

800.0847

J. 0847

2005.7

INFORME TÉCNICO FINAL

CODIGO N° 203 – 3681

RECUPERACIÓN DE COBRE DESDE EFLUENTES SULFATADOS ÁCIDOS

**FONDO NACIONAL DE DESARROLLO TECNOLÓGICO Y PRODUCTIVO
FONTEC – CORFO**

IDESOL INGENIEROS S.A.

IDETEC S.A

ENERO 2005

PRESENTACIÓN

En el último decenio, se constata que el país ha sabido enfrentar con éxito el desafío impuesto por la política de apertura en los mercados internacionales, alcanzando un crecimiento y desarrollo económico sustentable, con un sector empresarial dinámico, innovador y capaz de adaptarse rápidamente a las señales del mercado.

Sin embargo, nuestra estrategia de desarrollo, fundada en el mayor esfuerzo exportador y en un esquema que principalmente hace uso de las ventajas comparativas que dan los recursos naturales y la abundancia relativa de la mano de obra, tenderá a agotarse rápidamente como consecuencia del propio progreso nacional. Por consiguiente, resulta determinante afrontar una segunda fase exportadora que debe estar caracterizada por la incorporación de un mayor valor agregado de inteligencia, conocimientos y tecnologías a nuestros productos, a fin de hacerlos más competitivos.

Para abordar el proceso de modernización y reconversión de la estructura productiva del país, reviste vital importancia el papel que cumplen las innovaciones tecnológicas, toda vez que ellas confieren sustentación real a la competitividad de nuestra oferta exportable. Para ello, el Gobierno ofrece instrumentos financieros que promueven e incentivan la innovación y el desarrollo tecnológico de las empresas productoras de bienes y servicios.

El Fondo Nacional de Desarrollo Tecnológico y Productivo FONTEC, organismo creado por CORFO, cuenta con los recursos necesarios para financiar Proyectos de Innovación Tecnológica, formulados por las empresas del sector privado nacional para la introducción o adaptación y desarrollo de productos, procesos o de equipos.

Las Líneas de financiamiento de este Fondo incluyen, además, el apoyo a la ejecución de proyectos de Inversión en Infraestructura Tecnológica y de Centros de Transferencia Tecnológica a objeto que las empresas dispongan de sus propias instalaciones de control de calidad y de investigación y desarrollo de nuevos productos o procesos.

De este modo se tiende a la incorporación del concepto "Empresa - País", en la comunidad nacional, donde no es sólo una empresa aislada la que compete con productos de calidad, sino que es la "Marca - País" la que se hace presente en los mercados internacionales.

El Proyecto que se presenta, constituye un valioso aporte al cumplimiento de los objetivos y metas anteriormente comentados.

FONTEC - CORFO

1 RESUMEN EJECUTIVO

1.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

Idesol Ingenieros S.A. es una empresa creada en Abril del año 1995, a partir de la asociación de cuatro destacados profesionales de la Ingeniería de larga trayectoria en el campo de la Minería, tanto en Areas Productivas, como en Areas de Servicios de Ingeniería y Consultoría. Actualmente Idesol S.A. posee una dotación de 45 profesionales con una capacidad de venta de 7.400 [H-H/mes] de Ingeniería, colocadas en las áreas de Proyectos Integrales de Ingeniería, Construcción y Montaje de Plantas e Investigación y Desarrollo de Tecnología para el Tratamiento de Efluentes, principalmente en la industria minera, tanto metálica como no metálica.

Por otra parte, la entidad ejecutora, IDETEC S.A., inició sus actividades en Febrero del año 2000, a partir del cumplimiento de un objetivo estratégico de Idesol Ingenieros S.A., de crear una organización especializada en el desarrollo de tecnología para el tratamiento y recuperación de residuos de la industria en general. Entre los diversos logros de IDETEC S.A. destaca el diseño y construcción de una planta para el tratamiento de efluentes de la Planta de Filtros de Concentrados de la Minera Los Pelambres en la localidad de Los Vilos, con una capacidad de tratar 25 L/s de efluentes, única a nivel mundial en su diseño y aplicación.

1.2 SÍNTESIS DEL PROYECTO DE INNOVACIÓN

En Chile, producto de la actividad minera, se origina una amplia gama de efluentes o aguas de proceso que contienen cobre disuelto y ácido sulfúrico. Entre estas aguas se cuentan de 50 a 500 l/s, de las llamadas "Aguas Acidas de Mina" que tienen, junto con sulfato y algunos metales, una concentración de cobre entre 0,5 y 3,0 g/l, y que actualmente se vierten en ríos, situación ambientalmente indeseable.

El tratamiento estándar consiste en agregar lechada de cal a las aguas, con lo cual precipitan, en conjunto, la totalidad de los metales y parte importante del sulfato. En consecuencia, el cobre contenido, de 789 a 47.336 ton/año, es retenido junto con los hidróxidos de otros metales y con altas cantidades de sulfato de calcio, resultando prácticamente imposible su recuperación. Si bien este proceso da cumplimiento a la norma ambiental, significa un alto costo, tanto por la inversión requerida como por el consumo de reactivos y el depósito de los sólidos generados.

El proyecto de innovación consiste en la recuperación de cobre desde efluentes ácidos en la forma de CuS, compuesto que se puede retirar mediante separación sólido líquido desde el efluente tratado. De esta manera, por una parte, se da cumplimiento a la norma en cuanto al

parámetro cobre, y por otra, se genera un sólido con alto contenido de cobre (66,7%), transformando el cobre disuelto, que constituye un problema ambiental, en un subproducto de alto valor, cuya venta permite disminuir los costos de tratamiento del efluente.

Si bien el proyecto original contemplaba tanto la generación de sulfhidrato de sodio como la neutralización del efluente tratado, debido al consumo excesivamente alto de reactivos en una de las etapas de neutralización, que hacen inviable económicamente la producción de NaSH, la innovación se restringió sólo a la recuperación de cobre.

1.3 PRINCIPALES RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se ha demostrado la factibilidad técnica de la remoción de cobre disuelto desde efluentes sulfatados ácidos, obteniéndose como subproducto CuS, sólido con un 66,7% de cobre que puede ser comercializado como concentrado de cobre. Los criterios de diseño obtenidos durante el desarrollo de este estudio han servido de base para la ingeniería conceptual para la remoción de cobre en un efluente sulfatado ácido de la minería del cobre, cuyo caudal es de 140 l/s, con un contenido máximo de cobre de 3,62 g/l y de 20,0 g/l de sulfato, considerando también la neutralización, empleando lechada de cal, a fin dimensionar y determinar los costos de una instalación industrial.

A partir de la ingeniería conceptual, para una evaluación económica a 5 años plazo, se desprenden ahorros de hasta US\$ 50.276.330 en relación con el caso base, que representan un 82,5% del costo de dicho caso base, producto de la comercialización de 16.593 toneladas de cobre anuales, recuperadas desde tal efluente. Para el caso que se cita, las inversiones alcanzan los US\$ 16.231.921, y proveen 8 puestos de trabajo directo.

