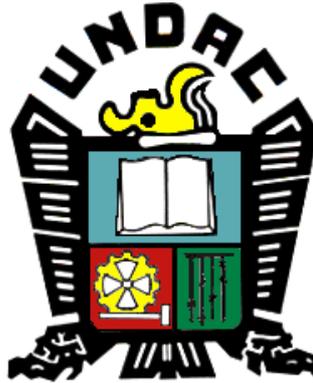


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE
INGENIERÍA METALÚRGICA**



**“OBTENCION DEL CEMENTO DE COBRE
MEDIANTE LA DESCOMPOSICION DE CHATARRA
DE HIERO PARA LA RECUPERACION DE COBRE
EN VOLCAN COMPAÑÍA MINERA, UNIDAD
PARAGSHA -PASCO - 2018”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO METALURGISTA

PRESENTADO POR:

Bach. **ESPIRITU MONAGO, Manuel Edgar**

CERRO DE PASCO – PERU

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE
INGENIERÍA METALÚRGICA**



TESIS

**“OBTENCION DEL CEMENTO DE COBRE MEDIANTE LA
DESCOMPOSICION DE CHATARRA DE HIERO PARA LA
RECUPERACION DE COBRE EN VOLCAN COMPAÑÍA
MINERA, UNIDAD PARAGSHA -PASCO - 2018”**

Bach. ESPIRITU MONAGO, Manuel Edgar

SUSTENTADO Y APROBADO ANTE LA COMISIÓN DE JURADOS:

**Dr. Eduardo Jesús Mayorca Baldoceca
Presidente**

**Mg. Marco Antonio Surichaqui Hidalgo
Miembro**

**Ing. Jonás Ananías Ramos Martínez
Miembro**

**José Elí Castillo Montalván
Asesor**

RESUMEN

Pruebas experimentales a nivel de laboratorio realizadas por el área de investigaciones metalúrgicas, y cementación artesanal de agua de cobre al interior de la mina, permiten afirmar que existe la posibilidad de generar una oportunidad de negocio recuperando económicamente cobre por cementación con chatarra de hierro, a partir de las aguas ácidas de mina y del stock pile Pampa Seca.

En una primera fase, utilizando las instalaciones de bombeo de agua ácida de mina se enviará a la ex - planta de cátodos independientemente solución ácida rica en cobre que drena permanentemente del stock pile Pampa Seca y que actualmente es mezclada con el agua ácida que se envía al depósito Yanamate.

El proceso consiste en cementar en forma continua la solución ácida con contenidos de cobre en un tambor reactor utilizando chatarra de cobre para precipitar el producto denominado “cemento de cobre” con valor comercial.

El producto del tambor reactor se pasará a pozas de sedimentación para separar por decantación el lodo de cemento de cobre y retirar la solución pobre hacia el circuito de bombeo de aguas ácidas.

Para la implementación del circuito de cementación de cobre se deberá adaptar un tambor actualmente en desuso depositado en Paragsha y montarlo en un ambiente techado de la ex – planta de cátodos. Para la sedimentación se utilizarán las tinas existentes y anteriormente utilizadas en el proceso de extracción por solventes.

Como antecedente del proyecto, anteriormente funcionó en el área denominada “Planta de Cátodos” una planta de recuperación de cobre por extracción por solventes (SX), donde a partir de agua ácida de mina con contenidos de cobre se extraía el cobre en sucesivas etapas de enriquecimiento para finalmente electrodepositar cobre metálico en forma de cátodos de alta pureza.

Actualmente la referida planta de cátodos se encuentra desactivada y parte de sus instalaciones fueron retiradas para otros usos o chatarreada, una sección es utilizada para recepción y bombeo de agua ácida de mina hacia el depósito Yanamate.

DEDICATORIA

**A MIS PADRES QUE GRACIAS A SU SABIDURÍA
INFLUYERON EN MI MADUREZ PARA LOGRAR TODOS
LOS OBJETIVOS EN LA VIDA.**

**ESTA TESIS ES PARA MIS PADRES EN
AGRADECIMIENTO POR TODO SU AMOR Y
CONFIANZA.**

AGRADECIMIENTO

Mediante la presente expreso mis sinceros agradecimientos a:

- A Dios por darme salud y bienestar.
- A mis padres por darme lo mejor de mi vida que es la educación y profesión.
- A los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Metalúrgica por la orientación y apoyo recibido durante el desarrollo académico de mi persona. En especial al asesor Mg. José Elí Castillo Montalván de la presente investigación quien me brindo toda su confianza y sugerencias para que esto se haga realidad.
- Al personal Staff y a los trabajadores de Volcan Compañía Minera S.A. Unidad Cerro d Pasco, por darme la oportunidad de realizar la presente investigación.

ÍNDICE

RESUMEN	ii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE	vi
INTRODUCCIÓN	x

CAPÍTULO I**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2.1. Problema general	4
1.2.2. Problemas específicos	4
1.3. OBJETIVOS	
1.3.1. Objetivo general	5
1.3.2. Objetivos específicos	5
1.4. IMPORTANCIA Y LIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	
1.4.1. Importancia	5
1.4.2. Alcances	6
1.5. LIMITACIONES	6
1.6. JUSTIFICACIÓN	7

CAPÍTULO II**MARCO TEÓRICO**

2.1. ANTECEDENTES	9
2.2. BASES TEÓRICAS	12
2.2.1. Marco contextual	13
2.2.2. Química de la lixiviación	14
2.2.3. Lixiviación y Cementación de cobre	16
2.2.4. Preparación del mineral	16
2.2.5. Almacenamiento y alimentación del mineral	17
2.2.6. Lixiviación del cobre	19
2.2.7. Carguío de los tanques	19
2.2.8. Precipitación y cementación de cobre	22
2.2.9. Suministro de ácido	24
2.2.10. Producción de ácido sulfúrico	25
2.2.11. Materiales de construcción	28
2.2.12. Manejo de materiales	29
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	30
2.5. HIPÓTESIS	
2.5.1. Hipótesis General	31
2.5.2. Hipótesis específicos	32
2.6. VARIABLES	
2.6.1. Variable Dependiente	32
2.6.2. Variable Independiente	32
2.6.3. Variables Intervinientes	32

CAPÍTULO III**METODOLOGÍA Y RECOLECCIÓN DE DATOS.**

3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	34
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	34
3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN	35
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA	35
3.4.1. Población	35
3.4.2. Muestra	37
3.5. RECOLECCIÓN DE DATOS	37
3.5.1. Condiciones ambientales	37
3.5.2. Zona	38
3.5.3. Temperatura	39
3.5.4. Humedad	39
3.5.5. Precipitaciones	39
3.5.6. Nieve	39
3.5.7. Condiciones sísmicas	40
3.5.8. Viento	40
3.5.9. Presión barométrica	40
3.6. MEMORIA DESCRIPTIVA	41
3.6.1. Alcances	41
3.6.2. Ubicación geográfica del proyecto	42
3.6.3. Accesibilidad	42
3.7. DESARROLLO DEL DISEÑO Y PROCESOS	43
3.7.1. Sistema de captación y almacenamiento	43

3.7.2. Sistema de distribución	43
3.7.3. Sistema de recolección	44
3.7.4. Sistema de rebose	44
3.8. DISEÑO DE INSTALACIONES	44
3.8.1. Ingeniería civil	44
3.9. INGENIERÍA ESTRUCTURAL	45
3.10. INGENIERÍA MECÁNICA	46
3.11. CÁLCULOS	48
3.11.1. Altura del relleno – áreas tanques	48
3.11.2. Volumen de relleno del área de tanques	50
3.12. Área de recubrimiento de geomembrana-área tanques	52
3.13. Área de recubrimiento de geomembrana-poza de cobre	53
3.14. Volumen de la poza de cobre	54

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. PLANTA PILOTO DE SULFATO DE COBRE	56
4.1.1. Lixiviación mina	57
4.1.2. Por el lado del pique Excélsior	57
4.1.3. Nivel 200 Excélsior	58
4.1.4. Nivel 300 Excélsior	59
4.1.5. Nivel 400 Tajo	63
4.2. VENTILACIÓN	65
4.3. PLANTA CÁTODOS DE COBRE	65

4.4. PRUEBAS DE CEMENTACIÓN DE COBRE DE AGUA DE MINA Y PAMPA SECA	66
4.5. PARTE EXPERIMENTAL	68
4.5.1. Cementación de cobre	68
4.5.2. Producción de cemento de cobre	69
4.5.3. Equipos	69
4.5.4. Materiales	70
4.5.5. Condiciones experimentales	70
4.5.6. Procedimiento	70
4.6. RESULTADO	71
4.7. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	72
4.7.1. Criterio del diseño del proceso	73
4.8. IMPACTOS DEL PROYECTO	75
4.9. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO	75
4.9.1. Costo de inversión	75
4.9.2. Costo de operación	76
4.10. PRUEBA DE HIPÓTESIS	78

CONCLUSIONES**RECOMENDACIONES****BIBLIOGRAFÍA**

INTRODUCCIÓN

En la unidad Cerro de Pasco existen dos fuentes principales de generación de lixiviados de cobre:

- La principal fuente por su caudal es la zona con piritas de cobre al interior mina, conocidos como nivel 200 Excelsior, nivel 300 Excelsior, nivel 300 Tajo y nivel 400 Tajo.
- En la etapa de plena operación de la planta de cátodos antes del año 2000, se llegó a producir 1,900 gpm (10,300 m³/día) de lixiviado ácido con un contenido de cobre disuelto de 400 mg/L.

Actualmente la producción de lixiviado de cobre, como resultado de las modificaciones de flujos realizados al interior mina al paralizar las operaciones, es mínimo con valores de unos 60 gpm y que es usado como alimentación de un circuito artesanal de cementación con chatarra en una de las galerías al interior de la mina. Con trabajos de rehabilitación de regado de la zona de lixiviación se podrá incrementar la producción de lixiviado rico en cobre.

La segunda fuente de importancia es el drenaje ácido del stock pile Pampa Seca con un caudal promedio de 120 gpm (654 m³/día), con un contenido de cobre disuelto de 650 mg/L. Actualmente este flujo es mezclado con el agua ácida de mina y enviado al depósito de aguas ácidas de Yanamate.

Al interior de la mina existe un circuito de captación y conducción de los lixiviados ácidos de cobre parcialmente desactivado, puesto que es mezclado con los otros flujos de aguas ácidas que son colectadas en el nivel 1200 para su bombeo a superficie.

La rehabilitación del circuito independiente de regado y colección de lixiviado ácido de cobre permitirá bombear independientemente hacia la superficie el agua ácida con contenidos recuperables de cobre para su tratamiento en las instalaciones de lo que fuera la planta de cátodos.

En la parte baja de El Golf, entre Champamarca y la base militar de Quilacocha se encuentra lo que anteriormente fue la planta de cátodos donde se recuperaba cobre por extracción por solventes (SX), a partir de agua ácida de mina con contenidos de cobre, extrayendo el cobre en sucesivas etapas de enriquecimiento para finalmente electrodepositar cobre metálico en forma de cátodos de alta pureza.

Actualmente la referida planta de cátodos se encuentra desactivada y parte de sus instalaciones fueron retiradas para otros usos o chatarreada, una sección es utilizada para recepción y bombeo de agua ácida de mina hacia el depósito Yanamate.

Las instalaciones que han quedado serán utilizadas para el montaje de una planta de recuperación de cobre por cementación.

Para expresar la intención de la investigación manifiesto lo siguiente:

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, donde se ha considerado la descripción del problema, formulación del problema, los objetivos de la tesis, las hipótesis, las variables y la justificación e importancia de la tesis.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO, donde se ha considerado los antecedentes de la investigación, el marco contextual, química de la lixiviación, lixiviación y cementación de cobre, lixiviación de cobre, carguío de los tanques, suministro de ácido, producción de ácido, definición de términos básicos, hipótesis, variables.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y RECOLECCIÓN DE DATOS, se da a conocer la metodología que se aplica para la realización de la investigación y poder demostrar la investigación que si es factible realizar, así mismo captar la información necesaria para realizar la cementación de cobre teniendo varios factores que estudiar.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS, en este capítulo se ha considerado la planta piloto de sulfato de cobre, planta de cátodos de

cobre, presencia del sulfato de cobre en algunos niveles, la parte experimental, evaluación económica.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES, se han desarrollado principalmente las conclusiones del estudio de investigación y dar sugerencias para continuar con la investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

La lixiviación produce el desplazamiento de sustancias solubles o dispersables (arcilla, sales, hierro, humus, etc.); y es por eso característico de climas húmedos (Pluvisilva, etc.). Esto provoca que los horizontes superiores del suelo pierdan sus compuestos nutritivos, arrastrados por el agua; se vuelvan más ácidos, ya que queda compuestos insolubles (Aluminio); y a veces, también se origine toxicidad. También se pierden grandes cantidades de fertilizantes, al igual que los compuestos nutritivos. En climas muy húmedos, la vegetación natural (sobre todo la forestal) sirve de protección contra lixiviación. Cuando el hombre la destruye, este proceso se acelera

considerablemente y la retención de nutrientes en la zona radical se interrumpe (ya no hay raíces). Otras formas de contribuir a la lixiviación son mediante el empleo de fertilizantes con elevada acidez, el riego excesivo y cultivos que retienen muchos nutrientes del suelo. Este proceso se ve asociado también a los fenómenos de Meteorización

Otro efecto de este proceso natural se produce cuando determinadas concentraciones de sustancias y componentes tóxicos que se encuentran en el suelo, al entrar en contacto prolongado con el agua, se difunden al medio y lo agreden.

La lixiviación es un proceso en el cual se extrae uno o varios solutos de un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido. Ambas fases entran en contacto íntimo y el soluto o los solutos pueden difundirse desde el sólido a la fase líquida, lo que produce una separación de los componentes originales del sólido.

Algunos ejemplos son:

- El azúcar se separa por lixiviación de la remolacha con agua caliente.
- Los aceites vegetales se recuperan a partir de semillas, como los de soya y de algodón mediante la lixiviación con disolventes orgánicos.
- La extracción de colorantes se realiza a partir de materias sólidas por lixiviación con alcohol o soda.

Dentro de esta tiene una gran importancia en el ámbito de la metalurgia ya que se utiliza mayormente en la extracción de algunos minerales como oro y plata. También se utiliza en Tecnología Farmacéutica.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La minería polimetálica está frente a la limitada disponibilidad de agua fresca en zonas áridas donde la mayor parte de la pequeña, mediana, la gran de la minería y ante la potencial posibilidad de extraer el recurso hídrico a partir del desaguado de los relaves.

En otras partes del mundo, especialmente Europa, África y Australia, a medida que el agua limpia y potable se vuelven más escasos, todo aquel proceso que reduzca su consumo o que permita su re-uso en la minería, gana más importancia. Se estima que el proceso metalúrgico requiere el uso entre 0,4 a 1,6 m³ por tonelada de mineral procesado, con una media del orden de 0,7 m³.

En el caso de minería aurífera el consumo medio está alrededor de 1 m³ por tonelada de mineral. La lixiviación es un proceso en el cual se extrae uno o varios solutos de un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido. Ambas fases entran en contacto íntimo y el soluto o los solutos pueden difundirse desde el sólido a la fase líquida, lo que produce una separación de los componentes originales del sólido.

Algunos ejemplos son:

- El cobre se separa por lixiviación natural de la calcopirita con agua de lluvia de manera que el agua es de color azulada clara.
- El azúcar se separa por lixiviación de la remolacha con agua caliente.
- Los aceites vegetales se recuperan a partir de semillas, como los de soya y de algodón mediante la lixiviación con disolventes orgánicos.

Dentro de esta tiene una gran importancia en el ámbito de la metalurgia ya que se utiliza mayormente en la extracción de algunos minerales como oro y plata.

