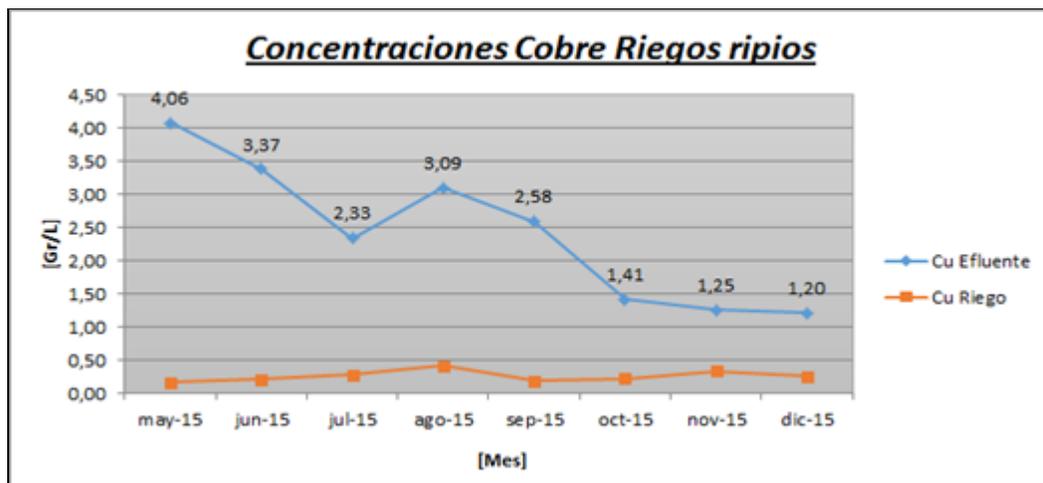


Figura N°7.8: Concentraciones de cobre efluentes vs riego pila

Se aprecia una alta concentración de cobre en los primeros 5 meses de operación, debido a la cinética de lixiviación que indica una aceleración de la lixiviación para luego lograr una estabilidad en el sistema con un promedio de aporte al sistema de 1,29 [Gr/L], mencionando que el aporte por parte de la solución lixivante en cobre se mantiene constante durante la prueba.

En términos de recuperación en cobre total de la pila de circulante, los resultados se ilustran a continuación:

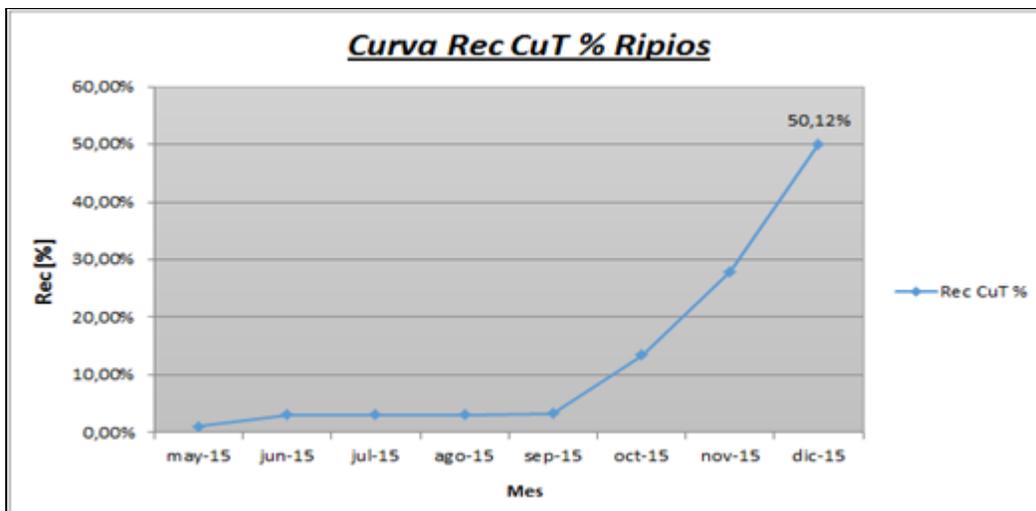


Figura N°7.9: Recuperación en cobre total de prueba industrial de rípios

Como se aprecia en el grafico siguiente, los 5 primeros meses de operación no existen aportes significativos a la recuperación en cobre total, debido a los problemas físicos que presento la pila de rípios.

En una primera instancia la pila de rípios fue cargada a una altura de 8 [Mts] con el objetivo de disminuir los costos asociados a la preparación de la áreas y considerando la magnitud de movimiento de material de rípios en caso de ser exitosa la prueba, por lo que finalmente se llegó a la altura ideal de carguío que fue 4 [Mts] y con esto la solución tuvo un comportamiento de percolación del 90% al efluente.

La pila al cabo de los 8 meses de prueba alcanzo una recuperación de 50,12% en cobre total considerando los últimos 4 meses como las condiciones ideales de lixiviación para el material de rípios estudiados.

A continuación se presenta el consumo de ácido de la pila de rípios:

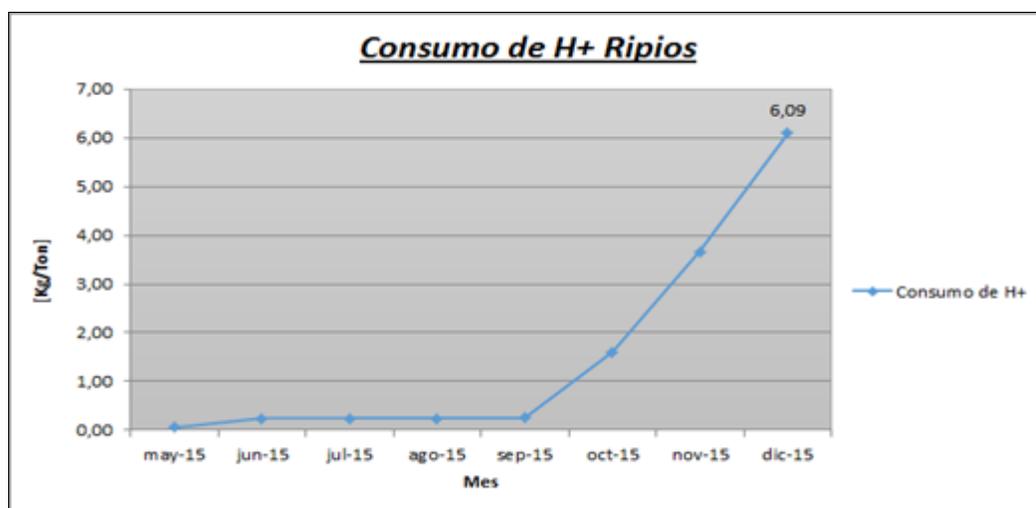


Figura N°7.10: Consumo de ácido de pila de rípios

Como se aprecia en el gráfico, el consumo de ácido de la pila y por consecuencia su lixiviación comenzó a partir de estabilizar las condiciones físicas de la pila, en el quinto mes de operación.

Los consumos entregados por la prueba indica 6,09 [Kg/Ton] para una recuperación mencionada de 50,12% en cobre total, esto es bajo los niveles que nos indica la estadística del material cuando fue procesado como alta ley (Consumo promedio de 42,54 Kg/Ton), lo que podría existir una real posibilidad de negocio con este material.