1.4 IMPACTO DEL PROYECTO

- Cumplimiento de la normativa ambiental en cuanto al parámetro cobre, con producción de concentrado de cobre de 66,7%, con alto valor comercial.
- Disminución de los costos de tratamiento de efluentes sulfatados ácidos que contengan cobre, derivado del valor del subproducto CuS.
- Debido a la remoción de cobre disuelto, disminución del volumen de sólidos a depositar en la etapa de neutralización de efluentes sulfatados ácidos empleando tratamiento con lechada de cal, u otro similar.
- Disminución del consumo de lechada de cal.
- Promoción de la imagen corporativa de las compañías que implementen la innovación, tanto por dar cumplimiento a la normativa ambiental como por hacerlo minimizando el impacto sobre el medio ambiente y recuperando materia prima no renovable.

2 EXPOSICIÓN DEL PROBLEMA

2.1 PROBLEMA A RESOLVER

La industria minera en Chile, origina una gran gama de efluentes o aguas de proceso que contienen cobre disuelto y ácido sulfúrico. Puntualmente, se generan del orden de 50 -500 L/s, de Aguas Acidas de Mina que son vertidas sobre ríos y contienen entre 0,5 y 3 g/L de cobre, junto con varios otros metales disueltos y sulfato.

El tratamiento industrial actual para reducir esa contaminación, consiste en neutralizar el efluente con lechada de cal, con lo cual precipitan en conjunto la totalidad de los metales y parte importante del sulfato. El cobre queda precipitado en conjunto con los hidróxidos de otros metales y con altas cantidades de sulfato de calcio, resultando imposible o muy complicada su recuperación. Además del alto costo que demanda este tipo de proceso, genera grandes cantidades de sólidos, que deben ser depositados en algún lugar, resultando esa práctica en otra fuente de contaminación para el medio ambiente.

2.2 OBJETIVO TÉCNICO

Desarrollo de un proceso para tratamiento de aguas ácidas con contenidos de cobre y sulfato, tal que logre la reducción de acidez, reducción de sulfato, la recuperación del cobre contenido y la generación del reactivo sulfhidrato de sodio, de amplio uso en la minería.

2.3 INNOVACIÓN DESARROLLADA

La innovación consiste en un proceso para el abatimiento de cobre desde efluentes ácido como por ejemplo, las Aguas Acidas de Mina, los que son producidos por la industria minera nacional.

Esta innovación se basa en la remoción del cobre mediante su precipitación como CuS , con lo cual este elemento cambia de fase, haciendo posible su remoción desde el efluente tratado mediante un proceso de separación sólido líquido.

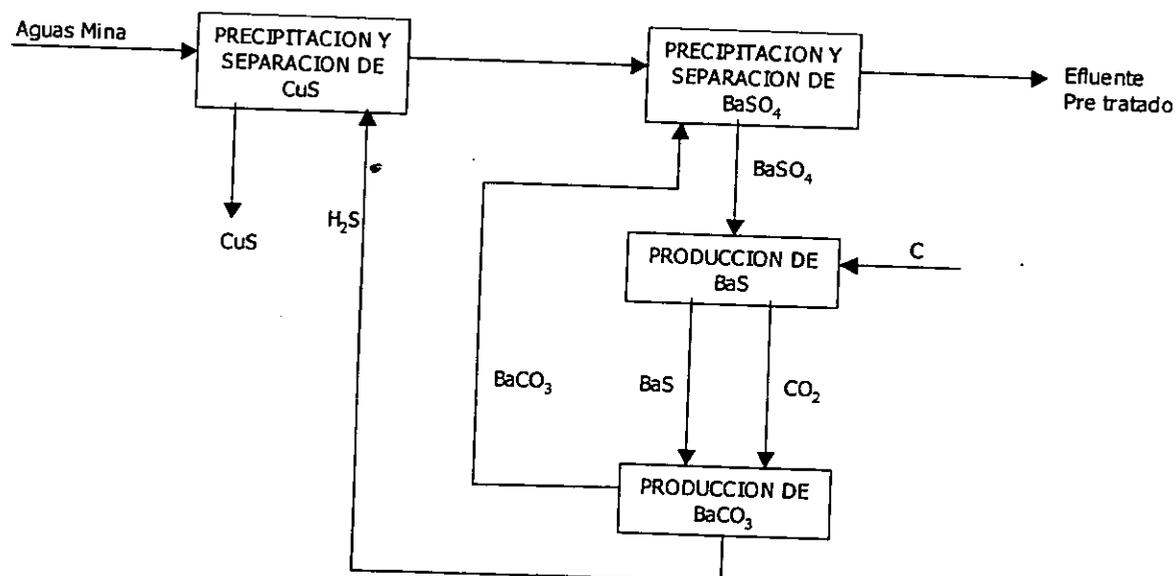
La innovación se traduce en el cumplimiento de la normativa ambiental en cuanto al parámetro cobre, que constituye un problema ambiental, transformándolo en un subproducto de alto valor comercial, lo que permite una drástica reducción de los costos de tratamiento del efluente correspondiente.

3 METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO

3.1 MÉTODOS INVOLUCRADOS

Los métodos empleados para llevar a cabo el estudio propuesto comprenden diferentes tipos de pruebas de laboratorio, análisis químicos, cotejo de resultados con la literatura empleada y con la práctica industrial común, preparación de muestras para proveedores de equipos, etc., a fin de fundamentar una solución técnicamente factible que sea fácil de implementar.

Como el abarca un amplio número de variables, estas se revisan en experimentos que agrupa sólo algunas de ellas, para luego integrarlas entre sí para proponer la solución final. Esquemáticamente, se puede plantear el problema a resolver de la siguiente manera:

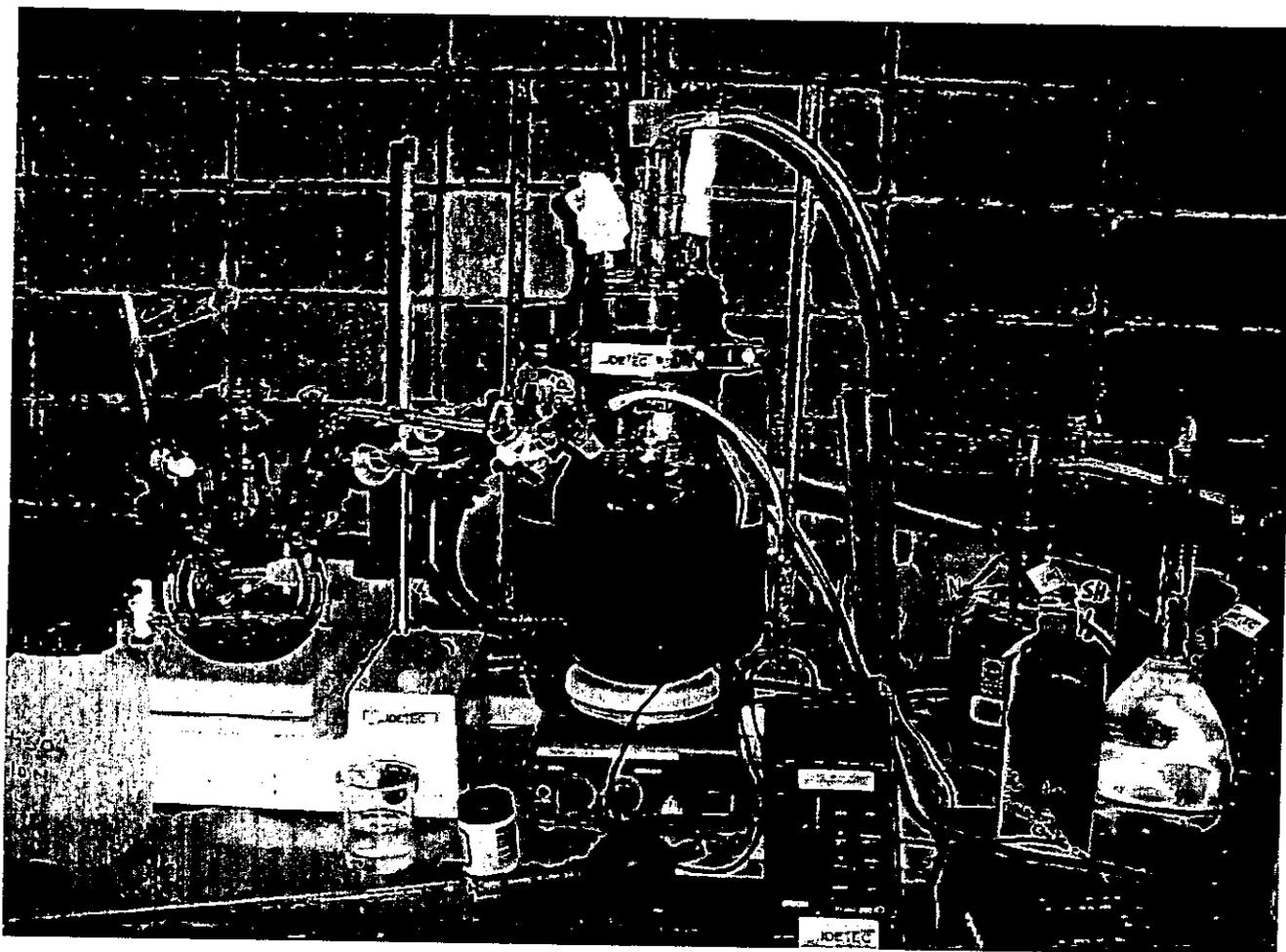


Basándose en el esquema señalado, se determina la realización de las siguientes pruebas de laboratorio, clasificadas de acuerdo con el esquema presentado.

3.1.1 Precipitación y separación de CuS.

Para la precipitación o formación del CuS, se contempló el método el uso de un reactor cerrado provisto de agitadores adecuados, sensores de pH y potencial de óxido reducción. La formación del compuesto se practicó empleando ión sulfuro, proveniente tanto de sulfhidrato de sodio, (ión sulfuro al estado líquido) como con ácido sulfhídrico (ión al estado gaseoso).

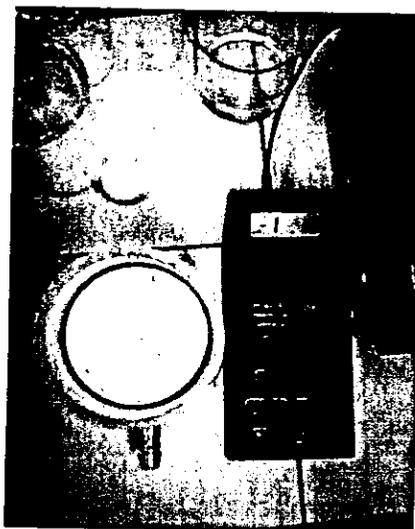
La siguiente figura ilustra el montaje típico para este procedimiento



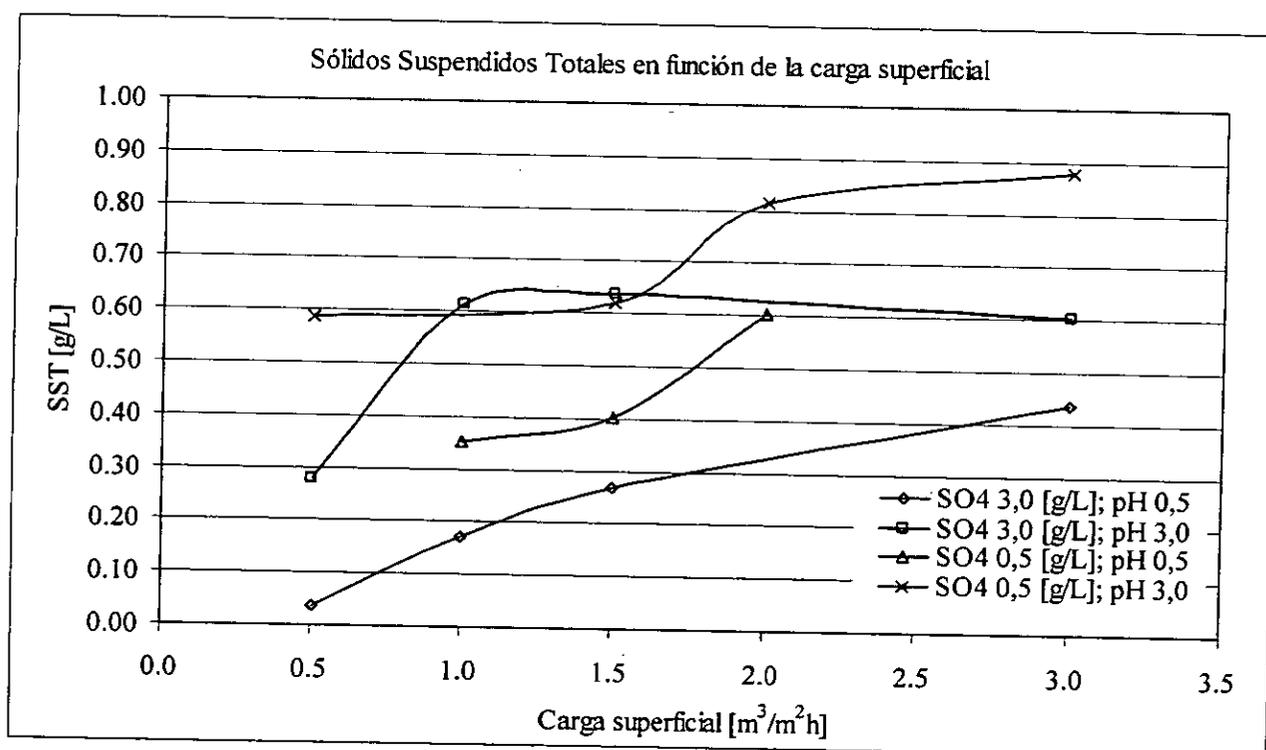
Por otra parte, la separación del CuS contempla pruebas convencionales de separación sólido líquido, tanto ensayos de decantación como pruebas de jarras, determinación de volumen último de compactación en jarro Imhoff, como centrifugación en laboratorio de proveedores de equipamiento industrial. Finalmente, también se envió muestra a proveedores de equipos de filtración.

3.1.2 Precipitación y separación de BaSO_4 .

La formación o precipitación de BaSO_4 contempla un procedimiento análogo al señalado para aquella del CuS , pero en este caso, y debido a que no se producen emanaciones que revistan peligro para el personal de laboratorio, el montaje es bastante más simple, y se presenta en las siguientes fotografías.