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cómo realizar la obtención de cemento de cobre mediante la descomposición de chatarra de hierro para la recuperación de cobre en Volcan Compañía Minera, Unidad Paragsha?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

1. ¿Cómo realizar la obtención del cemento de cobre para la recuperación del cobre en solución?
2. ¿Cuál será el reactivo lixivante para la obtención del cemento de cobre?
3. ¿Cuál será el costo para recuperar el cemento de cobre?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar la obtención de cemento de cobre mediante la descomposición de chatarra de hierro para la recuperar el cobre en Volcan Compañía Minera, Unidad Paragsha.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar la obtención del cemento de cobre para la recuperación del cobre en solución.
2. Identificar el reactivo lixivante para obtener el cemento de cobre.
3. Identificar el costo para recuperar el cemento de cobre.

1.4. IMPORTANCIA Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. IMPORTANCIA:

Hace ocho años era impensable la extracción y tratamiento de minerales con leyes menores al 3,0 %, ya que resultaba

económicamente inviable. Sin, embargo, hoy en día, la escasez del recurso minero y el aumento en la demanda, ha motivado al tratamiento de depósitos con contenidos no mayores a 0, 2%, y que son factibles económicamente sólo si son explotados a gran escala, lo cual, a su vez, requiere un mayor uso de agua y genera una mayor cantidad de relaves como desecho. En nuestro país, hay región árida y de poca disponibilidad de agua, en la mayor parte de las plantas de concentración de minerales polimetálicos el suministro de agua limita en muchos casos las operaciones y/o restringe la ampliación de éstas.

En el presente estudio, se pretende obtener información para determinar la recuperación del cobre mediante la lixiviación del cobre con la descomposición de la chatarra de hierro.

1.4.2. ALCANCES

La investigación a realizarse tendrá como alcance la recuperación del cobre con la descomposición de la chatarra de una solución de cobre.

1.5. LIMITACIONES

La limitante en la lixiviación del cobre, la descomposición de la chatarra, y la lixiviación del cobre es la parte tecnológica y teniendo en

cuenta que la bibliografía es escasa en el mundo de la minería, así como también se llevará a cabo en un lapso de 6 meses de estudio.

1.6. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación está enmarcada para el uso de las aguas ácidas producidas en el interior de mina para la recuperación del cobre mediante el uso de la descomposición de la chatarra, existe actualmente un compromiso ambiental y social en la reducción del impacto de toda operación minera. Hoy en día, las tecnologías del tratamiento de las aguas ácidas que contiene plomo, zinc, cobre y otros elementos en solución, estos pueden ser recuperados mediante el uso de la descomposición de la chatarra de hierro en lo que se refiere al cobre.

Las ventajas ambientales y sociales más importantes de los relaves son:

- Disminución del área de impacto requerida para la disminución de la contaminación de suelos y aguas subterráneas.
- Reducción y/o eliminación de la generación de agua ácida y transporte de contaminantes.
- Disminución de la exposición de vida salvaje a agua potencialmente contaminada.

El atractivo de reducir los costos de la gestión de de aguas ácidas en el corto plazo debe ser sopesado cuidadosamente contra la posibilidad de incrementar los costos sociales y ambientales en la clausura y más allá. Esto requiere un modelo robusto y flexible de riesgos, asociado a un análisis de beneficio-costos para tomar la decisión correcta durante la vida de todo el proyecto. La salud pública, así como los riesgos de seguridad e impactos sociales y ambientales deben ser considerados, incluyendo aquellas situaciones en las que se podrían liberar contaminantes en el largo plazo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En la presente investigación se desarrollará la obtención de aguas ácidas su tratamiento para recuperar el cobre con el uso de chatarra de hierro en forma de descomposición.

2.1. ANTECEDENTES

En los yacimientos de cobre de minerales oxidados, el proceso de obtención de cobre se realiza en tres etapas que trabajan como una cadena productiva, totalmente sincronizadas:

- Lixiviación en pilas.
- Extracción por solvente.
- Electro obtención.

La lixiviación en pilas debe ser regada con una solución de ácido sulfúrico, la que circula por cañerías distribuidas homogéneamente.

La lixiviación es un proceso hidrometalúrgico que permite obtener el cobre de los minerales oxidados que lo contienen, aplicando una disolución de ácido sulfúrico y agua. Este proceso se basa en que los minerales oxidados son sensibles al ataque de soluciones ácidas.

Como proceso se tiene:

- a) Chancado: el material extraído de la mina (generalmente a rajo abierto), que contiene minerales oxidados de cobre, es fragmentado mediante chancado primario y secundario (eventualmente terciario), con el objeto de obtener un material mineralizado de un tamaño máximo de 1,5 a $\frac{3}{4}$ pulgadas. Este tamaño es suficiente para dejar expuestos los minerales oxidados de cobre a la infiltración de la solución ácida.
- b) Formación de la pila: el material chancado es llevado mediante fajas transportadoras hacia el lugar donde se formará la pila. En este trayecto el material es sometido a una primera irrigación con una solución de agua y ácido sulfúrico, conocido como proceso de curado, de manera de iniciar ya en el camino el proceso de sulfatación del cobre contenido en los minerales oxidados. En su destino, el mineral es descargado mediante un equipo esparcidor gigantesco, que lo va depositando ordenadamente formando un terraplén continuo de 6 a 8 m de altura: la pila de lixiviación. Sobre

esta pila se instala un sistema de riego por goteo y aspersores que van cubriendo toda el área expuesta. Bajo las pilas de material a lixiviar se instala previamente una membrana impermeable sobre la cual se dispone un sistema de drenes (tuberías ranuradas) que permiten recoger las soluciones que se infiltran a través del material.

- c) 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. 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 problema de la lixiviación de cobre es el tratamiento de los minerales de cobre, tanto de óxidos y de sulfuros por medio de flotación, hidrometalurgia u otros procesos ha sido bien establecido por muchos años. La flotación ha sido aplicada en general para el tratamiento de minerales sulfurados, tanto en operaciones de pequeña y gran escala.

Los métodos hidrometalúrgicos solos o en combinación con flotación han sido principalmente aplicado a operaciones de gran tonelaje para recuperar cobre de bajo grado de cobre nativo, cobre oxidado, o mezcla de óxidos y de sulfuros que no son fácilmente concentrado por flotación solos o por otros medios, ya sea debido a la baja recuperación o altos costos de tratamiento. El tratamiento de pequeños tonelajes de estos minerales por la hidrometalurgia no ha sido ampliamente utilizado debido a los altos costos de capital de la planta de proceso.

2.2. BASES TEÓRICAS

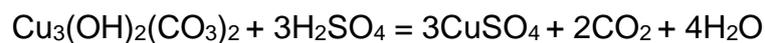
Para plantear el marco teórico debemos de manifestar lo que entendemos sobre las pruebas que se realizan a un determinado mineral y de esa manera poder plantearnos el sistema de evaluación

- * Primer cuartil de costos de producción.
- * Flexibilidad logística.
- * Relaciones constructivas con autoridades, comunidades y la fuerza laboral.
- * Producción diversificada, balanceada entre metales base y preciosos:
 - 5 Unidades operativas, 12 minas.
 - 7 Plantas concentradoras y una planta de lixiviación (óxidos de plata).

2.2.2. QUÍMICA DE LA LIXIVIACIÓN

La disolución de los minerales de cobre es básicamente una simple descomposición en el caso de minerales oxidados, y reacción de reducción-oxidación de los minerales de los sulfuros de cobre. Los productos resultantes son solubles en el agua. Las reacciones de los minerales de cobre comunes con el ácido sulfúrico y el sulfato férrico se describen brevemente a continuación.

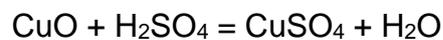
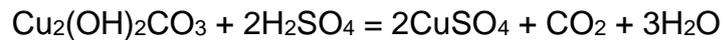
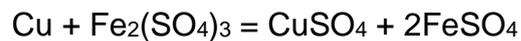
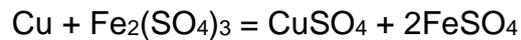
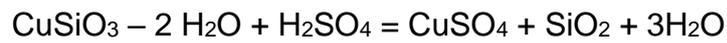
Azurita $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$



Brocantita $\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$



Calcosita Cu_2S y Covelita CuS



La disolución de los diversos óxidos, carbonatos, silicatos y sulfuros ocurren a diferentes velocidades y pueden afectar en gran medida a la recuperación. Cada mineral ofrece a sus propios problemas y la ganga puede sufrir reacciones asociadas para formar sales solubles para provocar un consumo excesivo de disolvente o para producir un efecto adverso sobre el cobre teniendo soluciones. Estas condiciones sólo pueden determinarse por la minuciosa y adecuada prueba de laboratorio y de planta piloto para establecer todos los factores esenciales para el desarrollo del proceso

2.2.3. LIXIVIACIÓN Y CEMENTACIÓN DE COBRE

El método de disolución con ácido sulfúrico y sulfato férrico, y la precipitación química con la chatarra de acero o hierro esponja parece ofrecer las mejores posibilidades de amplia aplicación. Su química básica no es compleja pero su aplicación económica depende de la manipulación de materiales y soluciones por tales procedimientos para asegurar que los costos operativos sean bajos.

En el caso del tratamiento de un mineral oxidado de cobre, el proceso de lixiviación se realiza con ácido sulfúrico y sulfato férrico. El proceso es adecuado para gran tonelaje si hubo un dimensionamiento correcto de los distintos equipos. El proceso contempla un período de seis a siete días de lixiviación y lavado con un tanque que se descarga y carga cada día. En las plantas de lixiviación la recuperación de cobre normalmente oscila entre 80 a 90% para óxidos de cobre, y cerca de 70% para sulfuros de cobre.

2.2.4. PREPARACIÓN DEL MINERAL

El proceso descrito se limita en general a la lixiviación por percolación como el método para dar el contacto correcto del

disolvente con el mineral de cobre. Uno de los factores importantes en la lixiviación es la reducción del tamaño necesario para la recuperación de cobre dentro de plazos razonables. Es evidente que cuanto mayor sea el tamaño de las partículas que pueden ser fácilmente lixiviados, menor es el costo de chancado, y cuanto más pequeña es la partícula, menor es el tiempo necesario para la extracción. Por lo tanto, un tamaño debe ser seleccionado para dar un mínimo de material fino, y el producto del chancado debe tener la mayor uniformidad posible que permita la lixiviación económica dentro de los límites de tiempo. En la mayoría de los casos, un tamaño menor a 3/8" ha sido satisfactorio. Si el mineral chancado contiene exceso de finos puede ser ventajoso agregar una fracción gruesa de mineral o material de desecho para evitar la necesidad de eliminar los finos.

2.2.5. ALMACENAMIENTO Y ALIMENTACIÓN DEL MINERAL

Se utilizan tolvas de acero ya que puede fijarse en la mayoría de las áreas y son instalados a un costo inferior al de otras formas.

El mineral a menos 3/8" se descarga por un mecanismo de velocidad variable, de modo que el mineral se dirige a un tambor de aglomeración cilíndrico con adición de agua antes de ser enviado a los tanques de lixiviación. Una faja transportadora está

instalada y puede cargar cualquiera de los tanques los cuales están dispuestas en forma radial para la facilitar la carga mediante el uso de una faja transportadora.

Los finos producidos por el chancado y la fracción fina contenida en el mineral interfieren con lixiviación y extracción debido a la canalización de solución a través de las partículas segregadas. La canalización puede reducirse mediante métodos para asegurar una mezcla uniforme de la carga en los tanques de lixiviación. Con frecuencia los finos en exceso deben ser retirados y tratado separadamente por agitación. No obstante, esto es una complicación añadida en una planta ya que se incrementan los costos operativos.

En aquellos casos en que los finos deben ser removidos, debido a la canalización o porosidad deficiente, la totalidad o una parte pueden separarse mediante cribado seco o húmedo, seguido por clasificación para extraer la fracción muy fina para su tratamiento mediante agitación.

En algunos casos la aglomeración de finos ha sido eficaz para eliminar la necesidad de un tratamiento separado de ellos. La aglomeración se logra mediante la adición de agua o solución ácida al mineral chancado para traer el contenido de humedad hasta aproximadamente el 10% y mezclarlos en un tambor, en

este caso las partículas redondeadas están formados por los finos que se adhieren a las partículas más gruesas para dar una masa uniforme con mayor permeabilidad.

2.2.6. LIXIVIACIÓN DE COBRE

La aplicación de la lixiviación hidrometalúrgica de óxidos, sulfuros y minerales mixtos depende principalmente de la obtención de disolvente ácido de bajo costo de modo que los costos estén dentro de los límites posibles. El Ácido sulfúrico diluido y el sulfato férrico son excelentes disolventes para minerales de óxido, así como de las formas de sulfuro como chalcocita y covelita pero no de Calcopirita. La percolación puede ser hacia arriba con soluciones ingresando en la parte inferior y rebosando en la parte de arriba, o también la percolación puede ser hacia abajo donde las soluciones se añaden en la parte superior y se descargan por la parte inferior.

2.2.7. CARGUÍO DE LOS TANQUES

En los tanques de carga debe distribuirse uniformemente para evitar la segregación tanto como sea posible para reducir la canalización de solución. Si el mineral ha sido aglomerado la descarga es menos problemática ya que la segregación es muy

reducida. El drenaje de los tanques es a menudo mejorado colocando primero una capa de mineral grueso varias pulgadas de espesor a lo largo de la parte inferior antes de la carga.

Además, cuando se utiliza la filtración descendente, una capa similar de mineral grueso se coloca en la parte superior para ayudar al flujo de soluciones uniformemente sobre toda la superficie del tanque y ayudar a evitar problemas en las tuberías de distribución.

Varios métodos de percolación pueden ser empleadas. Uno es donde las soluciones cubren completamente toda la carga durante un cierto período, seguida por el drenaje y sucesivos tratamientos con soluciones de baja concentración de ácido, cada uno siendo seguido por un periodo de drenaje.

Durante cada ciclo, la solución puede ser distribuida por bombeo para dar un flujo constante a través de la carga.

Otro método es la lixiviación abierta donde la solución se agrega por pulverización u otros medios de distribución a una tasa inferior a la tasa de percolación de modo que la carga no se inunda. Por una distribución correcta de la solución, esta cubre las partículas de mineral con una película de la solución, dejando espacios de aire entre lo que ayuda en la disolución de cualquier cobre nativo

o de cuprita. Las pruebas han indicado hasta un 50% de aumento en la recuperación de cobre a partir de cuprita debido al exceso de oxígeno disponible por este método.

La lixiviación en contracorriente tiene cargas individuales en cada tanque siendo tratadas sucesivamente con mayor concentración de la solución. La solución de mayor fuerza se aplica a la carga en su ciclo final de lixiviación antes de ser vaciada y avanzada para el próximo tanque. El proceso avanza con una continua disminución de la fuerza del ácido y el aumento en la concentración de cobre hasta que finalmente se retiró como solución rica desde su primer ciclo de lixiviación. Un lavado con ácido débil se agrega a menudo a esta carga desde que la solución rica se ha drenado para eliminar la mayor cantidad de la solución de cobre que aún permanece. Esta solución resultante del lavado se une a la solución rica y queda preparada para la precipitación.

Después del último ciclo de lixiviación de una carga, se efectúa uno o más ciclos de lavado con agua para eliminar cualquier resto de cobre en solución. En algunos casos, esto representa tanto como el 30% del total de cobre disuelto y lavado eficaz es de gran importancia. Parte de esa solución de lavado puede ser añadido a la solución rica.