En cuanto al caudal que busca analizar la capacidad de percolación de la pila, se muestra a continuación:

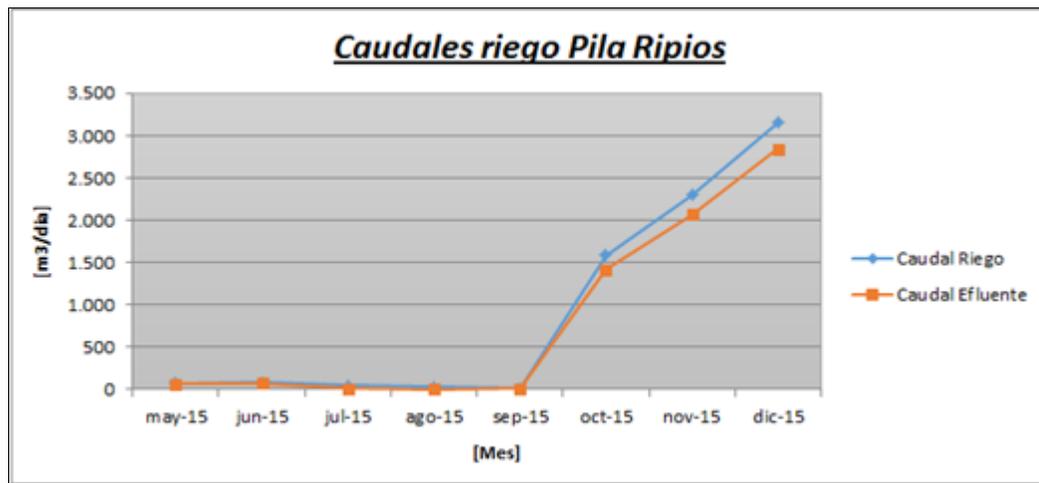


Figura N°7.11: Caudales de riego de pila de ripios

Lo que indica los caudales de efluentes, es que si bien en los primeros 5 meses de operación no existió capacidad de percolación de la pila de ripios, debido a los problemas expuestos anteriormente (Altura de la pila), desde las condiciones óptimas de carguío de la pila, la capacidad de percolación tuvo una capacidad del 89%, lo que indica viabilidad física de lixiviación del material de ripios.

A continuación se muestra el grafico de recuperación en comparación con la razón de lixiviación:

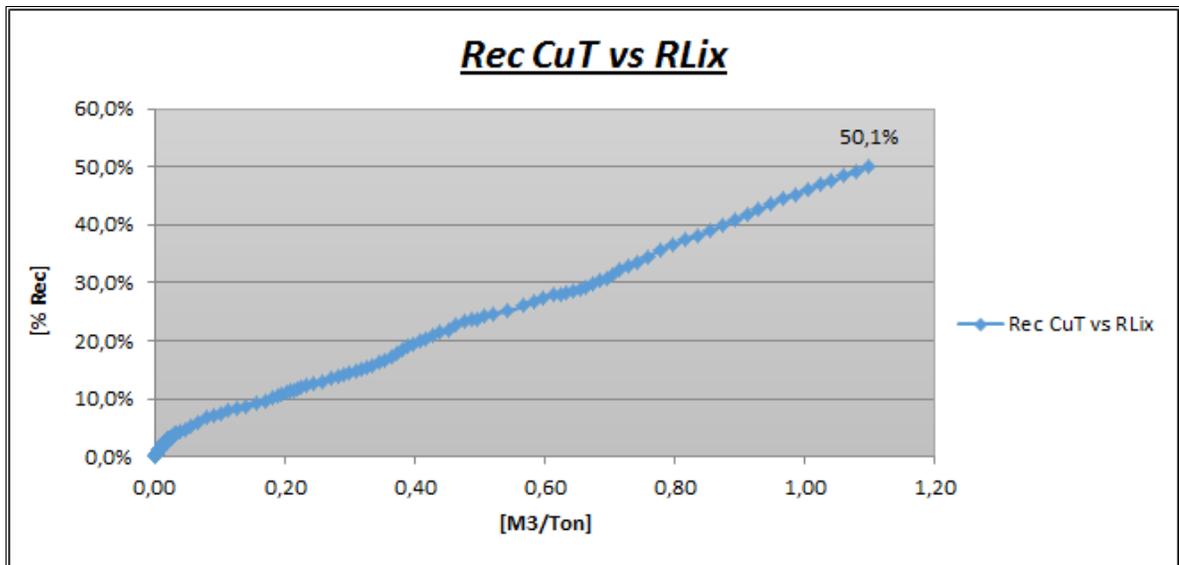


Figura N°7.12: Recuperación en cobre total vs razón de lixiviación, prueba de rípios

La razón de lixiviación que entrega el material de rípios para la obtención de una recuperación de 50,1 [%] en cobre total es de 1,10 [m3/Ton], lo cual indica una lixiviación que necesita menor cantidad de riego de solución lixiviante en comparación con las otras pruebas de materiales, para la obtención de parámetros de recuperación que hagan rentable el negocio.

7.5.2 RESULTADOS PRUEBAS INDUSTRIALES MATERIAL CIRCULANTE

Por el periodo de 15 meses que contemplo la prueba industrial, los datos iniciales de la prueba son los siguientes:

Datos Iniciales	
Masa, (tmh)	19.576
CuT, (%)	10,54
Fino CuT	2.063

Tabla N°7.1: Datos prueba industrial pila de circulante

Una cantidad de 2.063 toneladas de cobre fino ingresado a la planta y dispuesto en la pila que ya fue mencionada sus características físicas.

La solución con las cuales se dispuso el riego este material, es solución refino proveniente de la planta SX-EW con contenidos de ácido que fluctúan entre 10-12 Gr/l, para obtener el proceso de lixiviación correspondiente.

Los análisis de percolación física de la pila indican una tasa de percolación muy similar a la dispuesta en pilas de alta ley, en este caso un 89,7% de la solución lixiviante, en el siguiente grafico se muestra los análisis de soluciones en riego de la pila:

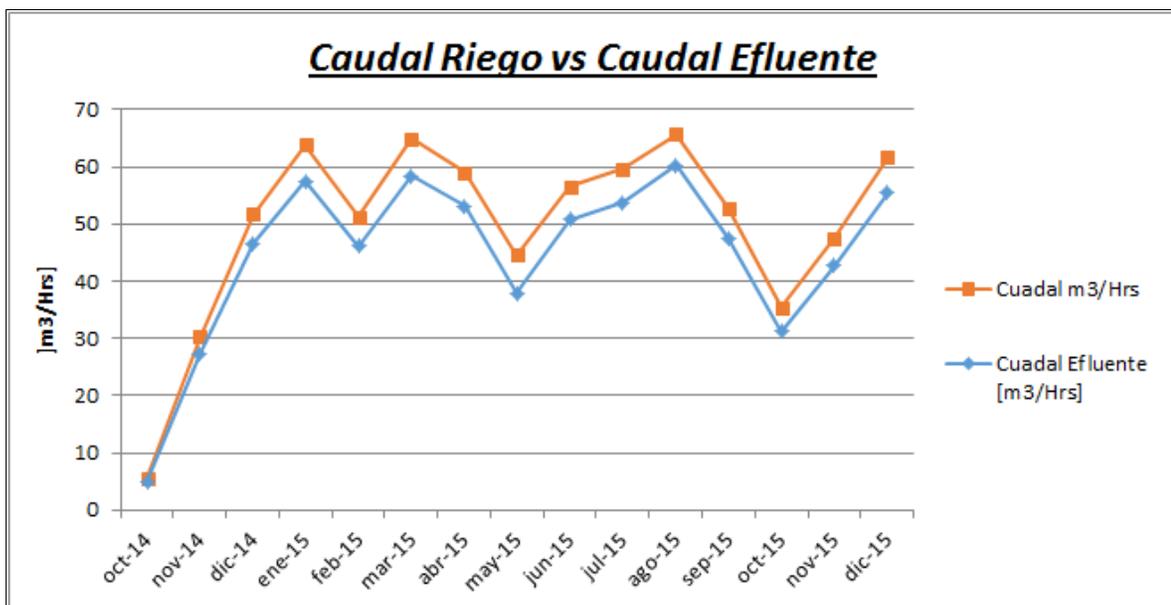


Figura N°7.13: Análisis de caudal de soluciones en prueba de pila de circulante

Este grafico nos indica que la solución que es ingresada a la pila tiene un comportamiento de percolación normal durante los 15 meses de prueba.

Con respecto a las concentraciones de cobre en las soluciones de efluente, como se analizó en las pruebas de laboratorio, las concentraciones fueron sobre los 4 Gr/l durante 4 primeros meses (En consecuencia con la cinética de lixiviación de un material de óxido alta ley), para luego entrar en la estabilización de la misma, se muestra el detalle en el grafico a continuación:

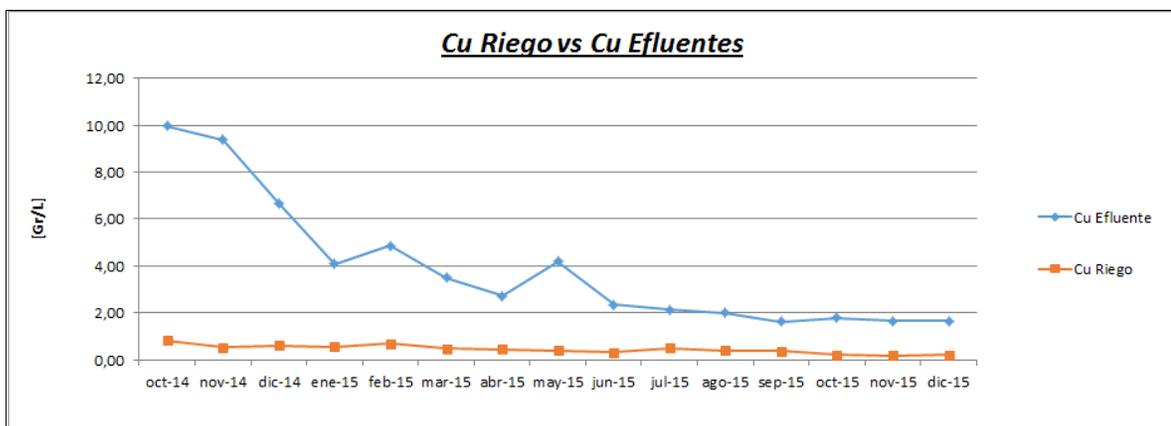


Figura N°7.14: Concentraciones de cobre en riego y efluentes pila de circulante.

La recuperación de cobre total de la pila de circulante, en un periodo de tiempo a los 15 meses tuvo un comportamiento notoriamente más lento que la prueba de laboratorio

(Donde a los 212 días alcanzo 70% de recuperación), el detalle se muestra a continuación:

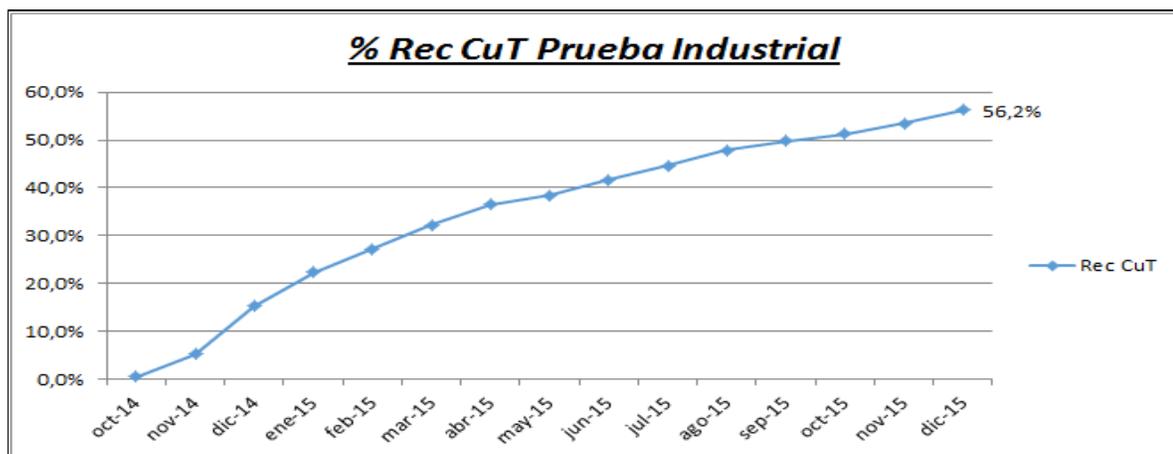


Figura N°7.15: Recuperación de cobre total de pila de circulante

Se obtiene una recuperación de 56,2% de cobre total en el periodo descrito de 15 meses, los procesos de alta ley nos indica una cinética de 4 meses y recuperaciones que bordean los 65% en cobre total al cabo de ese tiempo del proceso.

En cuanto al consumo de ácido, debido a que es una pila estática de lixiviación, el consumo va aumentando debido a que en una misma área cargada de mineral se ingresa una cantidad de solución lixivante, los detalles se entregan a continuación:

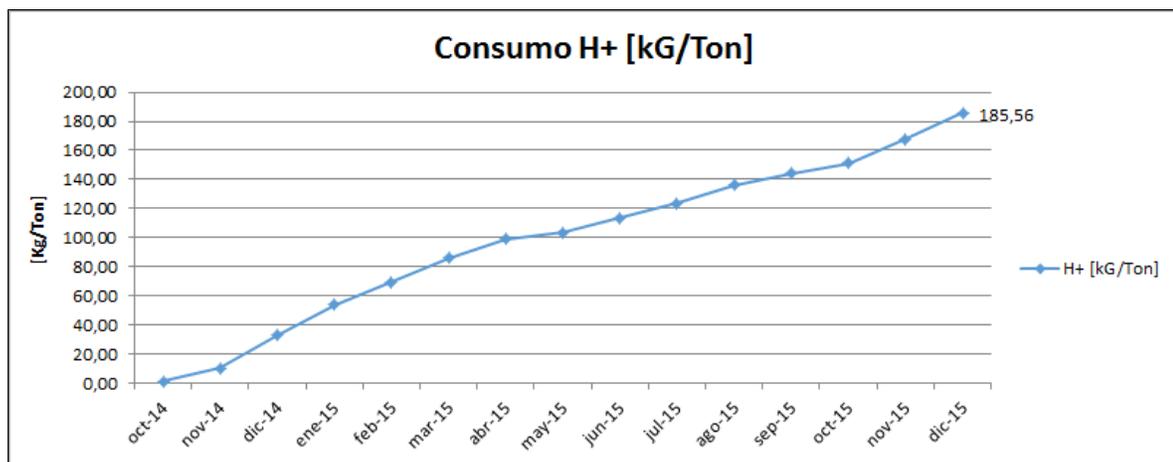


Figura N°7.16: Consumo de ácido en prueba material circulante

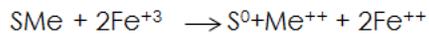
El consumo entregado por la pila en un periodo de 15 meses, esta sobre los 66,4 [Kg/Ton] entregados por la prueba de laboratorio y por sobre los consumos promedio de una operación de óxidos alta ley (25-35 Kg/Ton), como se menciona es debido a que el área de riego no fue alimentado por material fresco durante los 15 meses de prueba.

➤ **Análisis de lixiviación de material circulante**

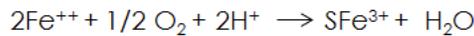
La reacción química que involucra el proceso de una lixiviación de material circulante, se entrega a continuación y explica el fenómeno de lixiviación de un material que es extraído del mismo proceso de fundición:

Reacciones químicas del proceso

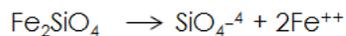
Etapa química



Etapa Biológica



Disolución Fayalita



Lixiviación metal blanco

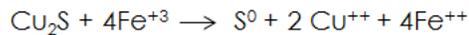


Figura 7.17: Reacciones químicas involucradas en el proceso de lixiviación pila de circulante

En el proceso de la prueba industrial, la solución lixivante utilizada fue el refino obtenido del mismo proceso de lixiviación de la planta hidrometalurgia, donde debido al tiempo de operación de la planta y circulación de la solución en un sistema cerrado, la concentración de Fe+3 bordeaba los 13 [gr/l], donde como explica las reacciones químicas ocurridas en el interior del material, lixivía obteniendo Cu++.

El problema que ocurre con la lixiviación, es que el agente lixivante se agota con las mismas reacciones químicas de obtención de cobre y no se regenera de manera natural, hay que sufrir un proceso de generación y preservación de iones férricos, como no se realizó esa tarea los resultados de las concentraciones se muestran a continuación:

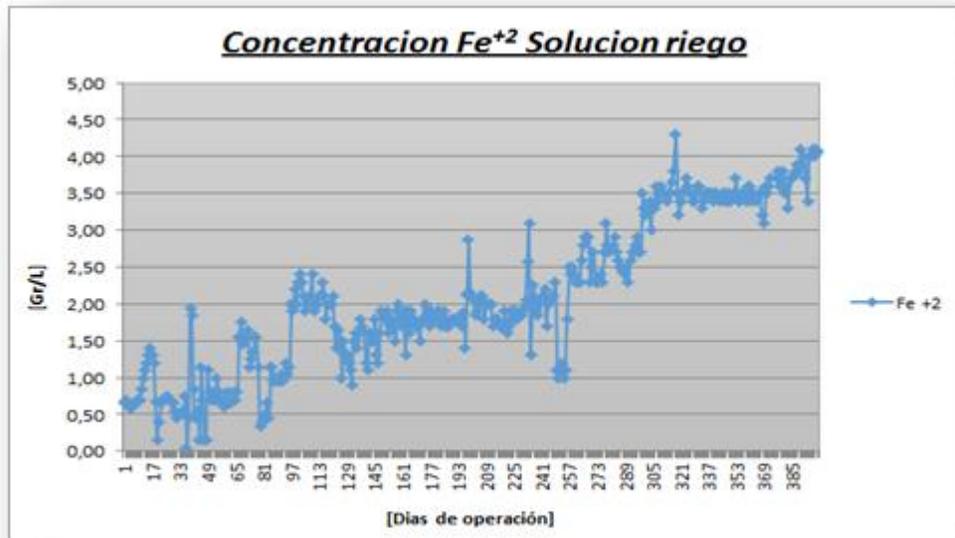


Figura N° 7.18: Concentración de ion ferroso en el sistema de refino planta hidrometalurgia DSAL

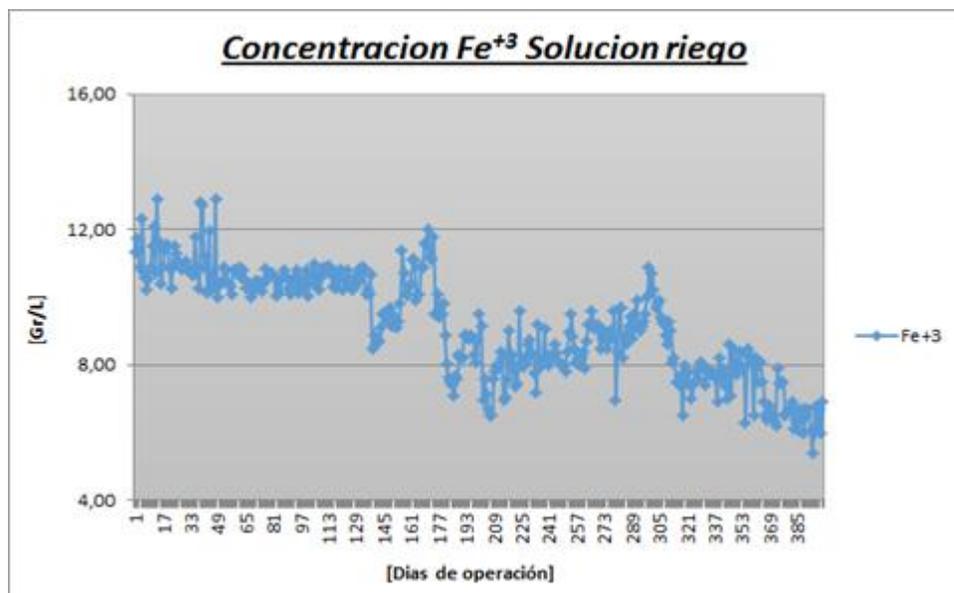


Figura 7.19: Concentración de ion férrico en el sistema de refino planta hidrometalurgia DSAL.

Como muestran los gráficos, las concentraciones de los iones fierros presentes en el sistema sufrieron variaciones según las reacciones químicas explicadas anteriormente, donde el sistema por sí solo no genera el ion ferroso para obtener la obtención de cobre de un material con las características mineralógicas del circulante, por lo que explica la lixiviación hasta el nivel que alcanzo la prueba industrial.