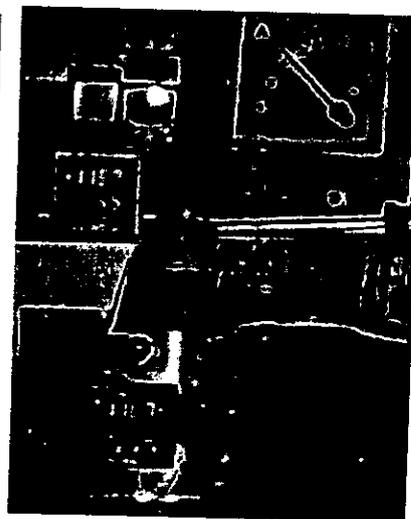
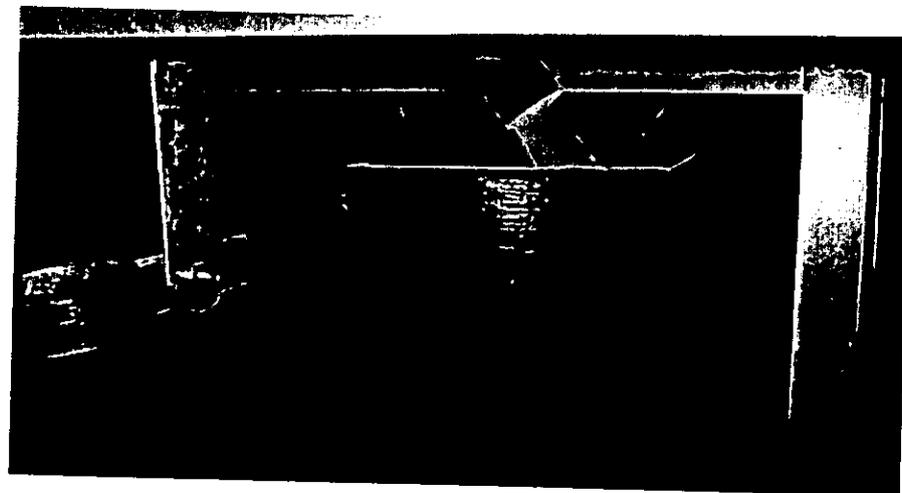
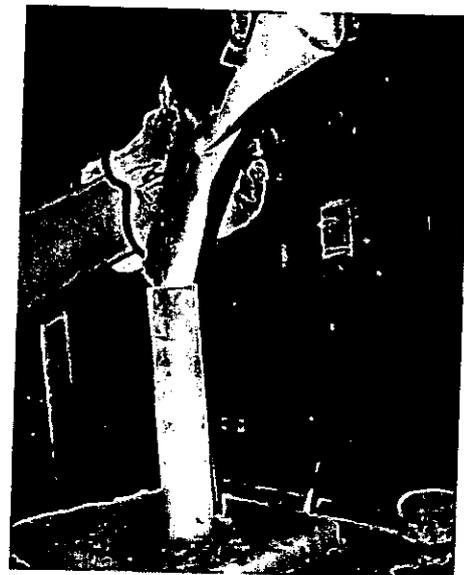
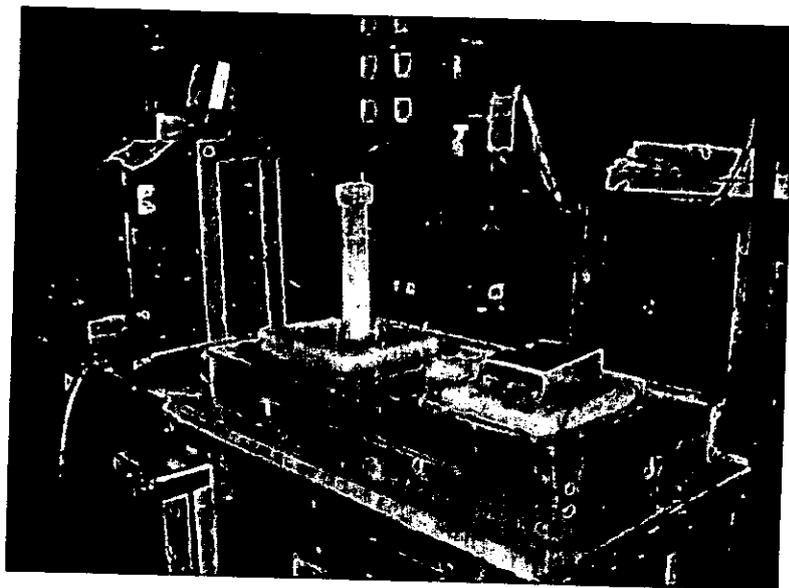


La siguiente gráfica presenta un resultado típico de la etapa de determinación de tasas de sedimentación de BaSO_4 obtenida en el laboratorio.



3.1.3 Producción de BaS.

La producción de BaS a partir del BaSO₄ formado en la etapa anterior contempla el uso de hornos de reducción en la Universidad de Chile, bajo diferentes condiciones de proceso, para determinar los mejores puntos de operación. En cuanto al análisis de resultados, se emplea la redisolución, bajo campana y cuidando la emisión de gases, del producto obtenido en el horno. Las siguientes fotografías ilustran el trabajo experimental de esta etapa.



3.1.4 Producción de BaCO₃.

Para la producción de este compuesto, se emplea un equipo análogo al de la precipitación de CuS, compuesto de dos secciones idénticas, para incorporar de manera controlada anhídrido carbónico a una solución de BaS, con lo cual se genera una corriente de H₂S que es introducida en la segunda unidad, donde hay una solución de cobre que, al paso del gas sulfhídrico reacciona formando CuS.

3.1.5 Resumen de métodos empleados

En resumen, para las distintas etapas del estudio se emplean métodos de reacción química en reactor perfectamente agitado, separación sólido líquido en pruebas de jarra y de compactación en cono Imhoff, reacción química de reducción en horno adecuado, disolución de productos formados, y reacción química líquido-gas en reactores perfectamente agitados.

Por otra parte, para el análisis y control de las reacciones químicas y sus resultados, se empleó análisis por espectroscopia de absorción atómica, análisis por espectroscopia de emisión, volumetrías, gravimetrías, mediciones potenciométricas de pH, potencial de óxido reducción e ión sulfuro, y otros métodos comunes al uso y costumbre de laboratorio.

3.2 MECANISMOS DE ANÁLISIS DE RESULTADOS

La principal fuente de resultados son los diferentes estudios experimentales, que generan conjuntos de datos en función de las preguntas planteadas. En general, los resultados obtenidos son adecuados, y se encuentran en los rangos esperados, pero la calificación final sobre su calidad está dada por la integración de estos conjuntos de datos con las demás etapas del proceso global.