2.2.8. PRECIPITACIÓN Y CEMENTACIÓN DE COBRE

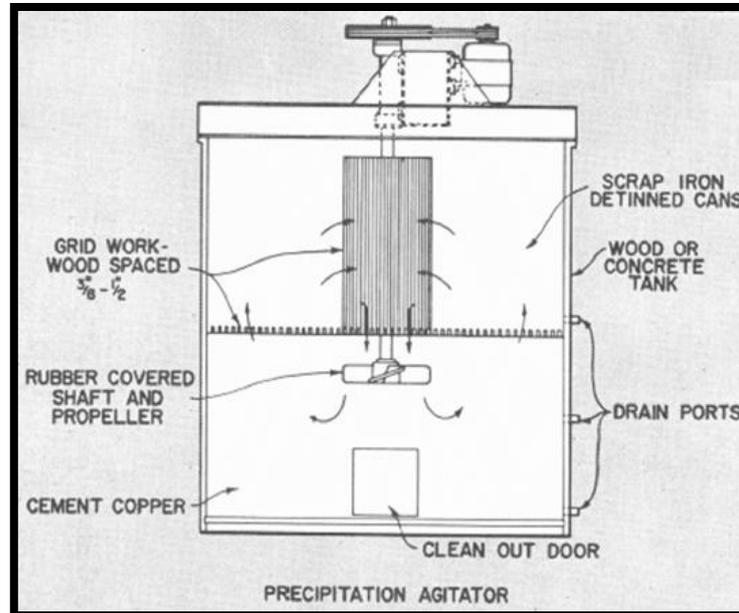
El método para la recuperación de cobre a partir de soluciones de lixiviación por precipitación con hierro ha sido conocido por muchos años, y se ha reportado en el uso por las minas de Rio Tinto en España desde 1752.

La chatarra de hierro, latas y hierro esponja han sido utilizadas en función de los costos y la disponibilidad. Los costos que implica el uso de chatarra y latas son generalmente más altas que con la utilización de hierro esponja.

La reacción básica para la precipitación es simple, sin embargo en la práctica otras reacciones pueden ocurrir y afectan al proceso la cantidad de hierro consumido y la calidad de cemento de cobre producido.

Las cantidades de ácido libre y hierro férrico en solución afecta a la cantidad de hierro utilizados y si la solución es casi neutral poca o ninguna voluntad de cobre precipitado.

Figura N° 2.2: diagrama del agitador de precipitación



Fuente: Rio Tinto en España

En la parte inferior existen puertas laterales para permitir que el cemento de cobre pueda ser retirado manualmente. El cemento de cobre normalmente es secado y embolsado para su venta.

Teóricamente, una libra de hierro precipitara 1137 kilos de cobre, mientras que en la práctica real de dos a tres veces esa cantidad es necesaria, especialmente si el hierro usado está muy oxidado.

El Hierro esponja es generalmente más eficaz y a menudo el consumo es igual al peso de cobre precipitado. Impurezas en el hierro esponja reducen la calidad del cemento de cobre producido. El cemento de cobre normalmente tiene entre un 50 y

un 90% de cobre. Recuperación de más del 97% del cobre en solución no es inusual. Las soluciones contienen cobre en el rango de 1,0 a 15,0 gpl. La solución rica se transfiere por lotes a uno de los dos agitadores de la precipitación en forma de chatarra de acero en tamaño pequeño ha sido añadido sobre una parrilla. Después de llenar un agitador con la solución rica se pone éste en funcionamiento para mantener la solución en movimiento a través de la chatarra de acero y promover la precipitación del cobre tan rápidamente como sea posible. Generalmente de 2 a 3 horas de agitación es suficiente para completar la reacción dependiendo de la fuerza del ácido y de otros factores.

La solución pobre se mantiene en el agitador hasta el cemento de cobre se asienta, luego se transfiere esta solución al tanque de solución pobre. El cemento de cobre puede ser retirado al final de cada ciclo o después de varios ciclos de funcionamiento.

2.2.9. SUMINISTRO DE ÁCIDO

La fuente de ácido sulfúrico para lixiviar generalmente es una consideración importante para las plantas pequeñas. Si la planta está situada en una zona donde el ácido puede adquirirse a bajo costo, los costos operativos pueden reducirse. Para la mayoría de las plantas, el ácido debe ser producido.

2.2.10. PRODUCCIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO

Desde la concentración de ácido por encima del 7% normalmente no es obligatorio, un proceso de “Auto Oxidación” puede considerarse para la producción de ácido. El método auto oxidación ha sido utilizada con éxito por algunos años en pequeñas plantas en Europa, América del Sur y en los Estados Unidos. En este proceso de sulfato ferroso, se utiliza como catalizador en una tasa de alrededor del 5% del ácido producido y se produce una solución de ácido sulfúrico-sulfato férrico, la cual se produce por la auto oxidación del sulfato ferroso y dióxido de azufre en la presencia de un exceso de aire.

El sulfato ferroso contenido en la solución pobre después de la precipitación del cobre, se diluye con agua hasta el nivel deseado y luego es alimentado a la celda de auto oxidación junto con dióxido de azufre y exceso de aire para producir la solución de ácido sulfúrico-sulfato ferroso.

El dióxido de azufre requerido es producido por la combustión de azufre elemental. El horno de azufre, con una capacidad para quemar alrededor de 2000 libras por día, consta de un cilindro de acero revestido de ladrillo refractario, y contiene un crisol para

tostar el azufre. El azufre es alimentado a través de la parte superior del horno y el producto de la fundición fluye hacia abajo hacia unas bandejas. La velocidad de combustión es controlada por la regulación de la tasa de admisión de aire con el gas producido que contiene de 6 a 8% de dióxido de azufre. Una cámara de combustión, enfriador y filtro se encuentran en el horno, y además hay un soplador para su envío a las celdas de auto oxidación junto con aire suministrado por otro soplador.

La reacción primero oxida el sulfato ferroso, sulfato férrico y, a continuación, produce ácido sulfúrico. Bajo un control adecuado el 90% del hierro ferroso se transforma antes que la reacción genere el ácido sulfúrico. La fuerza del ácido puede ser superior a la que normalmente se requiere para la lixiviación

El principal requisito para la reacción es mantener la solución en contacto con los gases de forma que tanto el SO_2 y el oxígeno se absorban. El SO_2 gas es más soluble en agua que es oxígeno y es necesario admitir el gas en la solución en forma de finas burbujas para obtener resultados eficaces.

Capacidad por metro cuadrado de área de las celdas utilizando de 6 a 8% de SO_2 de gas es de 35 a 38 kilos de ácido sulfúrico al 100% o su equivalente en sulfato férrico por 24 horas; no

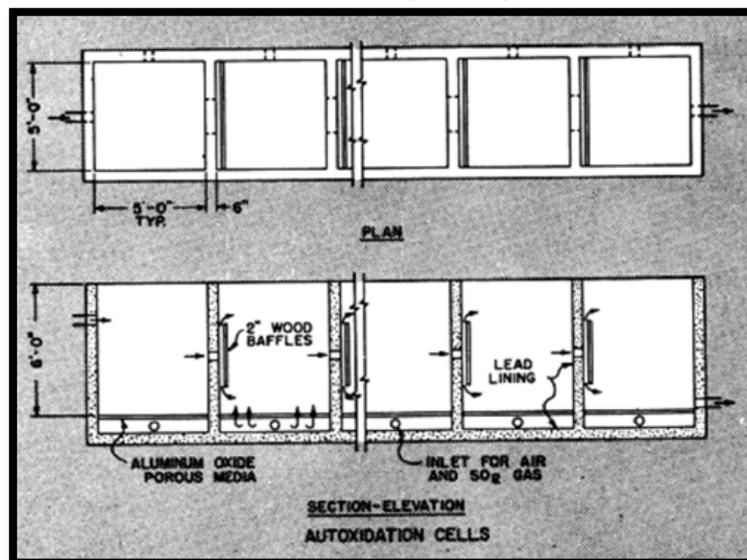
obstante, debido a la capacidad promedio de las variables, puede ser de alrededor de 50% de esta cantidad. La eficacia del SO_2 alimentado a celdas normalmente es del orden del 97%.

Para un mejor funcionamiento de la solución alimentada a las celdas, debe haber entre 0,5 a 0,7% de hierro total, sin embargo, si el sulfato férrico está por encima de ese valor, mayores cantidades de hierro puede ser retornadas a las celdas para la reacción.

Las celdas pueden ser de concreto con revestimiento de plomo, equipado con óxido de aluminio poroso para la difusión de SO_2 y aire en la solución.

Los tubos de óxido de aluminio poroso se utilizan también para el suministro de gas y aire en celdas similares. Las presiones para la admisión de los gases normalmente son entre 3 a 4 PSI.

Figura N° 2.3: Celdas de auto oxidación para la producción de ácido sulfúrico



Fuente: El Boletín N° 321 de la U. S. Bureau of Mines

Las celdas de auto oxidación mostradas tienen una superficie de 150 metros cuadrados y puede producir 6000 libras de ácido sulfúrico al 100% o su equivalente en sulfato férrico por día. El caudal se controla a través de las celdas para producir un ácido con una concentración de 3 a 7% de ácido sulfúrico.

Aproximadamente el cinco por ciento de la solución pobre se devuelve a las celdas para la regeneración y para proporcionar el sulfato ferroso es necesario como catalizador. Cantidades adicionales pueden ser devueltas para la regeneración de sulfato férrico, el cual es requerido para la disolución de sulfuro de cobre. El remanente de la solución pobre se descarta. El Boletín n° 321 de la U. S. Bureau of Mines proporciona datos para los cálculos en cuanto a rendimiento de celdas de auto oxidación.

2.2.11. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Los materiales de construcción son limitados debido a la naturaleza corrosiva de la solución que contiene ácido sulfúrico libre, metales ferrosos, sulfato férrico, sulfato de cobre, y otras posibles sales y ácidos. Estos en combinación son más corrosivo que cualquier uno individualmente. Los materiales están generalmente limitados a plomo, Duriron, Hastelloy B, C y D,

caucho, cemento bituminoso, asfalto, porcelana, productos de arcilla vitrificada, vidrio y PVC.

El concreto se prepara con aditivos para mejorar la densidad y es utilizado para los tanques que están revestidas interiormente con cemento bituminoso, asfalto o plástico laminado y fibra de vidrio.

2.2.12. MANEJO DE MATERIALES

El manejo de los materiales es un importante factor económico y los métodos utilizados pueden depender en gran medida de la naturaleza y las condiciones de la planta, tarifas de mano de obra y los costos de capital.

Los tanques de lixiviación pueden ser colocados radialmente para utilizar una faja transportadora, y de este modo puedan llenar los tanques. La distribución uniforme del material puede hacerse a mano o mecánicamente.

Los métodos utilizados para la descarga de los tanques varían desde palear todo el material a lo largo del tanque o colocarlo en fajas transportadoras para su descarga o mediante el uso de rascadores y equipo mecánico colocados cerca de las puertas laterales.

Si se dispone de agua suficiente, el material lixiviado puede descargarse por chorros de agua a través de la parte inferior de las puertas en canaletas para su eliminación. Esto requiere una adecuada área con gradiente adecuado para el flujo de material grueso a la zona de deposición final.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

Mineral.- Es aquella sustancia sólida, natural, homogénea, de origen inorgánico, de composición química definida.

Muestra.- Una pequeña porción de roca o de un depósito mineral que se toma para poder determinar por ensayo el contenido de metales.

Muestreo.- La selección de una parte fraccional pero representativa de un depósito mineral para el análisis.

Electrolisis.- Proceso químico por medio del cual una sustancia o un cuerpo inmersos en una disolución se descomponen por la acción de la una corriente eléctrica continua.

Precipitación.- Es la caída de agua desde la atmósfera hacia la superficie terrestre.

Precipitaciones líquidas.- Como la lluvia puede contener contaminantes que son absorbidas en la atmósfera y caen junto con la lluvia llamadas lluvias ácidas.

Lluvia ácida.- Es un tipo de precipitación que se caracteriza por contener sustancias contaminantes, como, por ejemplo, ácidos sulfúricos y ácidos de nitrógeno, que causan efectos nocivos sobre el medio ambiente.

Precipitación en química.- Es el proceso de transformar una disolución en sólido a través de cambios químicos.

Cemento de cobre.- La cementación es la precipitación de un metal desde una solución acuosa, que se produce por efecto de la presencia de otro metal. En este proceso el metal precipitado usualmente se deposita o "cementa" sobre el metal añadido.

Óxido cuproso.- (Cu_2O) es un tipo de **óxido** de cobre 3. Es insoluble en agua y disolventes orgánicos. Cuando se expone al oxígeno, el cobre se oxida de forma natural a **óxido** de cobre (I), aunque de una forma muy lenta.

2.4. HIPOTESIS:

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

Si realizamos la obtención de cemento de cobre mediante la descomposición de chatarra de hierro entonces podemos recuperar el cobre en Volcan Compañía Minera, Unidad Paragsha.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS:

1. Si Realizamos la obtención del cemento de cobre entonces podemos recuperar el cobre en solución.
2. Si identificamos el reactivo lixiviante entonces podemos obtener el cemento de cobre.
3. Si identificamos el costo entonces podemos recuperar el cemento de cobre.

2.5. VARIABLES:

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Recuperación de cobre.

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Obtención de cemento de cobre mediante la descomposición de chatarra de hierro.

2.5.3. VARIABLES INTERVINIENTES

Variable independiente

Lixiviación de cobre

Chatarra de cobre

Cemento de cobre

Variable dependiente

Recuperación de cobre

Costo del cemento de cobre

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y RECOLECCIÓN DE DATOS

3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El método será **aplicado** utilizando la metodología analítica y deductiva, en la obtención del cemento de cobre con la descomposición de la chatarra de hierro

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El Diseño empleado en la presenta investigación es el de carácter **experimental**; metodología que permite establecer la relación existente entre la aplicación de la variable independiente en el proceso y el resultado obtenido, considerado como variable dependiente,

teniendo en cuenta para ello el problema principal planteado, y que será desarrollado dentro del contexto de la investigación como descriptivo. Para cumplir con la Metodología y diseño de la investigación, se llevará a cabo mediante el análisis cuantitativo y cualitativo de la variable independiente y de aquellas que intervinieron circunstancialmente y que han afectado o favorecido en los resultados de la variable dependiente.

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Teniendo en cuenta los Objetivos de la Investigación y la naturaleza del Problema planteado, para el desarrollo del presente estudio se empleó el Tipo de Investigación **cuasi experimental**, porque permite responder a los problemas planteados, para la obtención del cemento de cobre mediante la descomposición de la chatarra de hierro para recuperar el cobre, describiendo y explicando las causas - efectos, traducidos en resultados obtenidos de las pruebas experimentales.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. POBLACIÓN

La población está integrada por la siguiente:

Tabla N° 3.1: Resultados operativos cerro (marginales)

Resultados operativos Cerro de Pasco	1T17	2T17	E-J 2017
Tratamiento de mineral (Miles TM)	228	241	469
Producción de finos			
Zinc (miles TMF)	1,8	2,0	3,8
Plomo (miles TMF)	0,7	0,7	1,4
Plata (millones onzas)	0,1	0,1	0,2
Costo unitario (USD/TM)	13,3	14,2	13,7
Costo absoluto (MM USD)	3,0	3,4	6,4
Inversiones Totales (MM USD)	0,6	1,4	2,0

Fuente: Departamento de Geología

Figura N° 3.1: Vista panorámica de la población minera

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.2: Resultados operativos Planta de Óxidos

Resul. Oper. Planta Oxidos	1T17	2T17	2T16	Var%	E-J 17	E-J 16	Var %
Trat. de mineral (Miles TM)	178	231	223	3,4	409	449	-8,8
Prod. de finos							
Plata (millones Oz)	0,8	1,0	1,1	-2,7	1,8	2,1	-12,9
Oro (Oz)	608	615	874	-29,6	1224	1807	-32,3
Costo unitario (USD/TM)	37,8	38,1	37,6	1,3	38,0	38,5	-1,3
Costo absoluto (MM USD)	6,7	8,8	8,4	4,7	15,6	17,3	-10,0
Inversiones Totales (MM USD)	1,0	0,8	0,6	27,6	1,7	2,5	-31,8

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. MUESTRA

Descripción de la Planta de Óxidos de Cerro de Pasco

Reservas probadas y probables:

3,3 MM TM en stockpiles de óxido (9,3 oz Ag/TM)

5,8 MM TM de óxidos in situ (5,4 oz Ag/TM)

4,7 MM TM stockpiles de piritas (6,9 oz Ag/TM)

Figura N° 3.2: Vista panorámica de la Planta de Óxidos



Fuente: Elaboración propia

3.5. RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. CONDICIONES AMBIENTALES

La zona donde se llevará a cabo el proyecto, se encuentra a una altitud promedio entre los 4,330 msnm. El clima en toda el área

está marcado por el dominio de dos estaciones principales. Una estación frígida y seca entre mayo y octubre, con vientos entre junio y agosto. En las noches y madrugadas predominan las heladas con temperaturas por debajo de los 0 °C, esta estación coincide con las mínimas precipitaciones pluviales.