7.5.3 RESULTADOS PRUEBAS INDUSTRIALES MATERIAL OXIDOS DE BAJA LEY

Para la prueba industrial del material de óxidos de baja ley, los siguientes parámetros de operación y diseño fueron utilizados para la prueba industrial:

- ✓ Se cargaron un total de 462.854 [Ton].
- ✓ Granulometría de disparo de mina 95% + 1/2".
- ✓ Ley de alimentación de 0,30 % CuT
- ✓ Fino alimentado 1.373 [Ton].
- ✓ Recuperación cobre total : 61,34 %
- ✓ Consumo de ácido 18 [Kg/Ton] H+
- ✓ Altura de la pila 20 [Mts]

Con la pila cargada en el área dispuesta, se realizó una prueba industrial con duración de 358 días, con el objetivo de analizar el comportamiento metalúrgico y geo-mecánico de los materiales de óxidos denominados como bajas leyes.

A continuación se muestra una fotografía de la pila denominada como turquesa en riego:



Figura N°7.20: Pila turquesa en riego, prueba industrial óxidos bajas leyes

Como se muestra en la fotografía, la estabilidad que presenta los materiales de mayor granulometría, permite un carguío de pilas a mayor altura sin perder la estabilidad de la misma.

A continuación se muestra el consumo de ácido de la pila de óxidos baja ley a lo largo de la prueba industrial:

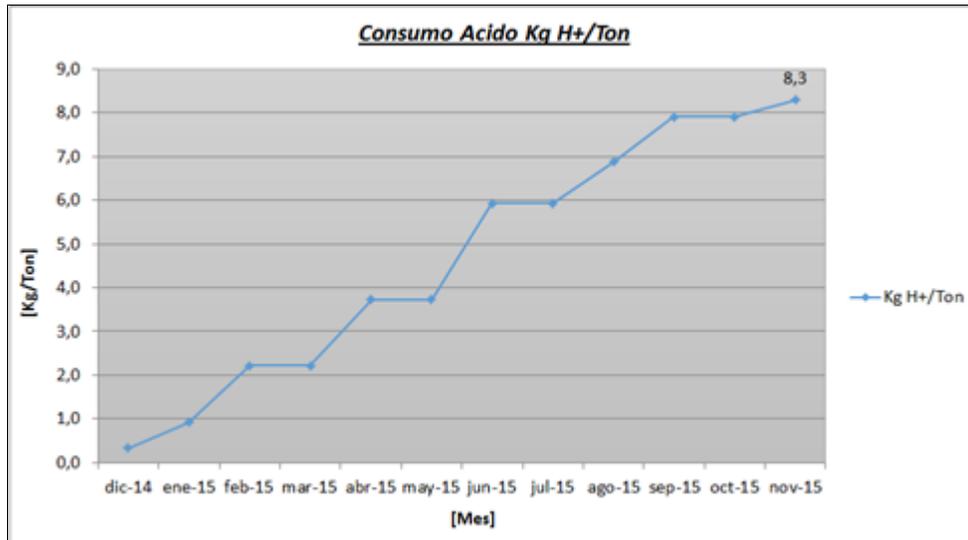


Figura N°7.21: Consumo de ácido prueba industrial óxidos baja ley

El consumo de ácido indica que el material de baja ley, tiene valores de 8,3 [Kg/Ton], esto es en menor nivel de la operación de óxido alta ley (42,35 [Kg/Ton]), lo que indica una posibilidad de negocio real de los óxidos bajas leyes, debido a que uno de sus parámetros relevantes de operación está bajo de los consumos promedio de operaciones de lixiviación.

A continuación se muestra las concentraciones obtenidas en la prueba industrial de óxidos de baja ley:

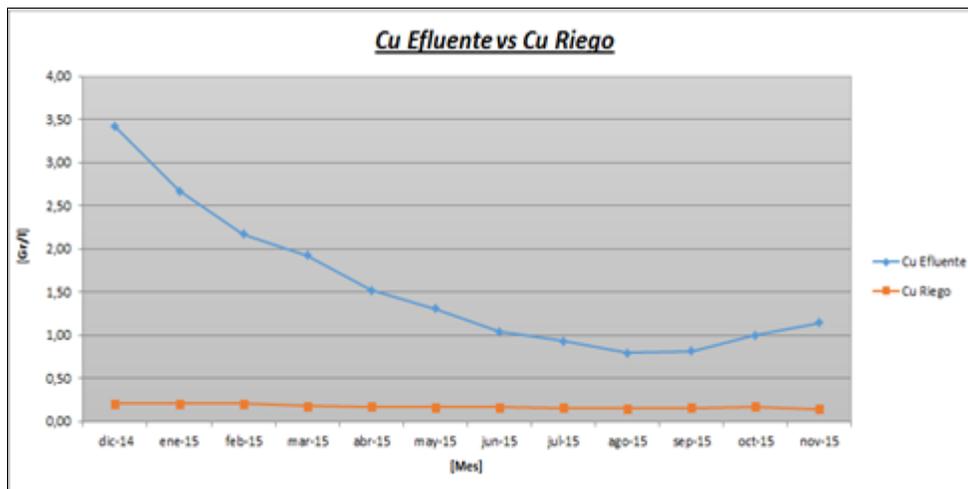


Figura N°7.22: Concentraciones de cobre en efluente vs solución de riego

Como muestra el grafico, la lixiviación de óxidos de baja ley presenta comportamiento muy similar a una operación de óxidos alta ley, con altas concentraciones de cobre en el fluyente en el inicio de la lixiviación para luego estabilizar su aporte al sistema.

A continuación se muestra los caudales de riego y efluentes de la prueba de óxidos baja ley:

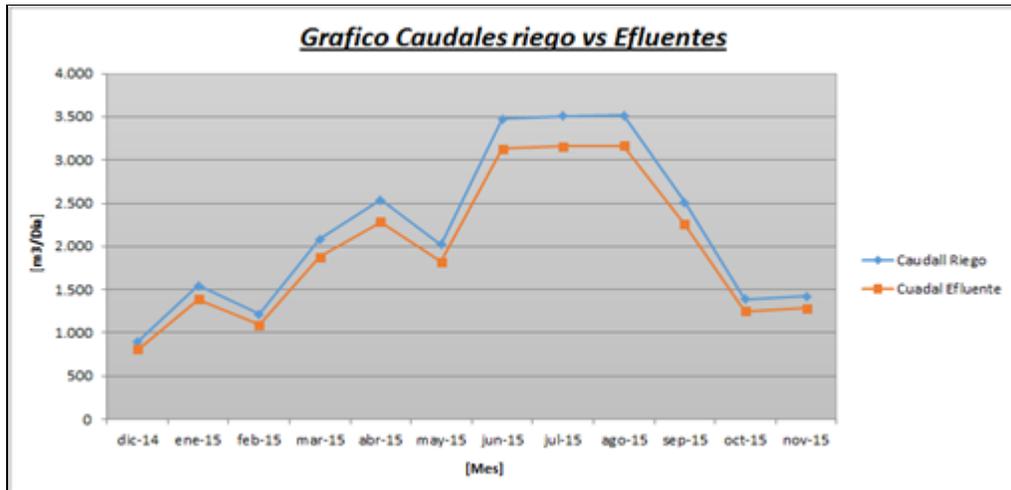


Figura N°7.23: Caudales de riego vs efluentes prueba industrial óxidos baja ley

Como muestra el grafico, la capacidad de percolación que presento la pila a un carguío de 10 [Mts] fue del 90%, lo que nos indica que no existen problemas con la estabilidad y la capacidad de percolación de la solución lixivante de este material.