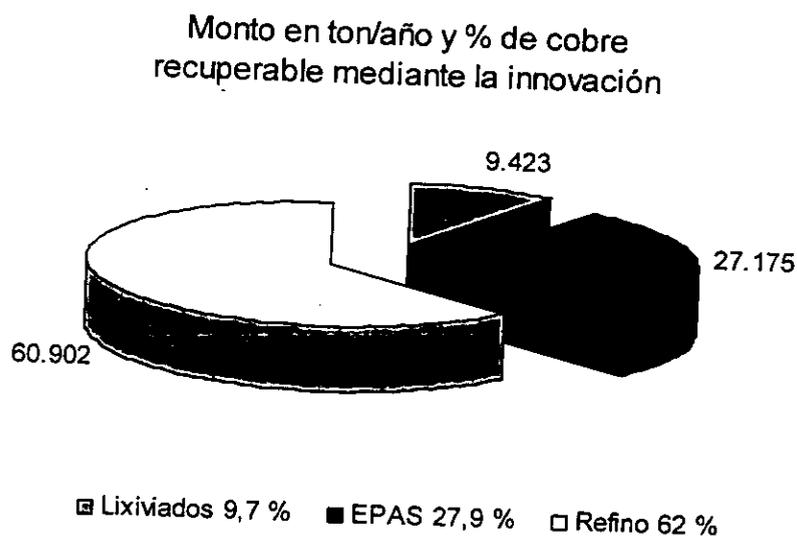
En consecuencia, el mecanismo de análisis de resultados es el análisis de los datos experimentales, enfocándolos hacia la determinación de los equipos industriales necesarios para llevar a cabo, en escala real, los procesos estudiados.

Debido además a que se trata de un conjunto de estudios individuales que convergen hacia una solución que los integra, también se analizan los datos experimentales en función de sus impactos en las etapas posteriores del proceso integral a escala real.

3.3 FUENTES DE INFORMACIÓN CONSULTADAS

Las fuentes de información consultadas contemplan colecciones de literatura técnica en bibliotecas, bases de datos de publicaciones especializadas internacionales, y los sistemas nacional e internacional de patentes de invención. También se incluyen en esta categoría los antecedentes recopilados durante la etapa de prospección, información que permite dimensionar el tamaño potencial del mercado para la innovación.

Como producto de tales búsquedas, se recopilan 44 patentes de invención y 10 artículos en publicaciones científicas especializadas, además de múltiples antecedentes fisicoquímicos relacionados con las reacciones químicas involucradas. Por otra parte, a partir de la etapa de prospección se determina que el tamaño del mercado es de 97.500 ton/año de cobre, distribuidos en efluentes lixiviados, efluentes de plantas de ácido, y efluentes de refino.



3.4 PLAN DE TRABAJO EJECUTADO

La siguiente carta Gantt presenta el desarrollo cronológico de las distintas etapas del proyecto.

ACTIVIDAD / meses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Programación Fina de Pruebas a Realizar												
Detección/Contacto con Usuarios Potenciales	■	■										
Análisis Bibliográfico de Procesos												
Estudio de Laboratorio												
Precipitación y Sep. S/L de CuS.			■	■	■							
Precipitación y Sep. S/L de BaSO ₄				■	■	■	■					
Informe de Avance												
Reducción de BaSO ₄					■	■	■	■				
Producción/reutiliz. H ₂ S y BaCO ₃								■	■	■	■	
Elaboración Informe de Avance												
Diseño Conceptual y Evaluación Económica												
Elaboración Informe Final												

4 RESULTADOS OBTENIDOS

4.1 PRINCIPALES RESULTADOS

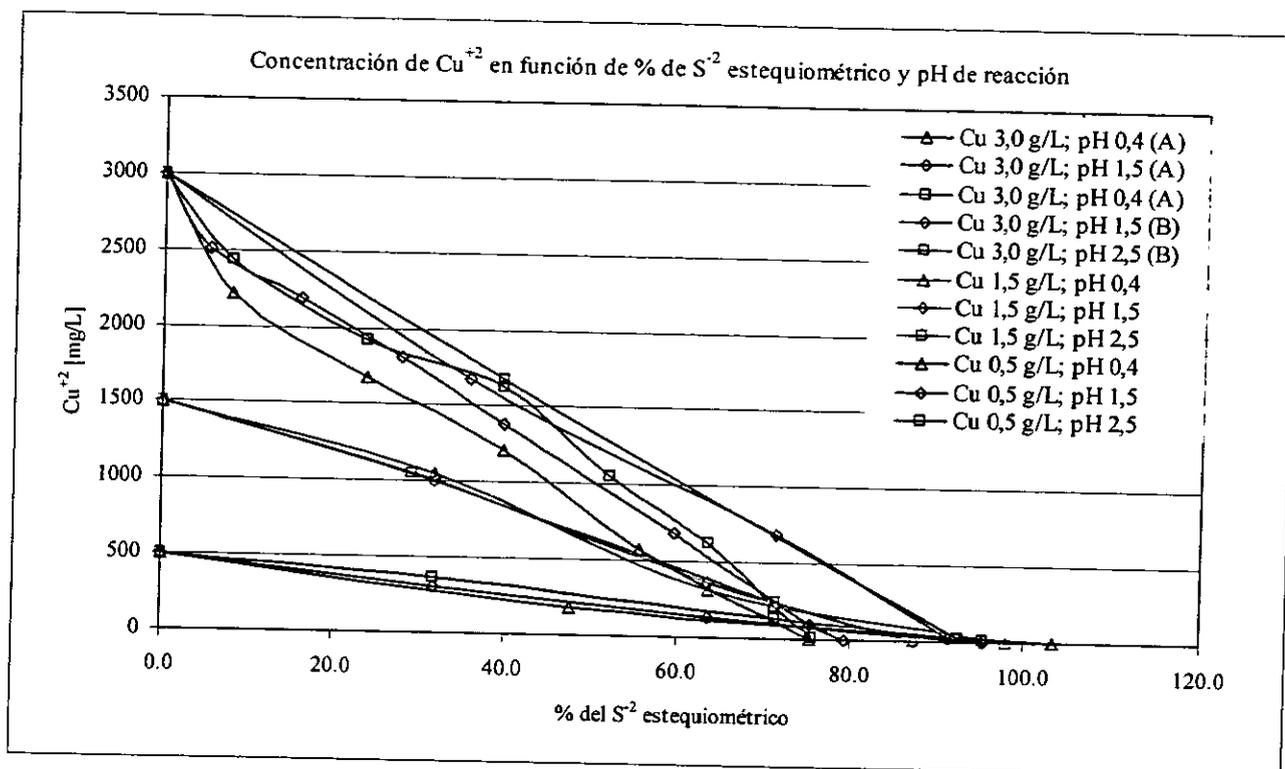
El principal resultado de este estudio es la Ingeniería Conceptual "Recuperación de Cobre desde Efluentes Sulfatados Ácidos", informe que se adjuntó, para un efluente de la División Andina de Codelco Chile, que permite estimar los costos de inversión y de operación de una instalación capaz de tratar un efluente mediante la innovación desarrollada.

Para llevar a cabo dicha ingeniería, es necesario contar con información acabada sobre los diferentes parámetros de diseño de todo el equipamiento involucrado. Estos parámetros se obtienen, en buena medida, del estudio experimental apoyado por CORFO-FONTEC que aquí se informa. Se presentan a continuación los diferentes resultados, que permiten.