Entre noviembre y abril se presenta una estación templada a fría, con temperaturas durante el día que pueden sobrepasar los 12°C, pero en las noches y madrugadas, con cielo despejado, las temperaturas descienden a 0°C, en esta estación hay muchos días lluviosos, que se acentúan entre los meses de enero a marzo.

3.5.2. ZONA

El ámbito del estudio, abarca un espacio geográfico montañoso dominante, de relieve irregular, con pendientes y alturas variables; en las que se incluye áreas de topografía suave (con pendientes de 2% a 15%), conformados por superficies angostas, planas a ligeramente onduladas; superficies disectadas (montañosas) de más de 15° de pendiente.

Se distinguen dos grandes paisajes definidos:

- Gran paisaje aluvial.

- Gran paisaje montañoso.

3.5.3. TEMPERATURA

- Máxima: 17.8°C
- Mínima: -5°C
- Promedio: 11.4°C

3.5.4. HUMEDAD RELATIVA

- Promedio: 82%

3.5.5. PRECIPITACIONES

Las precipitaciones pluviales en el ámbito de estudio son marcadamente estacionales, presentándose durante los meses de verano, es decir entre los meses de enero y marzo.

- Promedio: 752.4 mm/año

3.5.6. NIEVE

Nevadas Temporales (diciembre a marzo)

- Espesor Máximo: 0,50 m
- Penetración de Helada: 0,20 m

3.5.7. CONDICIONES SÍSMICAS

De acuerdo al nuevo mapa de zonificación sísmica del Perú y la nueva Norma Sismo Resistente (NTE E-030); vigente desde enero del 2016 y de acuerdo al Capítulo 2 Zonificación se establece que el área en estudio se encuentra dentro de la zona de sismicidad Zona 2. Con el Estudio Geotécnico se establecerá el perfil de suelo para la determinación de los parámetros necesarios y según las características de las estructuras en estudio se determinará el coeficiente sísmico para la obtención del cortante sísmico.

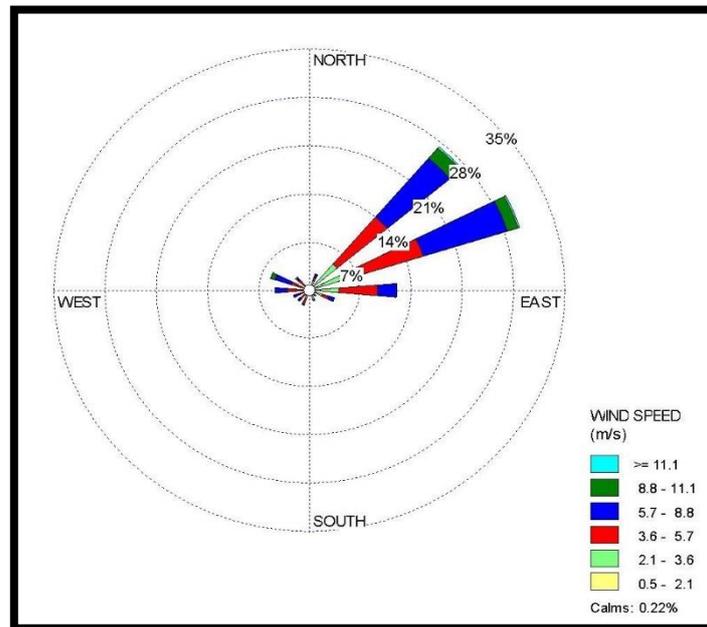
3.5.8. VIENTO

- Velocidad Máxima Registrada: 19.4 km/h
- Velocidad Promedio: 7.6 km/h
- Velocidad Mínima Registrada: 1.0 km/h
- Dirección Predominante: Norte – Noreste

3.5.9. PRESIÓN BAROMÉTRICA

- Presión Media: 0.576 Bar

Figura N° 3.3: Dirección del aire en Cerro de Pasco



Fuente: Elaboración propia

3.6. MEMORIA DESCRIPTIVA

3.6.1. ALCANCES

El alcance del presente proyecto es proporcionar los análisis y detalles de ingeniería para el diseño y construcción de las instalaciones asociadas con todos los componentes como estructuras metálicas, plataformas, tanques, red de tuberías, muro de contención, etc. Los planos, especificaciones técnicas, manual de aseguramiento de la calidad, cantidades y presupuesto, se consideran como parte de este expediente.

3.6.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO

POLÍTICA.- El proyecto de Obtención de Cemento de Cobre se encuentra ubicado en las instalaciones de Planta Neutra, entre el Stock Pile de Activos Mineros y Stock Pile de Óxidos aproximadamente a 4 km del distrito de Paragsha, Provincia de Pasco y Región Pasco.

GEOGRÁFICA.- El Proyecto de Recuperación de Cemento de Cobre geográficamente se encuentra ubicada dentro de las coordenadas UTM Pasad 56, cuyos vértices son los siguientes:

Tabla N° 3.3: Vértice de coordenadas de la concesión Anubia

VERTICE	CORDENADAS UTM	
	NORTE	ESTE
1	8819200	360750
2	8819300	360750
3	8819200	360950
4	8819300	360950

Fuente: Elaboración propia

Las coordenadas centrales de 8480000N y 360000E (Datun PSAD 56, Proyección UTM, zona 18L) a una altitud de 3665 m.s.n.m.

3.6.3. ACCESIBILIDAD

Tabla N° 3.4: Distancia de acceso a zona de proyecto

DE	A	TIPO DE VIA	DISTANCIA km	TIEMPO hrs.
Lima	Pasco	Asfaltada	295	7
Pasco	Proyecto	Trocha	60	10 min

Fuente: Elaboración propia

3.7. DESARROLLO DEL DISEÑO Y PROCESOS

3.7.1. SISTEMA DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Se capta agua acida de mina mediante una tubería HDPE de 14" impulsada por una bomba vertical, para su almacenamiento en la "Poza de Cobre" (antes "Poza de lodos N° 3") de capacidad de 3400 metros cúbicos.

3.7.2. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Inicia en la toma de agua acida en la "Poza de Cobre" mediante una tubería de acero inoxidable de 14" anclada al terreno por una estructura cubica de concreto armado.

Para luego dar paso a una válvula de control de caudal tipo mariposa de 14" y una reducción para la conexión de una tubería de HDPE de 12", la cual después de 144 metros es conectada a un manifold con 4 distribuciones para tubería HDPE de 4", cada una de las cuales alimenta a 2 tanques de reacción.

El ingreso de agua acida a los tanques de reacción es controlada mediante válvulas tipo globo de 4".

3.7.3. SISTEMA DE RECOLECCIÓN

Para la recolección del cemento de cobre se instaló 2 válvulas tipo globo de 4" en la parte inferior de cada tanque, mediante el manipuleo de estas se recoge el cemento en recipientes especiales.

3.7.4. SISTEMA DE REBOSE

El sistema de rebose fue implementado para tomar el sobrante de aguas acidas proveniente de los 8 tanques de reacción y ser conducida a la poza "Garacalzon". El sistema fue construido con tuberías de acero inoxidable de 14".

3.8. DISEÑO DE INSTALACIONES

3.8.1. INGENIERÍA CIVIL

Movimientos de lodo:

Realizados en los cajones de concreto armado existentes en el área de tanques, para su posterior relleno con material granular.

Se realizó la limpieza de la "Poza de Cobre" para su posterior relleno y recubrimiento con geomembrana.

Relleno:

Se realizó con material granular en los cajones de concreto armado en el área de tanques y en área contigua a esta a una altura indicada en el diseño del sistema de rebose.

Igualmente se rellenó la "Poza de Cobre", dándole una pendiente de 1/1000 en dirección sur para la captación del agua acida.

Impermeabilización:

Se realizó en la "Poza de Cobre" con láminas geo sintéticas para asegurar la estanquidad de la poza y en el área de tanques para evitar la el paso de los contaminantes al suelo.

3.9.INGENIERÍA ESTRUCTURAL

Cimentación y losas

Área de tanques.- Los tanques están colocados sobre un relleno de granular en los cajones de concreto ya existentes en la zona y un relleno granular soportado por un muro de contención cimentado en una base de concreto armado en la zona contigua a los cajones de concreto. Tanto el muro de contención y su zapata fueron construidos con acero de 5/8" @ 20, en forma de malla. Para luego ser vaciados con concreto resistente a ambientes ácidos.

Soportes de tuberías.- De cimentación de concreto armado

- **Soportes de estructuras metálicas:** De cimentación de concreto armado
- **Metal mecánico:** La construcción de las plataformas para la alimentación de chatarra a los tanques de reacción, se realizaron con materiales recuperados de "La Planta de Agua Mina": plataformas, vigas tipo C, ángulos, planchas de 1/2" pulgada de espesor, tuberías de metal de barandas, etc.

3.10. INGENIERÍA MECÁNICA

Bomba de alimentación secundaria

Tabla N° 3.5: Equipamiento mecánico

		Descripción	Unidad	Cantidad
1.0	Línea	Equipamiento mecánico		
1.1		Área de mina		
		Bomba principal de alimentación	UNIT	1
1.2		Poza de lodos Nro. 1		
		Bomba auxiliar	UNIT	1
1.3		Sistema de aire comprimido		
		ROTARY POSITIVL BLOWER	UNIT	1

Fuente: Elaboración propia

En la "Poza de lodos Nro. 1" se instaló 01 bomba de la cual se habilitó 1 tubería de 4" HDPE para el transporte de aguas ácidas hacia el manifold de distribución a los tanques, como medida de alimentación auxiliar.

Tabla N° 3.6: Tubería

		Descripción	Unidad	Cantidad
1.0	Línea	Tubería		
1.1		INGRESO		
	PCC-TUB-AA-001	TUBERIA HDPE 315 mm x 18.7 mm SDR 17 PN10 PE 100 NTP ISO 4427	UNIT	8
	PCC-FJ-AA-002	Flange joint	UNIT	3
	PCC-FP-AA-003	Flange plate (brida)	UNIT	3
1.2		DISTRIBUCIÓN		
	PCC-TUB-AA-004	TUBERIA HDPE 315 mm x 18.7 mm SDR 17 PN10 PE 100 NTP ISO 4427	UNIT	12
	PCC-FJ-AA-005	Flange joint	UNIT	4
	PCC-FP-AA-006	Flange plate (brida)	UNIT	4
	PCC-BV-AA-007	BUTTERFLY VALVE 14"	UNIT	1
1.3		REBOSE		
	PCC-TUB-AA-008	Tubería de acero inoxidable de 14"	M	124
1.4		DRENAJE		
	PCC-TUB-AA-009	Tubería de drenaje corrugado de 6"	UNIT	6
1.5		SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO		
	PCC-TUB-AIR-010	Tubería de fierro de 4"	M	25
	PCC-TUB-AIR-011	Tubería de acero inoxidable de 2"	M	37.5
1.6		SISTEMA DE REACCIÓN		
		Tanque 25000 m3	UNIT	8
	PCC-TUB-AA-012	Tubería PVC clase 10	M	200
	PCC-CHV-AA-013	Conexiones Hexagonales 4" tipo Vitton	UNIT	24
	PCC-JV-AA-014	Junta 4" tipo Vitton	UNIT	48
	PCC-NP-AA-015	Niple de 4"	UNIT	64
	PCC-GV-AA-016	Válvula tipo globo 4"	UNIT	24
	PCC-ACC-AA-017	Codo de 90° 4" clase 10	UNIT	30
	PCC-ACC-AA-018	Codo de 45° 4" clase 10	UNIT	15
	PCC-ACC-AA-019	Tee de 4" clase 10	UNIT	10

Fuente: elaboración propia

Tabla N° 3.7: Civil

	Descripción	Unidad	Cantidad
1.0	CIVIL		
1.1	ÁREA DE TANQUES		
1.1.1	Movimiento de tierras		
	Limpieza de lodo	m ³	4
	Eliminación del lodo	m ³	4
	Relleno del terreno	m ³	315
	Nivelación y compactación del terreno	m ²	190
1.1.2	Concreto armado		
	Muro de contención	m ³	23,87
	Muro de rampa	m ³	2,60
	Soporte de tuberías	m ³	7,30
	Soporte de estructuras metálicas	m ³	1,60
1.1.3	Impermeabilización		
	Impermeabilización del área	m ²	276

1.2	AREA DE POZA DE COBRE		
1.2.1	Movimiento de tierras		
	Limpieza de lodo	m ³	
	Eliminación del lodo	m ³	
	Relleno del terreno	m ³	
	Nivelación y compactación del terreno	m ²	
	Anclaje de geomembrana	m ³	24,75
	Excavación estructural c/equipo en concreto	m ³	16,50
	Excavación estructural c/equipo en roca	m ³	45
1.2.2	Impermeabilización		
	Impermeabilización de la "POZA DE COBRE"	m ²	2504,4
1.2.3	Concreto simple		
	Solado de concreto	m ³	0,34
1.2.4	Concreto armado		
	Anclaje de tubería de toma de agua	m ³	2,60
	Muros de protección de válvula de "Poza de Cobre"	m ³	4,30
2.0	ESTRUCTURAL		
2.1	ÁREA DE TANQUES		
	Fabricación de estructuras metálicas para soporte de tubería	Kg	
	Fabricación de estructuras metálicas para soporte de pasarelas	Kg	
	Acondicionado y fabricación de pasarelas	Kg	

Fuente: Elaboración propia

3.11. CÁLCULOS

3.11.1. ALTURA DE RELLENO – ÁREA TANQUES

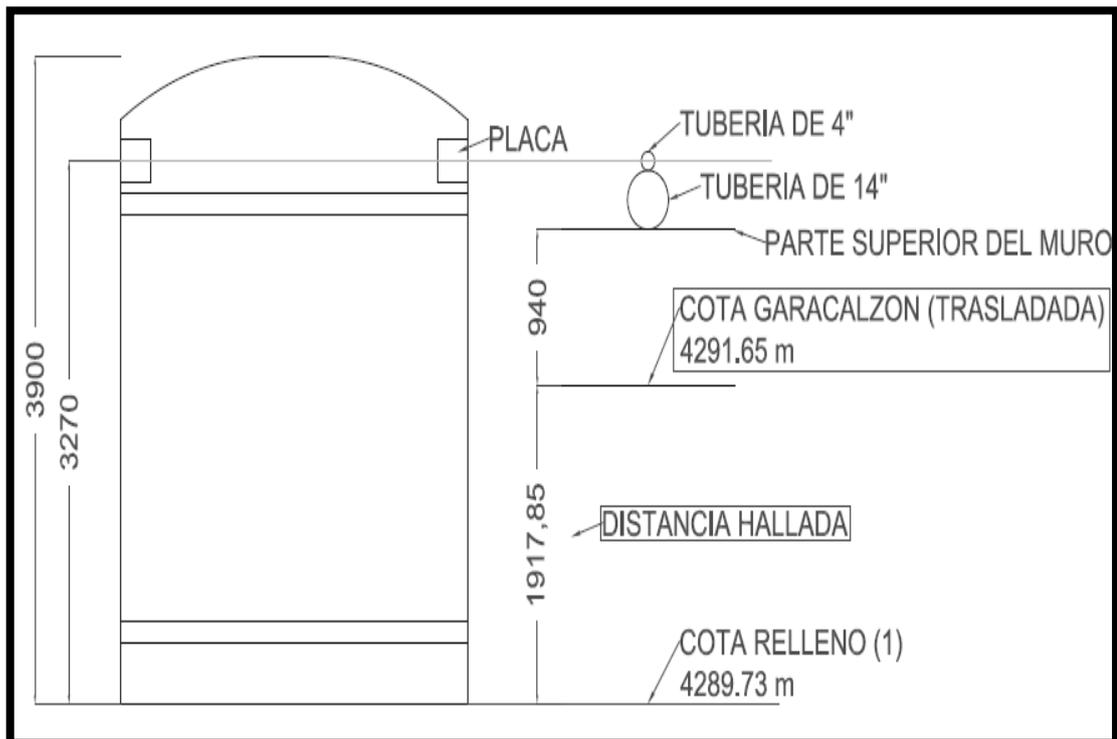
Metodología

1. Primero se trasladó la cota más alta de la poza "GARACALZON" al área de reacción (área de tanques), con el objetivo de asegurar una pendiente para el tendido de la tubería de acero inoxidable de rebose.