A continuación se muestra la recuperación total obtenida por la pila industrial de óxidos de baja ley:

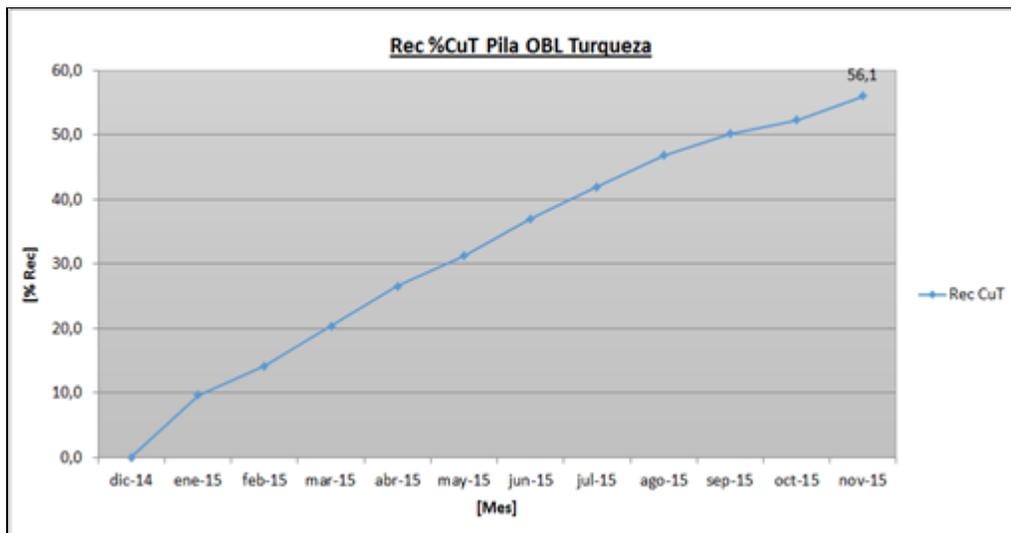


Figura N°7.24: Recuperación en cobre total de pila industrial óxidos bajas leyes

La recuperación en cobre total alcanzada por la pila de óxidos bajas leyes, está en 56,1[%] medido en cobre total, lo cual nos indica que si bien es una cinética lenta, tiene menor consumo de ácido que el promedio de la operación de óxidos alta ley y es un mineral estable para lixiviar a alturas mayores a la promedio (5-10 Metros).

La razón de lixiviación alcanzada para esta pila fue de 1,64 [M3/Ton], lo que nos indica un bajo consumo de la solución lixiviante del sistema para recuperaciones mayores al 56 [%].

8 EVALUACION ECONOMICA DE MATERIALES ESTUDIADOS

Con los datos obtenidos de las diferentes pruebas realizadas y considerando el la viabilidad técnica de procesamiento de cada uno de los materiales, se realiza un modelo de negocios posible para analizar su potencial de negocios, donde todas las variables del negocio son parte de la evaluación y entrega un diagnostico final del trabajo estudiado.

8.1 EVALUACION ECONOMICA PILA OXIDOS DE BAJA LEY

Con los datos obtenidos en la prueba industrial de óxidos de baja ley, se puede realizar un análisis económico de la prueba, pero lo que busca el trabajo presentado es buscar dar viabilidad a un plan de negocios sustentable para los próximos años, por lo cual ya que existen reservas probadas de este material se desarrolló un análisis económico de un plan minero que se presenta a continuación:

Plan Minero OBL		2016	2017	PLAN
Línea Hidrometalurgia				
Mineral Total	kton	3.790	665	4.455
Ley Cu total	%	0,36%	0,39%	0,36%
Ley Cu soluble	%	0,19%	0,13%	0,18%
Recuperación Cu	%	56%	56%	56%
Mineral Óxido Baja Ley	kton	3.790	665	4.455
Ley Cu total	%	0,36%	0,39%	0,36%
Ley Cu soluble	%	0,19%	0,13%	0,18%
Recuperación Cu	%	56,4%	56,4%	56%
Consumo específico de ácido	kg/ton	8,3	8,3	8

Tabla N°8.1: Plan minero de óxidos bajas leyes

Para esta evaluación se consideró los parámetros de operación de la planta del año 2014 y los precios de los insumos de proyección de Codelco.

Las reservas presentadas son del mismo material estudiado y esto asegura un comportamiento metalúrgico similar en operación.

Para el movimiento de estos materiales se consideraron los costos actuales de contrato de movimiento de materiales en DSAL.

La evaluación económica del plan minero presentado se muestra a continuación:

VAN (MUS\$)		0,6		
Visión de Mercado Esperado				
Óxidos Distrito Salvador		2016	2017	Total
Flujo de Caja	kUS\$	-3.727	4.791	1.063
Ingresos	kUS\$	12.073	12.739	24.812
Ventas de Cobre	kUS\$	12.073	12.739	24.812
OBL	kUS\$	12.073	12.739	24.812
Cobre Pagable Total	tmf	2.681	2.829	5.511
OBL	tmf	2.681	2.829	5.511
Precio venta	c/lb	200	200	204
Premio cátodos	US\$/tmf	98	98	
Gastos Operacionales	kUS\$	15.800	7.948	23.749
	US\$/ton	4,2	11,9	5,3
	c/lb	267	127	195,5
Fijos		2.040	2.036	4.076
Minas				
Plantas		2.040	2.036	4.076
Variables OBL		13.760	5.912	19.673
Mina		5.816	1.015	6.831
Lixiviación		2.480	704	3.184
SX-EW		3.612	3.554	7.166
Consumo Ácido Sulfúrico		1.505	264	1.769
Transporte Cátodos Rotterdam		302	326	628
Otros Costos de Venta		46	49	95

Tabla N°8.2: Análisis económico plan de materiales óxidos bajas leyes

Los costos asociados a esta evaluación considera mina-planta y comercialización, por tanto el costo asumido en este proceso es desde la extracción del material desde la mina hasta la entrega al cliente.

Nos entrega un Van de 600.000 [US\$] en un periodo de 2 años de operación, y logra solo analizando este material un costo de operación de proceso de 195,5 [c/Lb]. Lo cual nos indica un proceso rentable y viable para la obtención de cátodos de cobre desde materiales denominados óxidos de baja ley.

8.2 EVALUACION ECONOMICA PILA CIRCULANTE

Con los datos obtenidos de la prueba industrial, es posible analizar la viabilidad económica de la pila de circulante, considerando los siguientes parámetros relevantes de una operación de lixiviación:

- Consumos de ácido.
- Cobre recuperado.
- Costos de procesamiento.
- Costos de transporte.

- Valorización de material por parte de la DSAL.
- Costos asociados a la producción catódica.
- Costos unitarios de transporte y chancado de material en Potrerillos.
- Precio del cobre promedio actual.