4.1.1 Estudio de precipitación, separación sólido – líquido por sedimentación y filtración de CuS.

La precipitación de cobre en concentraciones de hasta 3,0 gramos por litro, desde soluciones ácidas empleando ion sulfuro es técnicamente factible para el rango de valores de pH desde 0,4 hasta 2,5, tanto si se emplea una fuente líquida como una fuente gaseosa. Además se ha observado que los valores de los parámetros de operación de una precipitación como la que se estudia son estables, replicables, y que las cinéticas de reacción son relativamente rápidas, bastando entonces menos de 20 minutos de residencia para la reacción total. En cuanto al tiempo de residencia adicional, una vez que se ha completado la reacción, se observa una cierta tendencia a la redisolución del producto obtenido.

La gráfica siguiente presenta el resultado de la precipitación o formación de CuS desde efluentes que contienen cobre disuelto a diferentes valores de pH.



Por otra parte, las características de los sólidos de la suspensión son fuertemente dependientes del pH al que se realiza la precipitación. La separación del producto obtenido es posible empleando sedimentación asistida con un floculante, con tasas de sedimentación del orden de 2 [$\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$]. En cuanto a la filtración, se verifican tasas de filtración del orden de 150 [$\text{kg}/\text{m}^2\text{h}$].

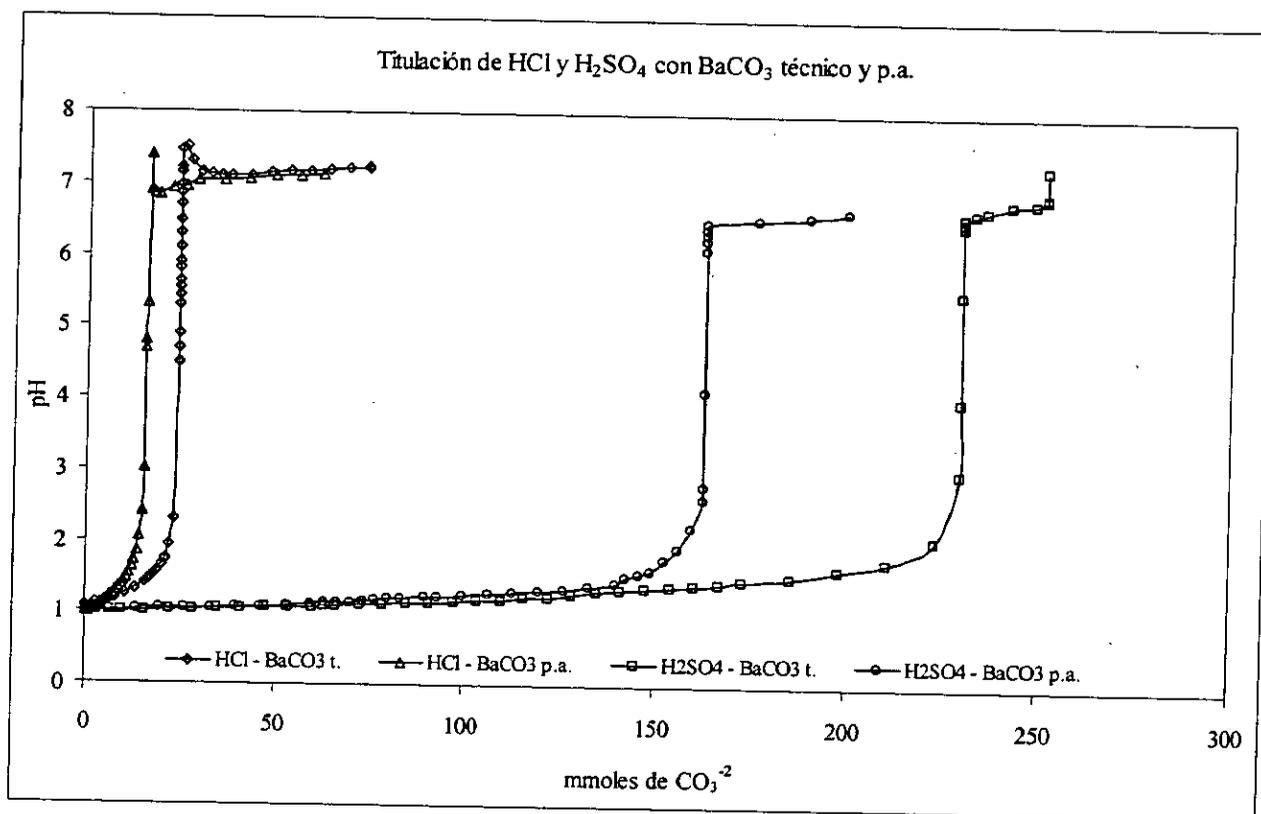
En el caso en que se cuente con efluentes en los cuales también hay hierro y/o arsénico, se observa que no es posible obtener un producto libre de arsénico, mientras que en el caso del hierro esta precipitación es selectiva.

Finalmente, en el caso de la aplicación a efluentes reales, se observan resultados de acuerdo con los comportamientos observados en los experimentos individuales, confirmado entonces la aplicabilidad industrial de esta etapa.

4.1.2 Estudio de precipitación de BaSO_4 y separación sólido líquido de BaSO_4 .

La remoción de SO_4^{-2} empleando sales de bario resulta técnicamente factible, encontrándose tiempos de reacción favorables para las dos sales estudiadas, por lo general menor para BaCl_2 que para BaCO_3 . En el caso del BaCl_2 , esta precipitaciones ocurre con una eficiencia sobre el 99%, de manera independiente del pH. En el caso del carbonato de bario, BaCO_3 , la eficiencia se encuentra entre 20 y 80%, a pH superior a 3,0.

Al momento de la preparación del informe técnico número 2, se había encontrado que la eficiencia de la precipitación de BaSO_4 empleando BaCO_3 a pH 0,5 la era del orden de 99%, y que además esta ocurría a una tasa de reacción elevada, bastando muy poco tiempo para la precipitación total. Sin embargo, durante las etapas posteriores de integración de la solución, se tuvo gran dificultad para reproducir estos resultados, realizándose un extenso número de pruebas, con reactivo BaCO_3 de diferente procedencia y grado de pureza. Desafortunadamente, se determina que la precipitación de BaSO_4 empleando BaCO_3 no es factible técnicamente, pues los consumos reales se alejan por un factor 2,6 a 4,0 del resultado teórico, lo que impide su aplicación práctica. La gráfica siguiente refleja la situación.



El gráfico representa el abatimiento de SO_4 considerando diferentes situaciones, comparándola además con el aporte de carbonato a una solución de ácido clorhídrico, para evaluar la condición de reacción del carbonato contenido, reacción de cierta analogía con el comportamiento teórico esperado.

Por otra parte, en el caso en que el efluente también contenga aluminio, se observa una co-precipitación de este elemento en conjunto con el sulfato de bario, que corresponde con alrededor del 20% del contenido inicial.

En cuanto a la distribución de tamaños, esta muestra una mayor proporción de partículas más grandes cuando se emplea cloruro de bario. En cuanto a la separación sólido líquido, se encuentra que es posible emplear sedimentación asistida con floculante, en dosis bastante bajas, menores a 10 [mg/L]. En estas condiciones, las velocidades de sedimentación deben ser menores que 1,0 [m³/m²h].