Tomando en cuenta la cota trasladada de la poza "GARACALZON", las dimensiones de los tanques de reacción y

los diámetros de las tuberías de alimentación (4 pulgadas) y de rebose (14 pulgadas), se determinó la altura de relleno. Como se indica en la siguiente figura:

Figura N° 3.4: Diseño de instalación del tanque

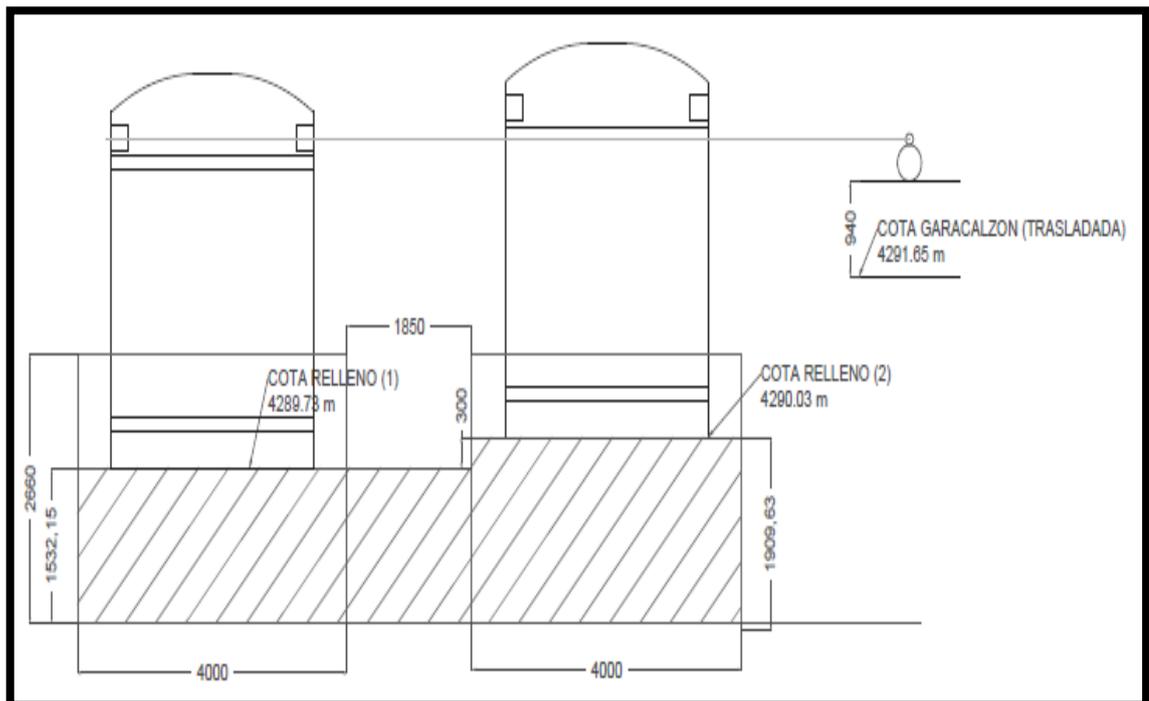


Fuente: Elaboración propia

2. A esta altura de relleno hallada 1,90 metros, le corresponde una cota de 4289,73 m.s.n.m. (COTA DE RELLENO 1), siendo esta la altura de relleno base.
3. Adicional a la altura de relleno base, se agregó una grada positiva de 0,30 metros de relleno, con una nueva cota de 4290,03 m.s.n.m (COTA DE RELLENO 2), para crear un desnivel necesario para la circulación del agua acida entre los

tanques superiores (1,3,5,7) y los tanques inferiores (2,4,6,8), quedando las cotas de relleno como se muestran en la siguiente figura:

Figura N° 3.5: Cota de relleno en busca de desnivel



Fuente: Elaboración propia

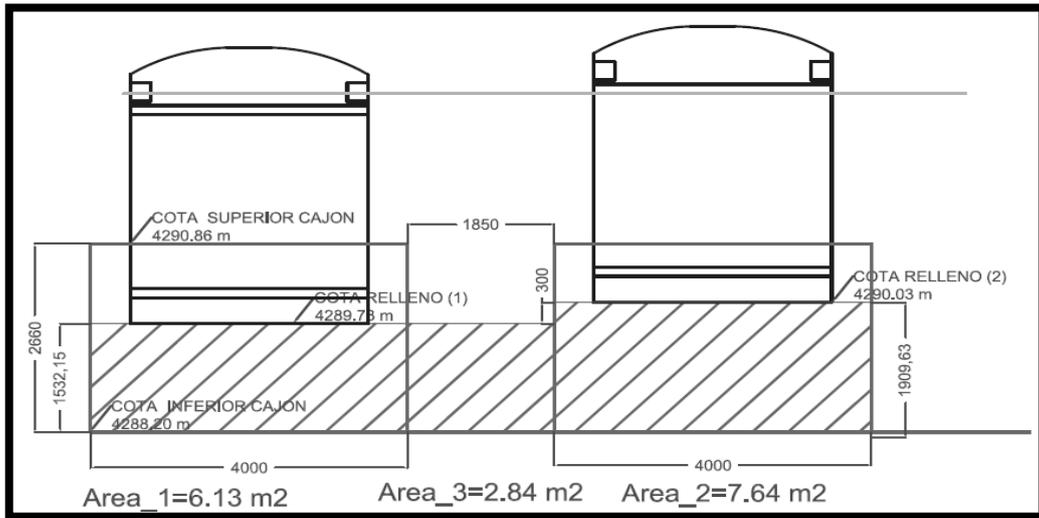
1. Nota: las unidades de las distancias no indicadas son milímetros.

3.11.2. VOLUMEN DE RELLENO DEL ÁREA DE TANQUES

Metodología

1. Una vez calculado las cotas de relleno (COTA DE RELLENO 1 y COTA DE RELLENO 2), se calculó las áreas de las secciones transversales, como se indica en la siguiente figura:

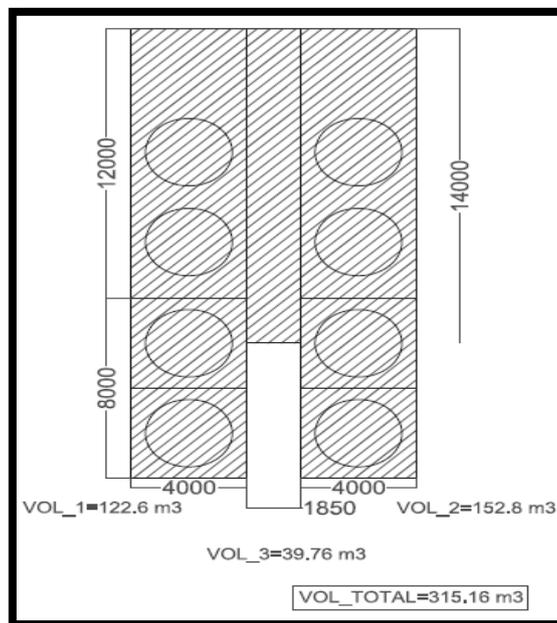
Figura N° 3.6: cota de relleno 2 para el desnivel



Fuente: Elaboración propia

- Para luego calcular el volumen total de relleno ($VT= 315,16$ metros cúbicos), como se indica a continuación:

Figura N° 3.7: Volumen total de las pozas



Fuente: Elaboración propia

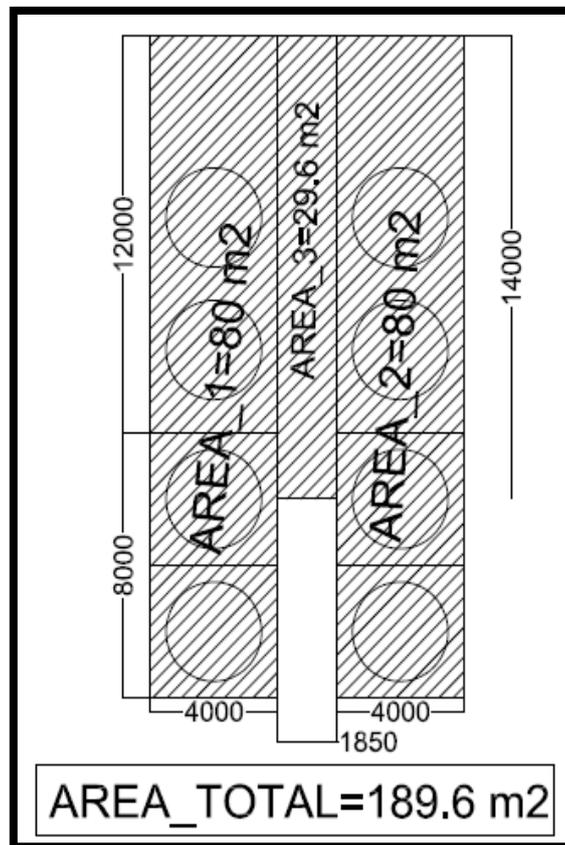
Nota: las unidades de las distancias no indicadas son en milímetros.

3.12. ÁREA DE RECUBRIMIENTO DE GEOMEMBRANA – ÁREA TANQUES

Metodología:

1. De acuerdo a la siguiente figura se calculó el área de recubrimiento.

Figura N° 3.8: Cálculo del área de recubrimiento



Fuente: Elaboración propia

2. A esta área, se le agrego 85 metros cuadrados, pertenecientes a los bordes no incluidos en el grafico anterior, haciendo un total de 275,4 metros cuadrados.

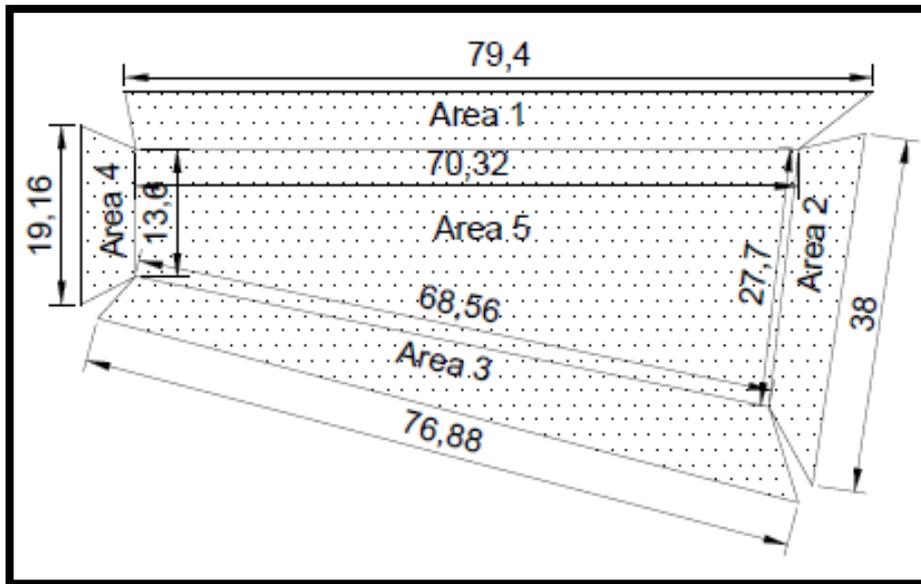
Nota: las unidades de las distancias no indicadas son en milímetros.

3.13. ÁREA DE RECUBRIMIENTO DE GEOMEMBRANA – POZA DE COBRE

Metodología

1. De la siguiente figura:

Figura N° 3.9: Área total a cubrirse



Fuente: Elaboración propia

2. Se calcula el área de cada sección, para hallar el total del área a cubrir.

Tabla N° 3.8: Distribución de áreas

ÁREA	
Área 1	321,4250 m ²
Área 2	154,3950 m ²
Área 3	542,1681 m ²
Área 4	62,1767 m ²
Área 5	1424,2067 m ²
ÁREA TOTAL	2504,3715 m ²

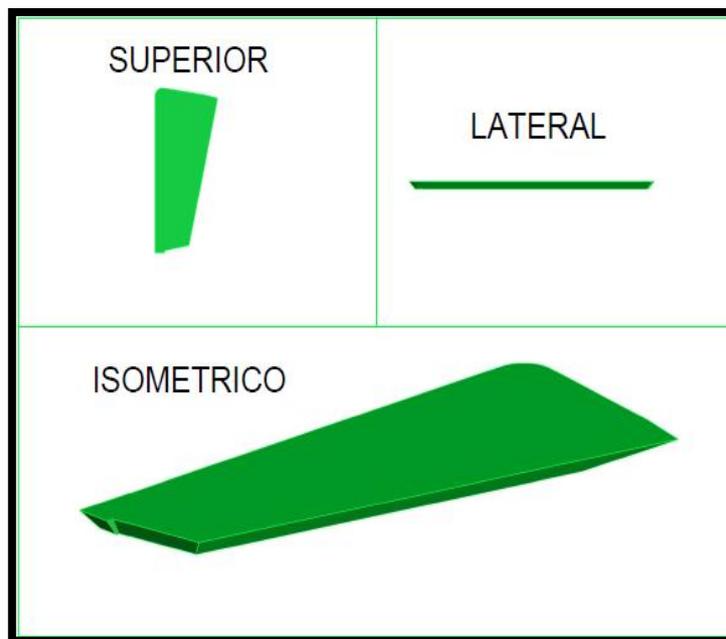
Fuente: Elaboración propia

Nota: las unidades de las distancias del grafico están en metros

3.14. VOLUMEN DE LA POZA DE COBRE

Del levantamiento topográfico:

Figura N° 3.10: Vista del volumen de las pozas



Fuente: Elaboración propia

Se calculó el volumen de la poza, para determinada altura de la regla de medición.