Con estas variables la evaluación se muestra a continuación:

Evaluacion Economica Circulante			
Tonelaje	t		19.576
Ley CuT	%		10,54
Cobre circulante	t		2.063
Recup. Cu	%		58,8
Cátodos Rec	tf		1.213
Ciclo Riego	d		489
Cons. Ácido	kg/t		187
Consumo energia Planta	MW/tf		3,2
Precio Cu	cUS\$/lb Cu		220
Valorización Circulante	cUS\$/lb Cu		170
Precio ácido	US\$/t		76,5
Precio energía	US\$/MW		101,07
Ingresos	KUS\$		1.337
Gastos	KUS\$		1.330
Carguio y Transporte (Potr) (0,21)	KUS\$		42
Chancado (1,14)	KUS\$		224
C y T (Pot-Lix) (1,62)	KUS\$		318
C y T (Lix-Pot)	KUS\$		-
Gastos operacionales	KUS\$		12
Ácido	KUS\$		279
Energía	KUS\$		392
Imprevistos (5%)	KUS\$		63
Beneficio	KUS\$		7
Beneficio Venta Circulante	KUS\$		734,6

Tabla N°8.3: Análisis económico pila de circulante

El beneficio obtenido por la pila de circulante es positivo en US\$ 7.000, pero en comparación con el beneficio de venta que obtiene la DSAL, está debajo por 728,6 KUS\$.

El beneficio de obtener el cobre por la vía de planta hidrometalurgia es que se utiliza un activo que posee la división y aporta con la disminución de costos en la misma planta (Considerando los costos fijos de operación).

8.3 EVALUACION ECONOMICA MATERIALES RIPIOS

Se consideró un plan minero para el material de ripios, en base a las conclusiones operacionales obtenidas con las pruebas industriales.

Este plan es sustentable debido a la gran cantidad de botaderos de ripios acumulados en los años de operación de la planta en su proceso de óxidos de alta ley (1995 al año 2014) con un ritmo de tratamiento de 450.000 [Ton/Mes].

A continuación se ilustra el plan minero para los próximos tres años:

Plan Minero OBL		2016	2017	2018	PLAN
Línea Hidrometalurgia					
Mineral Total	kton	9.600	9.600	9.600	28.800
Ley Cu total	%	0,20%	0,20%	0,20%	0,20%
Ley Cu soluble	%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%
Recuperación Cu	%	50%	50%	50%	50%
Mineral Óxido Ripios Historicos	kton	9.600	9.600	9.600	28.800
Ley Cu total	%	0,20%	0,20%	0,20%	0,20%
Ley Cu soluble	%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%
Recuperación Cu	%	50,1%	50,1%	50,1%	50%
Consumo específico de ácido	kg/ton	6,1	6,1	6,1	6

Tabla N°8.4: Plan minero de material ripios

Para el siguiente plan de considero las tarifas asociadas al transporte actual de la DSAL y los costos de operación de planta del año 2014.

Se considera la preparación de áreas como costo de operación ya que el proceso esta instaurado en el contrato que hoy posee la planta en su parte operativa.

A continuación se muestra el análisis económico del material de ripios para los próximos tres años:

VAN (MUS\$)					
Visión de Mercado	52				
	Esperado				
Óxidos Distrito Salvador		2016	2017	2018	Total
Flujo de Caja	kUS\$	21.578	21.839	21.913	65.330
Ingresos	kUS\$	43.110	43.110	43.110	129.329
Ventas de Cobre	kUS\$	43.110	43.110	43.110	129.329
Ripios	kUS\$	43.110	43.110	43.110	129.329
Cobre Pagable Total	tmf	9.575	9.575	9.575	28.725
Ripios	tmf	9.575	9.575	9.575	28.725
Precio venta	c/lb	200	200	200	204
Premio cátodos	US\$/tmf	98	98	98	
Gastos Operacionales	kUS\$	21.532	21.271	21.196	63.999
	US\$/ton	2,2	2,2	2,2	2,2
	c/lb	102,0	100,8	100,4	101,1
Fijos		2.040	2.036	2.036	6.112
Minas					
Plantas		2.040	2.036	2.036	6.112
Variables Ripios		19.492	19.235	19.160	57.887
Mina		2.644	2.598	2.587	7.829
Lixiviación		6.498	6.447	6.438	19.383
SX-EW		6.352	6.168	6.130	18.650
Consumo Ácido Sulfúrico		2.755	2.753	2.693	8.201
Transporte Cátodos Rotterdam		1.078	1.105	1.147	3.330
Otros Costos de Venta		165	165	165	494

Tabla N°8.5 Análisis económico de material de ripios, DSAL

En el presente análisis se incluye los costos asociados a la operación mina-planta y comercialización del producto final.

Con un plan sustentable para los próximos tres años el análisis nos entrega un indicador Van de 52 [MUS\$] y costos de operación del proceso de 101,1 [c/lb], lo cual indica un negocio con rentabilidad y con reservas probadas para ser sustentable por los próximos tres años.

8.4 EVALUACION ECONOMICA PLAN MINERO INTEGRADO

Para la evaluación del plan minero integrado, se utilizaron los dos posibles materiales probados que la división posee reservas para su operación, esto se basa principalmente en integrar ambos materiales y entregar el plan de producción consolidado en el corto plazo.

A continuación se muestra el análisis económico del plan minero integrado:

VAN (MUS\$)					
Visión de Mercado		60			
Esperado					
Óxidos Distrito Salvador		2016	2017	2018	Total
Flujo de Caja	kUS\$	21.618	31.521	21.913	75.052
Ingresos	kUS\$	55.180	55.847	43.110	154.137
Ventas de Cobre	kUS\$	55.180	55.847	43.110	154.137
OAL		12.071	12.737		24.808
Ripios	kUS\$	43.110	43.110	43.110	129.329
Cobre Pagable Total	tmf	12.256	12.404	9.575	34.235
OBL	tmf	2.681	2.829		5.510
Ripios	tmf	9.575	9.575	9.575	28.725
Precio venta	c/lb	200	200	200	204
Premio cátodos	US\$/tmf	98	98	98	
Gastos Operacionales	kUS\$	33.563	24.326	21.196	79.085
	US\$/ton	2,0	2,2	2,2	2,1
	c/lb	88,7	100,1	100,4	95,0
Fijos		2.040	2.036	2.036	6.112
Minas					
Plantas		2.040	2.036	2.036	6.112
Variables OBL		12.761	3.262		16.023
Mina		5.816	1.015		6.831
Lixiviación		2.480	704		3.184
SX-EW		2.612	904		3.516
Consumo Ácido Sulfúrico		1.505	264		1.769
Transporte Cátodos Rotterdam		302	326		628
Otros Costos de Venta		46	49		95
Variables Ripios		18.762	19.027	19.160	56.949
Mina		2.644	2.598	2.587	7.829
Lixiviación		6.498	6.447	6.438	19.383
SX-EW		5.622	5.960	6.130	17.712
Consumo Ácido Sulfúrico		2.755	2.753	2.693	8.201
Transporte Cátodos Rotterdam		1.078	1.105	1.147	3.330
Otros Costos de Venta		165	165	165	494

Tabla N°8.6: Evaluación económica de plan minero integrado, DSAL

Los resultados entregan un plan minero sustentable y rentable para los próximos tres años de operación, con un VAN de 60 [MUS\$] y costos de operación que están en promedio en 95,0 [c/lb], Números que indican factibilidad a la hora de analizar su posible continuidad en el tiempo como plan productivo.