Finalmente, la filtración de este producto, sin ayuda filtrante y sin floculante se puede realizar a una tasa de 100 [L/m²hr].

4.1.3 Reducción de BaSO₄ a BaS

Los resultados muestran la factibilidad técnica de la reducción de barita a sulfuro de bario empleando un horno de reducción y carbón como reductor y combustible. Se investigan diferentes tasas de adición de carbón, desde 12,5 a 33% y temperaturas desde 950 a 1.150 °C. Para estas diversas condiciones se obtienen conversiones entre 60 y 75%.

4.1.4 Estudio Producción y Reutilización de H₂S y BaCO₃

También en este caso los resultados muestran que es técnicamente factible la producción de BaCO₃ empleando CO₂ y, de manera simultánea emplear el H₂S generado en la remoción de cobre desde soluciones problema. En este caso, avanzando hasta un pH de alrededor de 6,0 se verifica una conversión de 26,5%.

4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.2.1 Factibilidad técnica

El conjunto de resultados muestran que es técnicamente factible la formación, precipitación y separación de CuS desde efluentes ácidos que lo contengan, y que, en función de otros elementos presentes, el CuS obtenido puede tener un alto grado de pureza, con lo cual se puede obtener, mediante filtración posterior un sólido con un contenido de hasta 66,7% de cobre.

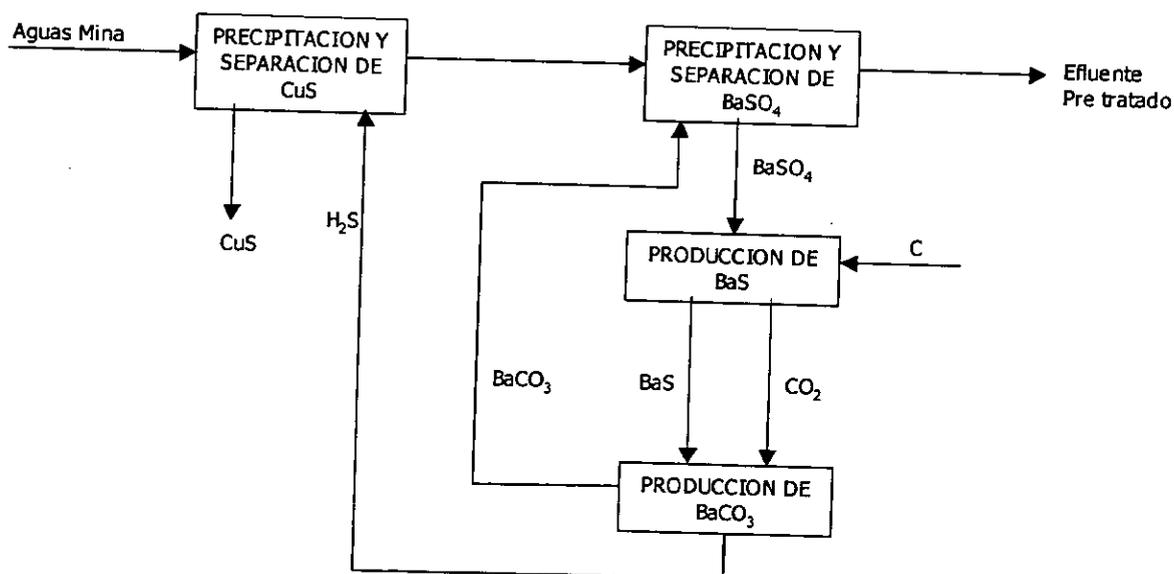
En cuanto a la formación, precipitación y separación sólido líquido de BaSO₄, esta también es técnicamente factible a valores de pH bajos, empleando sales de bario del tipo cloruro (BaCl₂). Sin embargo, y muy desafortunadamente para el estudio en general, no resulta replicable la formación y precipitación de BaSO₄ empleando sales carbonato (BaCO₃), pues se encuentran resultados dispares, con relaciones entre el consumo real y el estequiométrico que van de 1,2 a 4,0, concentrándose los resultados experimentales en valores de esta relación entre 2,6 y 4,0.

Por otra parte, resulta técnicamente factible la producción de BaS a partir de BaSO₄, empleando un horno de reducción diseñado especialmente para este producto.

En cuanto a la producción de BaCO₃ y de H₂S, los resultados experimentales también muestran que es técnicamente factible.

4.2.2 Integración de los resultados parciales y proceso conjunto

Como se recordará, el proceso global se puede separar en las etapas presentadas en el siguiente esquema:



Los resultados muestran que son técnicamente viables tres de las cuatro etapas presentadas. La precipitación de BaSO₄ a partir de BaCO₃ no es replicable, debido a la alta variabilidad del consumo de reactivo en relación con el consumo estequiométrico respectivo.

Tratándose de una etapa principal, se buscan soluciones alternativas, como por ejemplo, el reemplazo de la sal BaCO₃ por otra como BaCl₂, sin embargo, en el caso particular para el cual se proyecta la ingeniería conceptual, no es posible emplear este compuesto debido a su aporte de ión cloruro (Cl⁻), que causaría incumplimiento de la norma precisamente por este ión.

En consecuencia, debido a que no es posible reemplazar la etapa, se plantea una solución parcial, que permite reducir los costos de la neutralización tradicional. Como se observa en el esquema de proceso, el resultado de este conjunto de procesos es un efluente pre-tratado, que debe ser posteriormente procesado mediante neutralización con lechada de cal.

Como es conocido en la industria, el proceso con lechada de cal aumenta el pH de la solución tratada, llevando gran parte de los metales presentes a los hidróxidos correspondientes, y formando sulfato de calcio, que precipita en conjunto con los hidróxidos de los metales. Este proceso es de alto costo, principalmente debido al costo de la cal.

Por otra parte, en este estudio se ha demostrado la factibilidad técnica de la recuperación de cobre desde efluentes ácidos, resultando entonces natural integrar la etapa de abatimiento de cobre de esta innovación con la neutralización empleando lechada de cal, integración que tendrá un resultado económico que dependerá fuertemente del contenido de cobre y de sulfato en el efluente tratado.

En consecuencia, debido a los problemas observados en una de las etapas del proceso original, se propone una innovación consistente en la remoción de cobre desde efluentes ácidos que lo contengan, su separación como corriente de procesos individual, para luego aumentar el valor del pH y precipitar, en conjunto con sulfato de calcio, los demás elementos presentes en el efluente. Esta solución, si bien no es tan innovadora como lo planteado en la propuesta inicial, tiene la enorme ventaja de disminuir drásticamente los costos inherentes a la neutralización con lechada de cal.

4.3 CONCLUSIONES

Se ha desarrollado y validado un proceso de abatimiento de cobre disuelto en efluentes sulfatados ácidos, determinándose todas las variables necesarias para proyectar este proceso en instalaciones de nivel industrial.