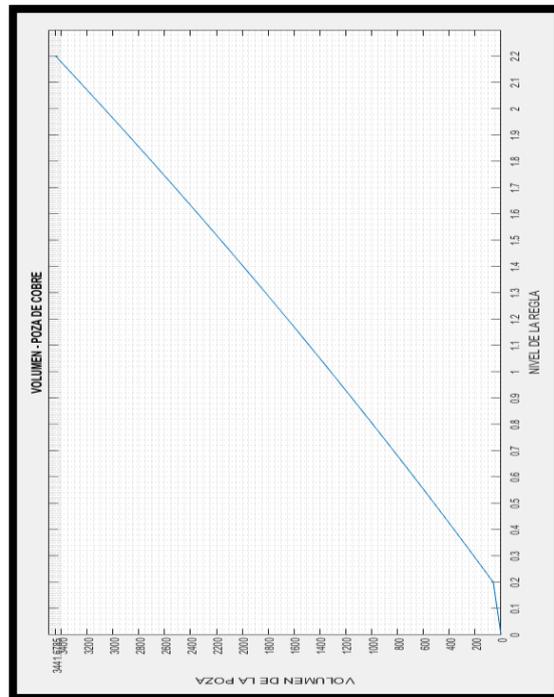
Tabla N° 3.9: Cálculo del volumen

ALTURA DE LA REGLA (metros)	VOLUMEN DE LA POZA (metros cúbicos)
0,0	0,0
0,2	60,0
0,3	210,2
0,4	362,3
0,5	516,4
0,6	672,3
0,7	830,1
0,8	990,0
0,9	1151,7

1,0	1315,5
1,1	1481,3
1,2	1649,1
1,3	1818,9
1,4	1990,8
1,5	2164,7
1,6	2340,8
1,7	2518,9
1,8	2699,1
1,9	2881,5
2,0	3066,1
2,1	3252,8
2,2	3441,7

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.11: Volumen de agua acida en la “POZA DE COBRE”



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADO

4.1. PLANTA PILOTO SULFATO DE COBRE

Se determinó la ubicación más adecuada para emplazar la planta piloto que llegará posiblemente la próxima semana, para la producción de Sulfato de cobre cristalizado en grado comercial. Para esto se consideró el ingreso y la salida de las soluciones por gravedad y así evitar el uso de bombas para este fin.

Es necesario que la Empresa Cognis indique sus necesidades de energía eléctrica, agua, y aire si fuera el caso y algunas otras especificaciones técnicas, de tal manera que nosotros vayamos adecuando estos requerimientos para que cuando llegue la planta piloto a Cerro no tengamos retrasos por estas necesidades.

4.1.1. LIXIVIACIÓN MINA

Se realizó un reconocimiento de la mina zona de cobre, especialmente los accesos principales a los puntos de lixiviación en los principales niveles de la mina, tanto por la zona del pique Excélsior como por la zona del tajo abierto.

4.1.2. POR EL LADO DEL PIQUE EXCÉLSIOR

- Es necesario realizar trabajos de mantenimiento y reparación de las válvulas y tuberías del water rise, este trabajo es de vital importancia para el retorno del agua barren para lixiviar la mina.

Figuras N° 4.1: Instalaciones de las tuberías de circuito



Fuente Elaboración propia

Figura N° 4.2: instalación de las tuberías de ácido sulfúrico

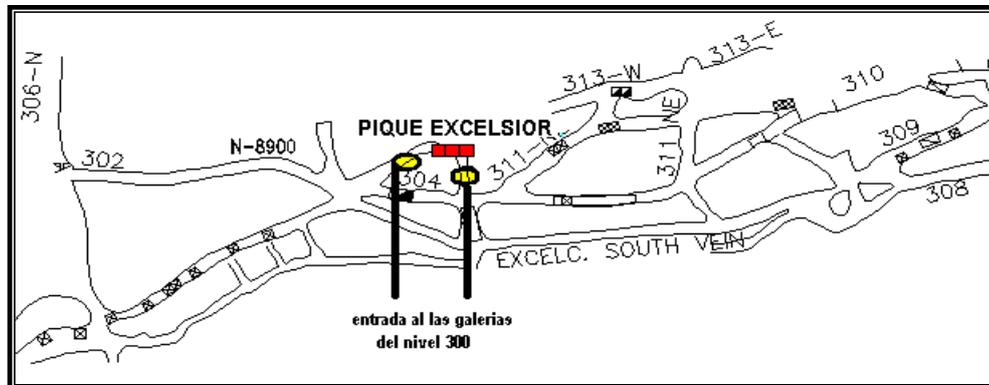


Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Nivel 200 Excélsior

- En este nivel es necesario realizar trabajos de rehabilitación desde la entrada de la galería 202 consistente en trabajos de limpieza de desmonte en una distancia de 200 pies y en armado de cuadros según la competencia del terreno. Este trabajo nos va a permitir el acceso directo al nivel 400, en donde tenemos bastantes puntos de lixiviación.
-
- Además por esta galería está instalada una de las tuberías matrices de lixiviación de 8" de diámetro el cual se puede observar hasta donde nos permite el paso que está en buenas condiciones operativas. Pero por causas de los derrumbes existentes no podemos visualizar más.

Figura N° 4.5: Diagrama de Nivel 300 Excelsior



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.6: Lixiviación del cobre



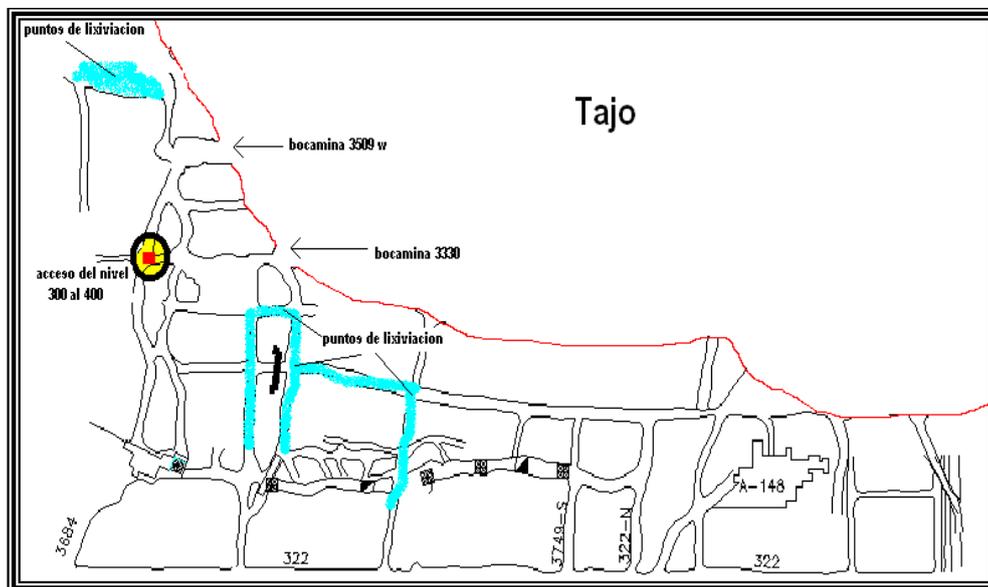
Fuente: Elaboración propia

Este nivel por el tajo tiene dos accesos principales a sus diferentes galerías que cuentan con puntos de lixiviación y un acceso directo al nivel 400.

Para habilitar estos accesos que son las galerías 3330 y el 3509 es necesario realizar limpieza en una longitud aproximada de 150

pies y desarmar cuadros vencidos y armar cuadros nuevos, teniendo la precaución de instalar una ventiladora a 50 metros de la bocamina del 3330, donde anteriormente se encontraba. También es necesario rehabilitar las escaleras que llevaban del Nv 300 al Nv 400.

Figura N° 4.7: Diagrama de Nivel 300 área tajo



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.8: Bocamina 3330 por el tajo



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.9: Bocamina 3509 por el tajo



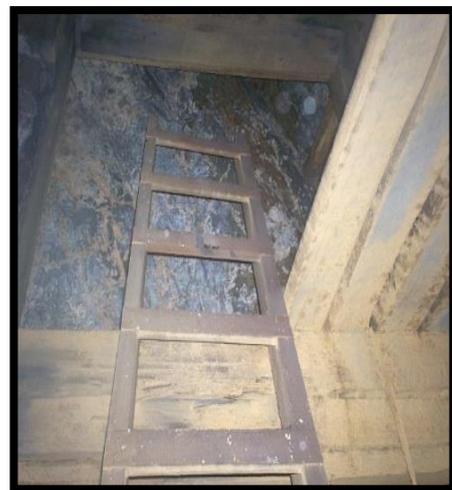
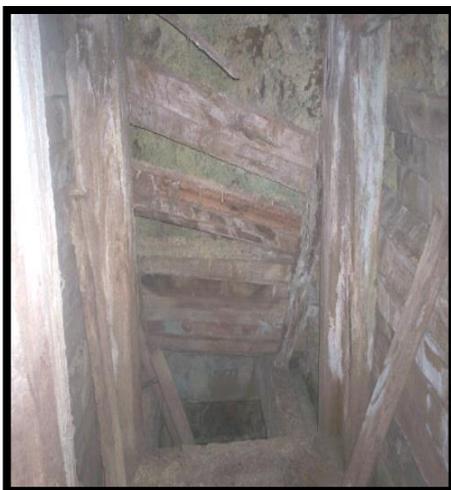
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.10: Galería del nivel 3509



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.11: Estado de las escaleras del Nv 300 al Nv 400



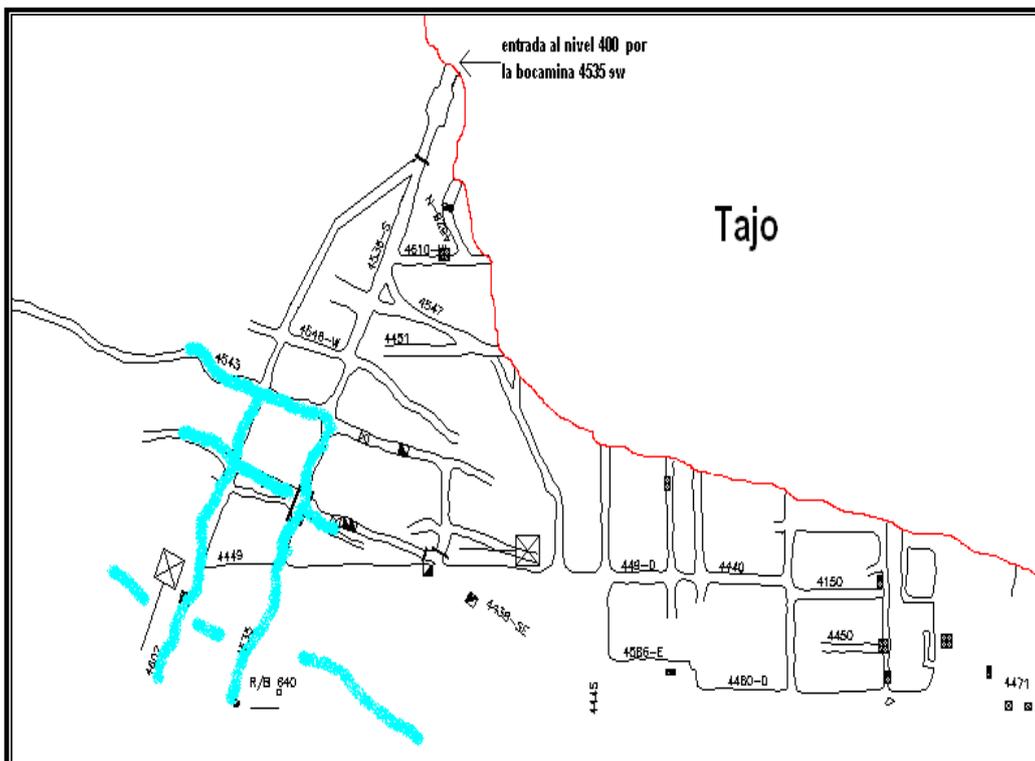
Fuente: Elaboración propia

4.1.5. NIVEL 400 TAJO

Este nivel es el de mayor importancia porque cuenta con la mayor cantidad de puntos de lixiviación, por lo que requiere una limpieza en el acceso de la galería 4535 en aproximadamente 300 pies, luego desarmar cuadros vencidos y armar cuadros nuevos desde la bocamina de la galería 4535.

Del mismo modo es necesario limpieza en la bocamina de la galería 4544 para poder ingresar por el mismo, aquí no es necesario armar cuadros por la competencia del terreno

Figura N° 4.12: Nivel 400 tajo



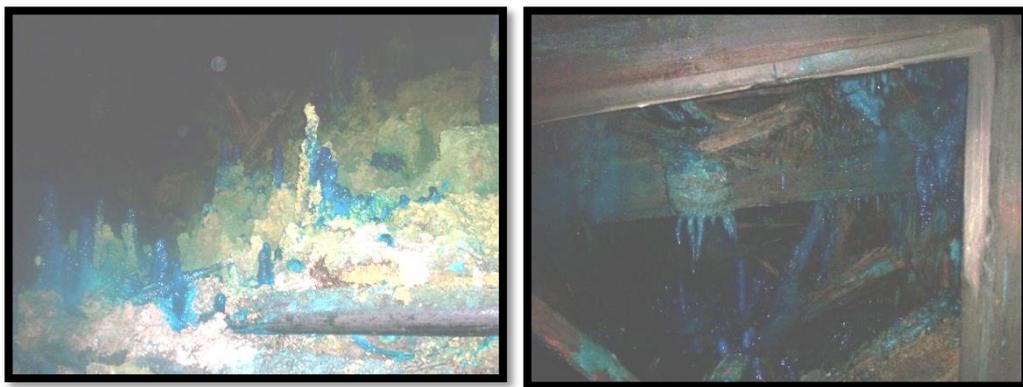
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.13: Acceso a la bocamina 4535



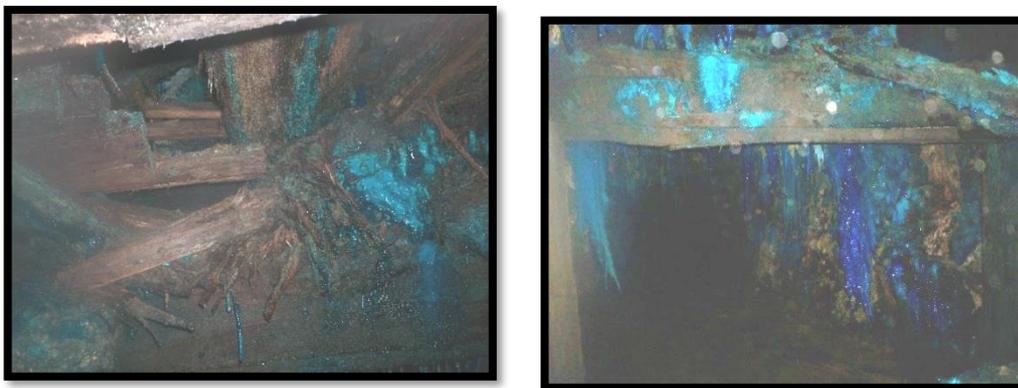
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.14: Estado de los cuadros en la galería 4535 (ver el sulfato de cobre existente)



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.15: Sulfato de cobre en galería



Fuente: Elaboración propia

4.2. VENTILACIÓN

Para poder trabajar con seguridad es necesario reponer la ventiladora que anteriormente existía en el lugar conocido como la docena, aquí se contaba con una ventiladora de 60000 CFM.

Esta ventiladora evacuaba el aire viciado de los niveles 400, Nv 300 y Nv A. Sería necesaria hacer una evaluación por parte del departamento de ventilación de nuestra unidad.

4.3. PLANTA CÁTODOS DE COBRE

- Desde el día miércoles se cuenta con un equipo de trabajo integrado por un Ing. Eléctrico y un empleado a los cuales se unirán en forma paulatina otros miembros de la planilla diaria, para dar mayor fuerza a los trabajos de evaluación y verificación de los equipos existentes en la planta. Esto se logró con el decidido apoyo del gerente de Operaciones de Nuestra Unidad Ing. Teodulo Quispe H.
- También se generaron órdenes de trabajo al área de proyectos para realizar trabajos de reparaciones de las oficinas, talleres, drenajes etc.
- Se está recuperando un módulo existente en la planta de Neutralización para armar un centro de control de motores con el cual iniciar las pruebas de los equipos existentes en Planta.