En las producciones estimadas para los próximos tres años, estas bordean los 12.000 [Ton] en los dos primeros años para decaer a producciones de 9.575 [Ton] el año 2018, con estas producciones entrega viabilidad a la planta hidrometalurgia pero aun no alcanzando la capacidad nominal de la planta que son 26.700 [Ton/año].

Por lo que queda oportunidades de negocio para producción en la línea de óxidos de división salvador.

9 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

Las conclusiones del trabajo se dividen en dos grandes temas, los cuales son los parámetros técnicos de operación obtenidos y la evaluación económica entregada, con estos dos puntos de inflexión de un proyecto minero se enfocan sus conclusiones que se muestran a continuación.

Para comenzar con el análisis se ilustra un resumen de los parámetros obtenidos por las diferentes materiales en pruebas industriales y se analiza una breve comparación con la operación normal de la planta en su régimen de óxidos de alta ley:

Resumen Materiales potenciales lixiviación				
Plataforma	Mineral Alta ley	OBL TQ	Circulante	Ripios
Tonelaje (t):	450.000	462.854	19576	201.254
Ley CuT (%):	0,7	0,30	10,54	0,20
RSF	0,83	0,44	0,25	0,50
Fino Ingresado (t):	3.150	1.373	2.063	403
Area Corona (m2):	21.941	22.019	4.758	9.857
TR (l/hm2):	10,5	6,76	11,1	13,31
Rlix (m3/t):	7,65	2,26	26,63	1,10
Rec CuT:	79%	51%	56%	50%
Consumo H+ [Kg/Ton]	42,20	8,30	185,56	6,09
Cátodos prueba industrial (t):	25	698	1.160	188
Eval Economica Plan Minero [US\$]	-	600.000	-700.000	52.000.000
Reservas plan minero [Ton]	-	4.455.000	0	28.800.000

Tabla N°9.1: Resumen datos de operación

En base a estos datos operacionales obtenidos y los análisis económicos se concluye lo siguiente:

- ❖ En términos de operación metalúrgica el único material que presentó dificultades fue el material circulante debido a su alto contenido de fierro y sulfuro en su mineralogía.
- ❖ Económicamente no es viable lixiviar el material circulante debido al alto consumo de ácido y transportes asociados desde Potrerillos.
- ❖ Los materiales OBL presentaron parámetros metalúrgicos favorables en relación a la operación de óxido alta ley.
- ❖ Se genera un plan minero viable para los óxidos de baja ley ROM con reservas de 4.455 [Kton] para el 2016-2017.
- ❖ El comportamiento físico de la lixiviación de material OBL ROM no presentó inconvenientes a una altura de 20 [Mts], lo que permite en el plan disminuir el gasto de preparación de áreas para recepción del mismo.

- ❖ La pila de ripios en términos de estabilidad presento problemas a una altura de 10[mts] debido a la condición de humedad que conlleva un ciclo de lixiviación primario, se recomienda el trabajo de pila como ripios a una altura máxima de 4 [Mts].
- ❖ Los parámetros metalúrgicos del material ripios, son menores a los valores de operación de óxidos de alta ley, tanto en consumo de ácido como recuperación de cobre total.
- ❖ Existe un plan minero de tres años con reservas probadas para un procesamiento rentable en planta hidrometalurgia.
- ❖ De acuerdo a los potenciales de los materiales estudiados solo el material circulante no se recomienda procesar por vía lixiviación, debido a que existen otras oportunidades de negocio más rentables como la venta del mismo para el proceso de maquila.
- ❖ Con las reservas probadas de los materiales estudiados es posible entregar un plan minero hasta el año 2018 con producción promedio de 11.404 [Ton/Año], aun con esto no se llegaría a utilizar la capacidad nominal de producción de planta (26.700 Ton/Año).
- ❖ Se proyectan costos con plan minero integrado de 95 [Cus\$/lb], un costo competitivo para la continuidad de la planta hidrometalurgia en comparación con la industria.

10 BIBLIOGRAFÍA

- CARDENAS F., DIAZ M., GUAGARDO C., OLIVA M., Lixiviación de materiales mediante pilas y bateas. Santiago, Universidad de Chile, Departamento de ingeniería en minas. 8 p.
- Avendaño C. 2013. Técnicas mejoradas de lixiviación minerales de cobre en pilas. En: Congreso Internacional Hydroprocess. Sociedad Terral S.A. 49 p.
- A.Mazuelos., N.Iglesias., R.Romero., O.Forcat., F.Carranza, Recuperación de cobre en escorias mediante Biolixiviación indirecta, Departamento ingeniería química de universidad de Sevilla. 191-206 P.
- Comisión Chilena del cobre, Biolixiviación: Desarrollo actual y sus expectativas, Dirección de estudios y políticas públicas. 1-31 P.

11 ANEXOS

11.1 Costos Planta Hidrometalurgia División Salvador

La división salvador con su línea de procesamiento de mineral de óxidos, como se explicó en el inicio de este trabajo, sufrió complicaciones con los costos de operación que se encontraba sobre la media de plantas de óxidos en Chile y por consecuencia sobre el presupuesto planificado por la división, por lo cual se llevaron a tomar las decisiones de negocios comentadas en el presente informe, a continuación se ilustra un resumen de los costos de operación de la planta hidrometalurgia de los años 2013-2014, hay que considerar que este análisis no considera el costo de operación minera:

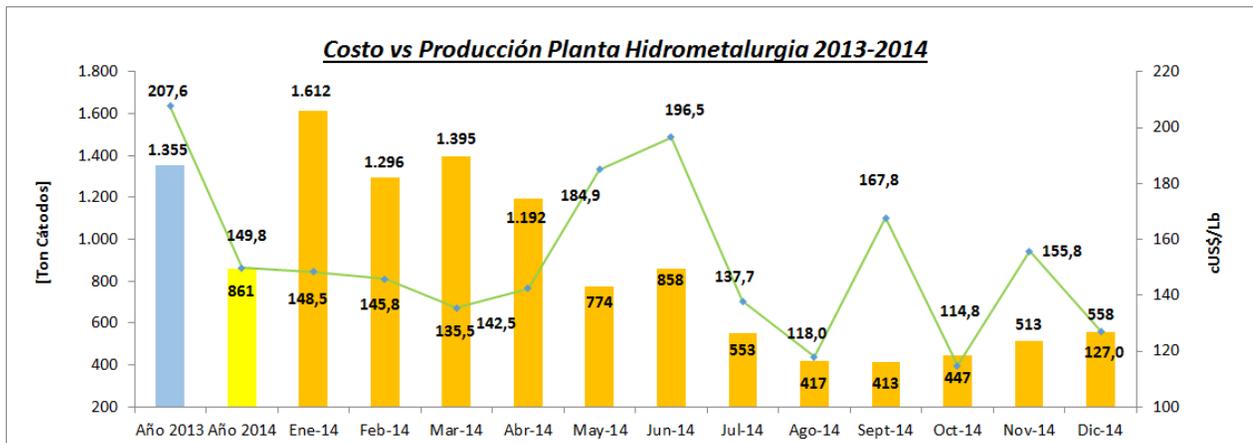


Figura 11.1: Resumen de costos de operación planta hidrometalurgia 2013-2014