Se ha aplicado la innovación a un caso en particular, preparándose una ingeniería conceptual para un caudal de 140 l/s, con un contenido de sulfato de 20 g/l y de cobre de 3,82 g/l a partir del cual se recuperan alrededor de 16.600 ton/cobre por año. Al evaluar esta situación para un horizonte de 5 años, considerando una tasa de interés del 5%, el costo total actualizado de la neutralización tradicional (esto es, considerando neutralización con lechada de cal) del la corriente pasa de US\$ -60.956.618 a sólo US\$ -10.680.288 al considerar la recuperación de cobre.

Por otra parte, como ya se ha planteado, debido a los problemas encontrados en una de las etapas del proceso de neutralización, no se pudo completar la innovación como se esperaba. Si bien esto significó no emplear cierto grupo de operaciones ya estudiadas, los indicadores económicos de la innovación siguen siendo auspiciosos

5 IMPACTOS DEL PROYECTO

5.1 IMPACTOS TÉCNICOS

En lo técnico, la innovación permite la transformación de un contenido de cobre en un efluente, que normalmente es tratado como un contaminante, en un subproducto con un alto valor de comercialización.

Sin embargo, y tal como se ha señalado anteriormente, debido a los problemas encontrados en una de las etapas, la producción de sulfhidrato de sodio no es posible, por lo que se debe incurrir en su compra. Si bien esto es más costoso que el concepto originalmente planteado, sigue siendo técnicamente factible.

Por otra parte, y también debido a los problemas encontrados, la planta de tratamientos propuesta se simplifica en gran medida, pues ya no se integran los equipos precipitación y separación de $BaSO_4$, el de producción de BaS y el de producción de $BaCO_3$.

En consecuencia, la implementación técnica de la solución contempla equipamiento industrial ampliamente conocido, lo que permite que la solución sea rápidamente comprendida por la empresa que la contemple, disminuyendo la incertidumbre sobre la misma. En cuanto a las dimensiones de los equipos que permiten implementar la solución, estas dependerán principalmente del caudal a tratar, teniendo en cuenta que no se requieren grandes tiempos de residencia.

5.2 IMPACTOS ECONÓMICOS

Los impactos económicos derivados de esta innovación se comprenden en función de su comparación con la solución empleada comúnmente en la industria Minera. Por lo tanto, se presenta a continuación el caso base señalado en la postulación a este financiamiento, consistente en el tratamiento de aguas mina de División Andina para las siguientes condiciones:

Caudal	: 100 L/s
Cobre contenido	: 1,0 g/L
Sulfato	: 6,5 g/L

Empleando esta información, se estima el consumo de reactivos y la producción de sólidos para el abatimiento de metales y sulfato en base a precipitación con lechada de cal. El valor del

subproducto en este caso es cero pues el cobre queda integrado a la masa total de sólidos producidos en un etapa, sin posibilidad de ser recuperado.

Sin embargo, a diferencia del Caso Innovativo presentado en su oportunidad, no se consideran el consumo de carbón, insumo necesario para una de las etapas que ahora no se incluyen en la innovación. Debe hacerse notar que el valor asignado al sólido producido está conforme a las directivas económicas de la División Andina de Codelco Chile.

Caso Base.

INDICADOR	MONTO	UNIDAD
Consumo de Cal (Ca(OH) ₂)		24 ton/día
Costo Cal	1.314.900	US\$/año
Recuperación Cu		0 US\$/año
Sólidos a confinar (CaSO ₄ , Cu(OH) ₂ , Al (OH) ₃ , Fe(OH) ₂)		25 ton/día

Caso Innovativo

INDICADOR	MONTO	UNIDAD
Consumo de Cal (Ca(OH) ₂)		16 ton/día
Costo de Cal	876.600	US\$/año
Costo de NaSH	2.365.578	US\$/año
Recuperación Cu		3.103 T/año
Ingresos por venta de Cu recuperado	4.825.165	US\$/año
Sólidos a confinar		12,5 ton/día

Empleando el desarrollo de la ingeniería conceptual, es posible estimar adecuadamente el valor actualizado de la inversión requerida y de los costos e ingresos del proceso innovativo para este mismo caso. Esta información se presenta a continuación, tal como en la propuesta, para un horizonte de 15 años.

Flujo de caja en M\$, a 15 años plazo, considerando una tasa del 12%. Se debe hacer notar que este flujo de cajas considera la operación de un servicio de tratamiento de efluentes para La división Andina de Codelco Chile.

ITEM	AÑO									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
INGRESOS										
Producción (un/año)										
Precio (\$/año)										
Total Ingresos (Tarifa por servicio) M\$		5.389.857	5.389.857	5.389.857	5.389.857	5.389.857	5.389.857	5.389.857	5.389.857	5.389.857
Otros Ingresos		0	0	0	0	0	0	0	0	0
INGRESOS TOTALES (1) M\$		5.389.857	5.389.857	5.389.857	5.389.857	5.389.857	5.389.857	5.389.857	5.389.857	5.389.857
EGRESOS										
Costos Variables de Producción		3.299.128	3.299.128	3.299.128	3.299.128	3.299.128	3.299.128	3.299.128	3.299.128	3.299.128
Costos Fijos de Producción		124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800	124.800
Costos de ventas			0	0	0	0	0	0	0	0
Gastos generales de Administración		14.400	14.400	14.400	14.400	14.400	14.400	14.400	14.400	14.400
Depreciación y amortización (3)		2.037.604	2.037.604	2.037.604	2.037.604	2.037.604	2.037.604	2.037.604	2.037.604	2.037.604
EGRESOS TOTALES (2) M\$		5.475.932	5.475.932	5.475.932	5.475.932	5.475.932	5.475.932	5.475.932	5.475.932	5.475.932
Utilidad antes de impuesto (1-2)		-86.075	-86.075	-86.075	-86.075	-86.075	-86.075	-86.075	-86.075	-86.075
Impuesto a las utilidades (15%)		-12.911	-12.911	-12.911	-12.911	-12.911	-12.911	-12.911	-12.911	-12.911
UTILIDAD (d. de impuesto) (4)		-73.164	-73.164	-73.164	-73.164	-73.164	-73.164	-73.164	-73.164	-73.164
INVERSIONES										
Proyecto de Innovación tecnológica	250.000									
Inversiones en activos	8.682.360									
Costos Puesta en Marcha	140.000									
TOTAL INVERSIONES (5) M\$	9.072.360									
FLUJO DE CAJA (4+3-5)	-9.072.360	1.964.441	1.964.441	1.964.441	1.964.441	1.703.970	1.703.970	1.703.970	1.703.970	1.703.970
Actualización de flujos										
VAN (12%)	3.240.424									
TIR	19%									

5.3 MECANISMOS DE IMPLEMENTACIÓN

El mecanismo de implementación de la innovación será la presentación y postulación del proceso desarrollado a diferentes empresas que enfrentan esta problemática ambiental, u otras de tipo similar.

En una primera etapa, se contactarán ciertas empresas, ya determinadas durante la prospección del mercado, presentándoles la innovación, para, si es necesario, realizar pruebas piloto y/o estudios conducentes a la implementación de la tecnología desarrollada con el aporte de CORFO-FONTEC.

Como resultado, IDESOL S.A. espera comprometer contratos de diverso tipo, por ejemplo, llave en mano, servicio de descontaminación o B.O.T. (Build, Operate & Transfer), el cual, normalmente, es definido por el cliente al momento de llamar a licitación.