- Se está adquiriendo algunas herramientas básicas, como desarmadores, alicates, llaves crecents llaves stilsons entre otros, con el fin de que el personal tengan las herramientas necesarias para realizar su trabajo.

4.4. PRUEBAS DE CEMENTACIÓN DE COBRE DE AGUA DE MINA Y PAMPA SECA

En el presente trabajo de investigación se realizaron pruebas experimentales a nivel de laboratorio del drenaje de agua acida de mina y del stock piles de Pampa seca. Posteriormente se llevó a escala piloto para ver el comportamiento en un sistema continuo.

Se realizó un proceso cementación de cobre de drenaje acido de mina al interior de la mina, donde se obtuvieron un cemento de 59% de cobre, sin embargo, el % de extracción no supera el 8%. Lo que pretende con estas pruebas es afirmar si existe la posibilidad de generar una oportunidad de negocio recuperando económicamente cobre por cementación con chatarra de hierro, a partir de las aguas ácidas de mina y del stock pile Pampa Seca, teniendo como antecedente la cementación realizada en interior mina.

En la unidad Cerro de Pasco existen dos fuentes principales de generación de lixiviados de cobre:

- La principal fuente por su caudal es la zona con piratas de cobre al interior mina, conocidos como nivel 200 Excélsior, nivel 300 Excélsior, nivel 300 Tajo y nivel 400 Tajo. En la etapa de plena operación de la planta de cátodos antes del año 2000, se llegó a producir 1900 gpm (10300 m³/día) de lixiviado ácido con un contenido de cobre disuelto de 400 mg/L.
- Actualmente la producción de lixiviado de cobre, como resultado de las modificaciones de flujos realizados al interior mina al paralizar las operaciones, es mínimo con valores de unos 60 gpm y que es usado como alimentación de un circuito artesanal de cementación con chatarra en una de las galerías al interior de la mina. Con trabajos de rehabilitación de regado de la zona de lixiviación se podrá incrementar la producción de lixiviado rico en cobre.
- La segunda fuente de importancia es el drenaje ácido del stock pile Pampa Seca con un caudal promedio de 120 gpm (654 m³/día), con un contenido de cobre disuelto de 650 mg/L. Actualmente este flujo es mezclado con el agua ácida de mina y enviado al depósito de aguas ácidas de Yanamate.
- La investigación que se ha llevado acabo ha permitido definir un proceso metalúrgico para la producción de cemento de cobre. Los resultados que se obtuvieron de las pruebas piloto fueron una recuperación de 80% de cobre. La calidad del cemento está en 50% de cobre que, después de las deducciones de ventas por conceptos

de maquilas y penalidades, se obtiene un ingreso de caja mensual de USD \$ 38 762,20. Los costos operativos que se encuentran asignados a este proyecto son de USD \$ 31 780,20 que comprende costos de planillas, supervisión, insumos y transporte de cemento de cobre y transporte de personal.

La evaluación del proyecto se ha realizado para un volumen de producción mensual de 8,52 TMS de cobre fino. El índice económico se presenta con un precio del cobre nos indica que en 5 años de operación obtenemos resultados positivos con:

TIR	138 %
VAN	\$ 257 600,75

El resultado de esta evaluación económica da una factibilidad positiva para este proyecto de producción de cemento de cobre.

4.5. PARTE EXPERIMENTAL

4.5.1.- CEMENTACIÓN DE COBRE

La empresa administradora Cerro S.A.C., de acuerdo con las necesidades del mercado se vio obligada a incrementar una línea más de producción, que constaría el proceso de producción de cobre por Cementación. En el desafío de

diversificar nuestras operaciones hacia otros proyectos nos orientamos al proceso de cementación de cobre.

Una alternativa real para ingresar en este proceso fue utilizar los recursos ofrecidos por la empresa a menor costo e inversión. El objetivo técnico del proyecto estuvo destinado a estudiar un proceso que sea técnica y económicamente factible para producir un cemento de cobre de características comerciales. La producción de cemento de cobre se realizó por precipitación de cobre metálico con chatarra de fierro de las aguas provenientes de interior mina y los drenajes de stockpiles de Pampa Seca. La importancia de este proceso es el aporte económico que pudiera incrementar el flujo de caja. Se describe el procedimiento experimental para la producción de cemento de cobre con chatarra de acero. El procedimiento se detalla a continuación:

4.5.2. PRODUCCIÓN DE CEMENTO DE COBRE

El objetivo de estas pruebas es obtener cemento de cobre de las agua de mina y Drenaje de stock piles con la adición de chatarra de acero en circuito continuo.

4.5.3. EQUIPOS

El equipo a utilizar consiste en:

- Un reactor que gira a 75 rpm y de capacidad de 8,8 litros.

- Deposito de 1 m³ de capacidad para almacenamiento de las aguas ácidas.
- Una bomba dosificadora de agua ácida.

4.5.4.- MATERIALES

- Un m³ de agua ácida y 1 m³ de agua de la posa pulmon.
- Chatarra de acero como alambre de 6 mm de diametro.

4.5.5.- CONDICIONES EXPERIMENTALES

Las condiciones experimentacion se detallan a continuacion:

Tabla N°4.1. Condiciones de Pruebas.

Procencia	Prueba N° 4	
	Relación agua de Pampa Seca/Poza	
Relación volumen	1:2	
Flujo de solución	135,00	Lts/min
Tiempo de residencia	37,65	Minuto
REACTOR		
Volumen efectivo	8,80	litros
Volumen de la chatarra	1,02	Litros
Consumo de chatarra	1208,70	Gramos
Relación Fe/Cu	5,87	

Fuente: Elaboración propia

4.5.6. PROCEDIMIENTO

Al reactor de cementación se le agrega chatarra de acero y se agita a 75 rpm, luego se inicia la adición de agua de acida. La reacción es inmediata produciéndose el cemento de cobre.

El cemento sale por la parte media del reactor a unas posas de decantación. Después de terminar el proceso se vacía el reactor y se separa el cemento para luego ser secado.

4.6. RESULTADO

La producción de cemento de Cu se realiza utilizando el equipo y materiales descritos en la parte experimental.

Las leyes de cabeza de las aguas ácidas alimentadas a la planta piloto de cementación de Cu es como se indican:

Tabla N° 4.2: Análisis químico de las muestras de agua

Cabezas líquidas	Cu (mg/l)	Pb (mg/l)	Zn(mg/l)	Ag(mg/l)	Fe(mg/l)
Pampa seca	540,73	4,32	2801,39	0,02	39537,5

Fuente: Elaboración propia

El cemento de cobre es la precipitación de cobre metálico con chatarra de acero sobre el agua ácida de cobre disuelto.

La resultante de este proceso es un cemento de cobre color marrón que contiene características comerciales, tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla N° 4.3. Análisis químico de los cementos de cobre

Sólidos	Cu (%)	Pb (%)	Zn(%)	Ag(g/TM)	Fe(%)
Cemento cobre	50,00	0,38	0,31	18,00	20,63

Fuente: Elaboración propia

El proceso da recuperaciones superiores al 70% para el caso de agua de mina y 83% para el caso de las aguas de Pampa Seca, que se trabajó en relación de 1:2 con agua de posa pulmón.

Tabla N° 4.4. Balance metalúrgico de las pruebas de Cementación.

Procedencia	Prueba	Cu	Pb	Zn	Ag	Rec Cu	Rec Pb	Rec Zn	Rec Ag
	N°	g	g	g	g	%	%	%	%
Pampa seca	3	161,741	0,087	7,873	0,001	80,62	5,49	0,65	11,11

Fuente: Elaboración propia

4.7. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

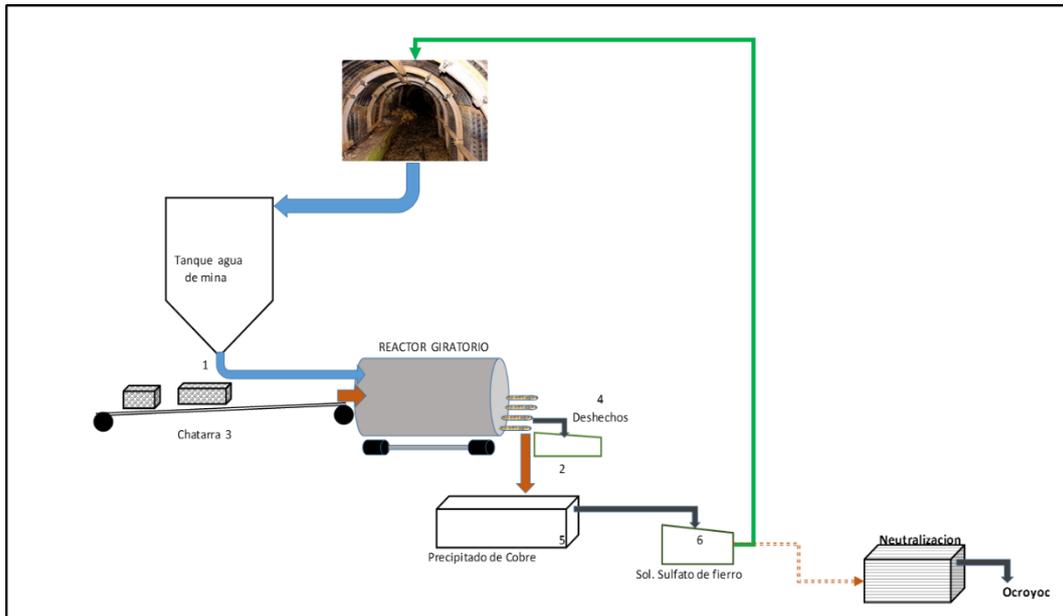
Dentro del contexto del proyecto de producción de cobre, se describe en este documento una tecnología de producción de cemento de cobre.

Este proceso se basa en el tratamiento de las aguas acidas de mina y stockpiles con chatarra de acero. El sólido obtenido es fácilmente manejable.

Como resultado del pilotaje del proceso estudiado se ha encontrado producción de cobre desde agua acidas.

El esquema general del proceso de producción de cemento de cobre se muestra en la figura N° 4.16.

Figura N°4.16. Esquema del proceso de producción de cemento de cobre



Fuente: Elaboración propia

El agua ácida será almacenada en un tanque de alimentación el cual alimentará al reactor giratorio a razón de 120 gpm y 540 ppm de cobre. El reactor girará a 15 rpm y su descarga de cemento será por la periferia.

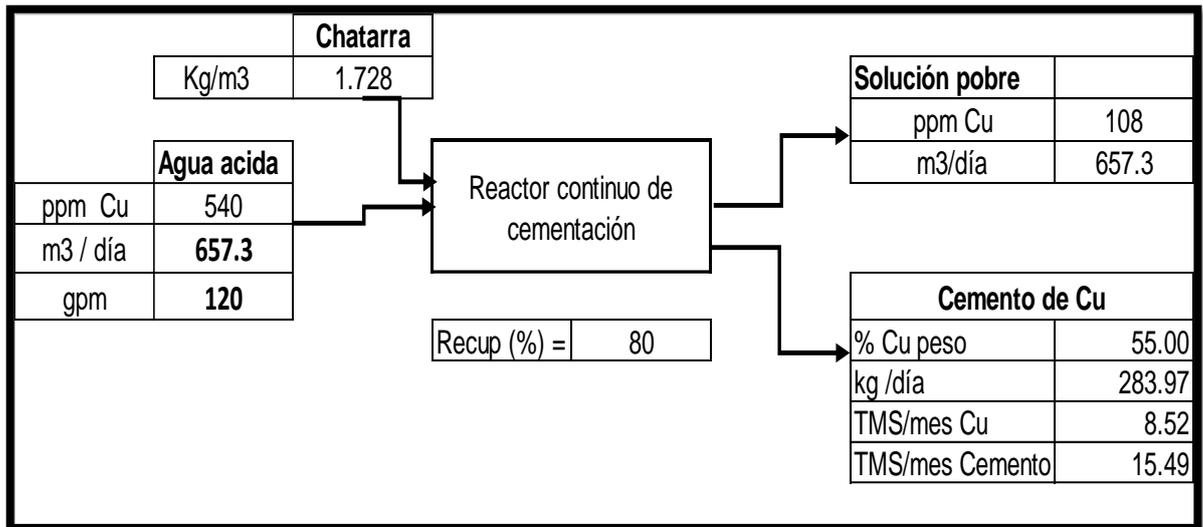
El precipitado se almacenará en una poza de decantación para su posterior traslado a despacho. La solución pobre se envía a almacenar como drenaje de mina en Ocroyoc.

4.7.1. CRITERIO DEL DISEÑO DEL PROCESO

El proyecto de producción de cemento de Cu considera detalles técnicos que fueron considerados en el desarrollo de estas

pruebas. El balance de flujo del proceso se muestra a continuación.

Figura N°4.17. Balance de Flujo de materia



Fuente: Elaboración propia

Las condiciones del proceso a escala industrial se indican en la tabla siguiente:

Tabla N° 4.1. Parámetros de operación

Circuito	Unidad	Valor
Procedencia		Pampa Seca
Planta de cemento cobre		
Alimentación de Cu en solución	ppm	540
Volumen horario promedio	M ³ /hr	27,39
Procesamiento efectivo	M ³	657,34
Procesamiento día	M ³	657,34
Consumo de chatarra	Kgs/ M ³	1,728
RPM Reactor	Rpm	12
Tiempo de residencia	Minutos	37
Recuperaciones	%	80
Calidad de cemento % Cu	%	50
Energía	Kw/ M ³	2,23

Fuente: Elaboración propia

4.8. IMPACTOS DEL PROYECTO

Los principales impactos del proyecto en relación con los resultados técnicos y económicos y la aplicación e implementación.

Los resultados de este proyecto entregan la descripción y criterios del diseño del proceso productivo del cemento de cobre a partir del agua de acida.

4.9. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Los criterios de evaluación económica fueron los siguientes.

- Horizonte proyectado 5 años
- Tasa de interés anual 10%
- Ingreso y costos de operación durante 5 años.

4.9.1. COSTOS DE INVERSIÓN

Para realizar la evaluación económica se considera una producción de 102 TMS de cobre anuales. Esta producción es lo que se va a tratar inicialmente en la planta luego se irá incrementando la producción del cemento de cobre mediante la

chatarra de hierro. Los costos de inversión de la planta de cemento de cobre se presentan en la siguiente tabla:

Tabla N° 4.2: Detalle de los costos de Inversión

Item	Descripción	Unidad	Parcial (USD \$)
1	Obras preliminares	1	9 096,10
2	Movimiento de tierras	1	509,25
3	Obras civiles	1	2 690,23
4	Obras metal-mecánicas	1	26 136,04
5	Obras eléctricas	1	7 725,00
	Costo Directo		46 156,62
	Costo indirecto		11 539,15
	Imprevistos		2 304,23
	TOTAL (SIN IGV)		60 000,00

Fuente: Elaboración propia

4.9.2. COSTOS DE OPERACIÓN

Los costos de operación se calcularon considerando los costos directos e indirectos que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N°4.3. Resumen de costos operativos

Costo Total/Mes	\$	31 780,20	Tratamiento	
Costo por TM Tratada	\$/M ³	1,61	M ³	19 720,22
Costo por Ton Cu producida	US \$/TM	3 730,45		

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.4: Balance de costos en la obtención del cemento de cobre

Descripción	Gastos US \$	US \$/M3	%	Subtotal \$
Costos directos		1,053	65,329	20 761,78
Planilla de obreros	5 506,52	0,279	17,327	
Insumos - reactivos	10 461,50	0,530	32,918	
Energía	3 430,70	0,174	10,795	
Transporte cemento de cobre	1 363,06	0,069	4,289	
Costos indirectos		0,495	0,730	9,765,99
Supervisión	4 127,57	0,209	12,988	
Mantenimiento	3 440,42	0,174	10,826	
Transporte Personal	1 950,00	0,099	6,136	
Control de calidad (2\$/análisis)	248,00	0,013	0,780	

	Costos administrativos		0,064	3,94	1 252,43
	Jefatura/estuc. Administrativa (10%HH)	963,41	0,049	3,04	
	Otros gastos (3% HH)	289,02	0,015	0,90	
	COSTO TOTAL	31 780,20	1,61	100,00	31 780,20

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la inversión calculada en base a los equipos y los costos operacionales se obtiene la evaluación del proyecto, los ingresos se encuentran junto a la evaluación económica.

Tabla N° 4.5: Flujo de Caja anual

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingreso de Caja		465 144,68				
TMS de Cu		102,23	102,23	102,23	102,23	102,23
Precio de Cu		6 500,00	6 500,00	6 500,00	6 500,00	6 500,00
Precio Cu \$/ton		664 492,41	664 492,41	664 492,41	664 492,41	664 492,41
% Deducción		30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Deducción (\$)		199 347,72	199 347,72	199 347,72	199 347,72	199 347,72
Egresos de caja	60 000,00	381 362,41				
Costo directos		249 141,33				
Planilla de obrero		66 078,22	66 078,22	66 078,22	66 078,22	66 078,22
Insumos - reactivos		125 537,95	125 537,95	125 537,95	125 537,95	125 537,95
Energía		41 168,42	41 168,42	41 168,42	41 168,42	41 168,42
Transporte Cemento Cu		16 356,74	16 356,74	16 356,74	16 356,74	16 356,74
Costos indirectos		117 191,89				
Supervisión		49 530,89	49 530,89	49 530,89	49 530,89	49 530,89
Mantenimiento		41 285,00	41 285,00	41 285,00	41 285,00	41 285,00
Transporte Personal		23 400,00	23 400,00	23 400,00	23 400,00	23 400,00
Control de calidad		2 976,00	2 976,00	2 976,00	2 976,00	2 976,00
Costos Administrativos		15 029,18				
Jefet/Estrc Adminis. (10% HH)		11 560,91	11 560,91	11 560,91	11 560,91	11 560,91
Otros gastos (3 % HH)		3 468,27	3 468,27	3 468,27	3 468,27	3 468,27
FLUJO ANUAL	60 000,00	83 782,28				

Fuente: Elaboración propia

La evaluación económica del proyecto muestra que este proceso es rentable, cuando se calculan los índices económicos con el precio de Cu de **6 500 USD\$/ ton**

TIR 138 %

VAN \$ 257 600,75

4.10. PRUEBA DE HIPÓTESIS

Al interior de la mina existe un circuito de lixiviación que funciona como un sistema de drenaje de aguas que discurren por filtración desde los niveles superiores de la mina generándose una lixiviación in-situ y drenando agua ácida con contenidos recuperables de cobre.

Las reservas del mineral lixiviable "IN-SITU" son los rellenos de tajeos ya explotados, las cajas, pilares y algunos ramales de vetas inaccesibles, angostas que fueron explotadas desde comienzos del siglo anterior.

Las reservas generalmente están contenidas por enargita, luzonita, calcocita, tetraedrita, calcopirita, bornita, malaquita y azurita, cuyas reservas se estiman en 30 000 000 de TCS con una ley promedio de 0,40 % de Cu.

Las reservas de mineral en superficie lo constituyen los stock piles acumulados durante el desbroce del tajo "Raúl Rojas", estimados en 35 000 000 de TCS de pirita con 0,30% de Cu.

Los lixiviados de cobre fueron aprovechados en la unidad desde el año 1935 recuperando cobre mediante la precipitación con chatarra de hierro, la cual se realizó inicialmente en las cunetas de la mina.

Posteriormente en 1963 las operaciones se centralizan en superficie, para producir en mayor escala construyéndose las plantas de cementación de Excelsior y Garacalón (1967 – 1968), las que paralizaron cuando entra en operación la Planta de Tratamiento de Agua de Mina por extracción por solventes SX y electrodeposición EW (1980).

En 1987 se inicia la lixiviación por plata en los stock piles Pampa Seca y anexo de Pampa Seca, utilizando como lixivante el cloruro de sodio, produciéndose cloruro de plata y ácido clorhídrico; la plata es recuperada mediante cementación con chatarra de hierro, el cloruro de sodio regenerado es reciclado a las pilas. Las soluciones de esta operación son muy corrosivas y contaminantes por lo que se paralizaron las operaciones de lixiviación ácido clorurante de Diciembre de 1990.

En 1991, se inicia la lixiviación de cobre utilizando como lixivante las soluciones barren de la mina subterránea, durante los primeros meses de ese año se continuó obteniendo cementos de plata por efectos del remanente existente.

En la actualidad la sección de cementación las soluciones impregnadas de cobre eran alimentadas a las celdas de precipitación que están constituidas por 3 bancos de 12 celdas cada

uno y un banco de 15 celdas adonde se adiciona chatarra de fierro para la obtención de cobre en forma de cemento, las colas de las soluciones decoperizadas eran enviadas a la estación de bombeo de la planta SX-EW, para ser descargadas en la laguna Yanamate.

Los insumos y suministros utilizados en la planta de cementación:
Chatarra de fierro, 3,5 kg /kg Cu. Producción 1 800 000 kg/año.
Energía 2,40 Kw-Hr/Kg Cu.

Para el almacenamiento de la chatarra de fierro se disponía de áreas con una capacidad de 450 toneladas, antes de ser utilizadas en las celdas de cementación.

En la planta de cementación de cobre no se tiene producción de residuos sólidos, se producen efluentes líquidos de la planta de cementación con un caudal de 800 GPM, pH = 1,10, Cu = 0,02 g/L, Fe = 25,00 g/L, Zn = 1,10 g/L, Pb = 2,00 g/L, As = 0,04 g/L, CN = trz. TSS = 110,0 ppm.¹

En los años 2017 y 2018 la empresa HIDROANDES CONSULTORES realizó un minucioso trabajo de identificación y caracterización de todos los flujos de agua (neutra y ácida) en

¹ PAMA – 2018 – pags. 121-125

interior mina y superficie, de donde se extraen los siguientes cuadros con las características de los flujos que presentan cobre.

Tabla N° 4.6: Flujos de cobre en Pampa Seca

			PAMPA SECA			
			C-7	C-15	C-22	C-31
			Julio 2017	Noviem 17	Marzo 18	Agosto 18
			Cerro 2	Cerro 2	Cerro 2	Cerro 2
Conductividad eléctrica	CE	µS/cm	242000	200000	167000	212000
	pH	unid	< 0,5	< 0,5	0,49	0,17
Sólidos totales disueltos	STD	mg/L	300000	278000	251000	149000
Sólidos Totales suspendidos	STS	mg/L	680	241	79	1380
Hierro	Fe	mg/L	48700	54500	41000	63000
Manganeso	Mn	mg/L	567	1680	500	626
Cobre	Cu	mg/L	578	653	440	724
Aluminio	Al	mg/L	3510	3930	3000	2510
Zinc	Zn	mg/L	2810	3620	2500	2980
Sulfatos	SO ₄	mg/L	150000	261000	115000	277000
Caudal		L/s	8	5	16	11
		GPM	126,82	79,26	253,63	174,37
		L/s	10			
		GPM	158,52			

Fuente: Informe Hidroandes 2018

Tabla N° 4.6: Flujos de cobre Interior mina

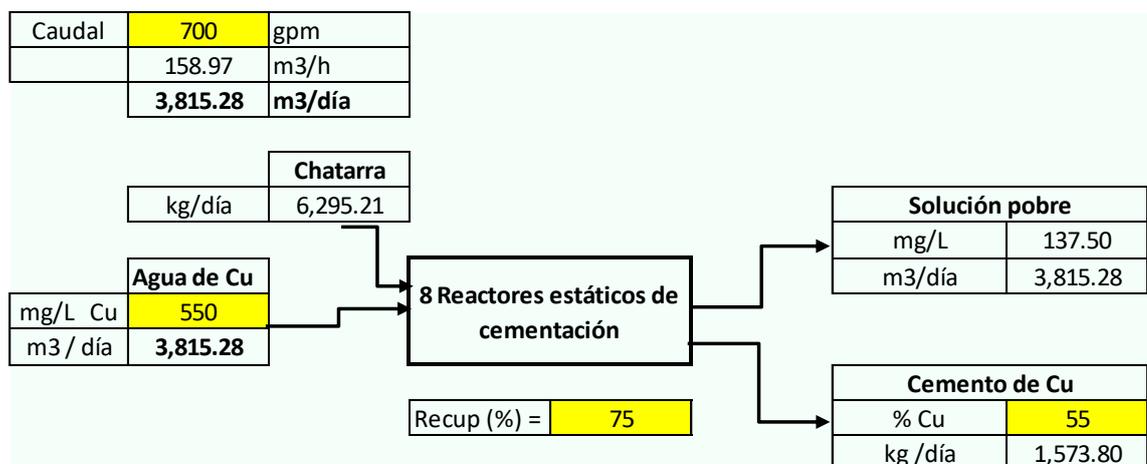
			AGUA DE COBRE – INTERIOR MINA			
			C-3	C-10	C-28	C-26
			Julio 2017	Noviem 17	Marzo 18	Agosto 18
			ACU 1209	ACU 1209	ACU 1209	ACU 1209
Conductividad eléctrica	CE	µS/cm	39000	37500	49300	39300
	pH	unid	1,46	1,46	1,32	1,47
Sólidos totales disueltos	STD	mg/L	63500	62800	89000	24400
Sólidos Totales suspendidos	STS	mg/L	100	< 3	92	186
Hierro	Fe	mg/L	9890	9640	11400	8360
Manganeso	Mn	mg/L	1100	1220	1080	1100
Cobre	Cu	mg/L	531	681	757	555
Aluminio	Al	mg/L	854	1040	1130	1020
Zinc	Zn	mg/L	1070	1450	1300	1290
Sulfatos	SO ₄	mg/L	41000	41000	44000	40000
Caudal		L/s	8,5	5	9	8
		GPM	134,74	79,26	142,67	126,82
		L/s	7,625			
		GPM	120,87			

Fuente: Informe Hidroandes 2018

CONCLUSIONES

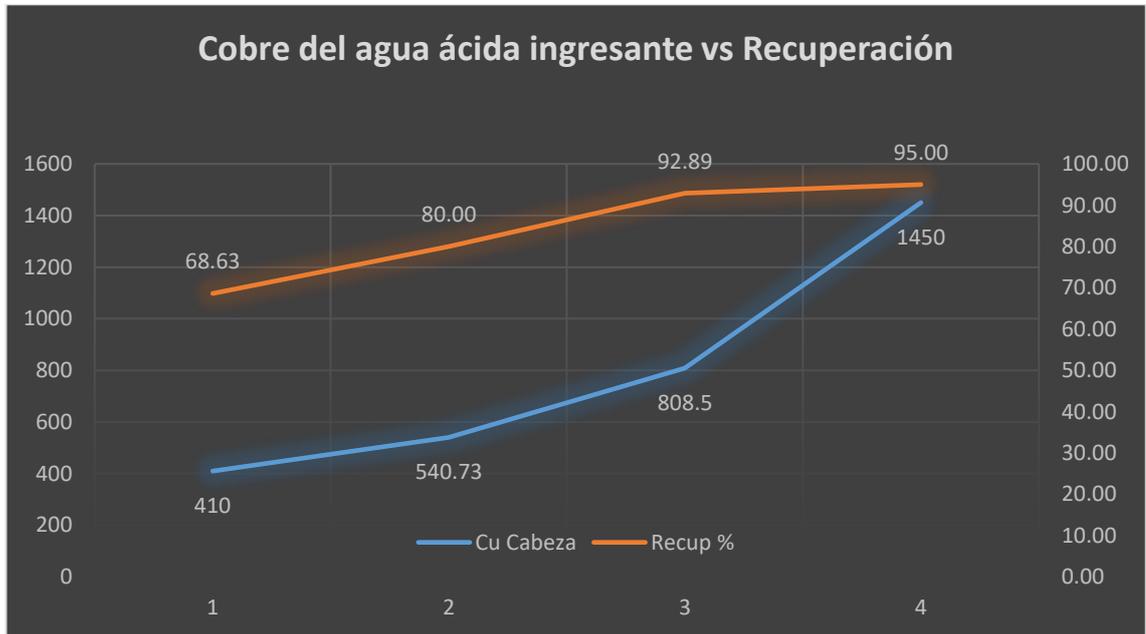
El análisis del proceso de producción de cemento de cobre con chatarra de acero a partir del agua ácida, nos permite concluir:

1. El proceso es viable desde el punto económico.
2. Técnicamente es factible, no necesita un gran esfuerzo de investigación y desarrollo.
3. El proceso es sensible al precio del cobre.
4. La recuperación del cobre presenta un 75 % con 1 573,80 kilogramos por día.



5. El balance de la cabeza de cobre versus la recuperación se presenta de la siguiente manera:

Cu Cabeza	Recuperación %
410	68,63
540,73	80,00
808,5	92,89
1450	95,00



RECOMENDACIONES

1. En cuanto a lixiviación mina es necesario contar a la brevedad con el personal (contrata) necesario para realizar los trabajos de rehabilitación de los accesos a los principales niveles de la mina y así poder continuar con las evaluaciones de las demás galerías y niveles existentes en la mina.
2. Actualmente con la autorización del gerente de Operaciones de la Unidad, se cuenta con el apoyo de dos empleados conocedores de la zona de cobre, estos empleados serían los encargados de controlar los trabajos que realizarían la contrata de ser este el caso, bajo la supervisión directa del suscrito.
3. Desde este momento con autorización del Gerente de Operaciones Cerro, se cuenta con 10 personas para iniciar los trabajos de tendido de tuberías de 8", 4", 2" y de 1" de diámetro en los niveles y galerías que se puedan tener acceso, los cuales fueron en su momento totalmente desmanteladas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Lovera.D, Bustamante. A, Quiñones.J, Puente.L (2005). CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y PRUEBAS METALÚRGICAS EN LA PROSPECCIÓN DE MINERALES POLIMETÁLICOS EN EL COMPLEJO MARAÑÓN – PERÚ. Revista del Instituto de Investigación FIGMMG. Vol. 8, N.º 16: 44-50
2. Lovera.D, Bustamante. A, Quiñones.J, Puente.L (2010). CINÉTICA DE LA REDUCCIÓN CARBOTRÉMICA DE LA CALCOPIRITA DEL COMPLEJO MARAÑÓN – PERÚ. Revista del Instituto de Investigación FIGMMG. Vol. 13, N.º 25: pg. 21-26
3. Puente.L (2002). PRECIPITACIÓN QUÍMICA Y ADSORCIÓN EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES CONTENIENDO METALES DISUELTOS. Vol. 5 N° 09
4. Perez.J.C, (2008). ANÁLISIS TERMODINÁMICO DE ESPECIES CIANURADAS DE ORO, PLATA Y COBRE SOMETIDAS A CEMENTACIÓN CON ZINC Y ALUMNIO. Scientia et Technica Vol XIV, N°38
5. Quiñones, J, (2009). Informe Microscopia Óptica del mineral sulfurado del Marañón

6. Calvo (1983). Cementación de las Soluciones del Ion Tetra brommercuriato. Anales de Química.Vol 83, pag 390 – 393.

7. Landauro, C, (2010). Informe de Caracterización de Difracción de Rayos X (DRX), Fluorescencia de Rayos X (FRX), Espectroscopia Mössbauer (EM).