
**DESAFÍO: MONITOREO EN PROFUNDIDAD DE
HUMEDAD Y TEMPERATURA EN PILAS DE
LIXIVIACION-VERSION 2**

División Radomiro Tomic de CODELCO

Especificación de Problema Desafiante

Jul 2015

Rev. (1)

TABLA DE CONTENIDOS

1 _ Descripción General	3
2 _ Problema Desafiante	4
3 _ Propósito del Presente Documento.....	5
4 _ Descripción General del Problema.	5
4.1 Descripción General del Problema Desafiante.....	5
4.2 Antecedentes técnicos del Problema.....	5
4.3 Situación o estado del arte en la industria minera.....	7
4.4 Unidades internas y entidades externas participante e involucradas	9
4.5 Alcances y Plazos de la solución Propuesta	9
5 _ Estrategia de Solución del Problema	9
6 _ Costos y Beneficios asociados a la ocurrencia del problema a su posible solución.....	10
7 _ Identificación y Requerimientos de las Partes Interesadas.....	11
7.1 Organización de CODELCO para el Proyecto	11
7.2 Partes interesadas.....	11
7.3 Requerimientos críticos.....	11
7.4 Indicadores claves de desempeño estimados.....	12
7.5 Análisis de riesgos.....	12

Sección

I El Programa de Proyectos-Cluster

1 Descripción General

El desarrollo de Proyectos Cluster en la Dirección de Implementación y Transferencia Tecnológica GTI de la Corporación Nacional del Cobre de Chile es una iniciativa inserta en el marco del Programa Desarrollo de Proveedores de Clase Mundial de CODELCO, cuyo objetivo es contar con proveedores de clase mundial para la minería chilena y del mundo, originados en nuestro país.

CODELCO postula que el desarrollo de proveedores de clase mundial puede hacerse de manera más efectiva y eficiente, alineando los intereses de los proveedores con aquellos de las compañías mineras y los de la nación. En efecto:

- Al país le interesa avanzar hacia el desarrollo pleno, generando crecimiento económico y empleos sustentables, que agreguen valor a los recursos naturales de que dispone.
- A las compañías mineras, entre ellas CODELCO, les interesa mejorar sus procesos, aumentando eficiencia y productividad, reduciendo costos y contando para ello con una base amplia de proveedores altamente competitivos en un contexto global, pero que entiendan las particularidades regionales y locales y prioricen los requerimientos de la minería nacional.
- A los proveedores de la minería les interesa aumentar su eficacia y eficiencia, mejorando su productividad y competitividad, y creciendo de manera sustentable para competir con éxito en el mercado mundial.

La Dirección de Implementación y Transferencia Tecnológica GTI concilia los intereses descritos, promoviendo el desarrollo de proyectos entre CODELCO y los proveedores con un enfoque asociativo, en los cuales se aborda de manera conjunta el diseño y construcción de la solución a un “Problema Desafiante” detectado en algún área de la Corporación; en forma tal que dichos proyectos resuelven tales problemas, pero a la vez construyen capacidades y competencias en los proveedores que se pueden traducir en más y mejores oportunidades de negocios para éstos. Así, mediante la ejecución de una serie sucesiva de Proyectos-Clúster, acompañada de un plan para diagnosticar competencias y cerrar brechas, el proveedor recorre -con la colaboración de CODELCO- su “Ruta hacia la Clase Mundial”, que lo posicionará entre los proveedores más competitivos en un contexto global.

El Programa de Proyectos-Clúster de CODELCO está abierto a todos los proveedores de la minería, independientemente de su tamaño u origen, que estén interesados y dispuestos a priorizar la instalación en Chile de capacidades de diseño, ingeniería, fabricación, producción o adaptación de soluciones, productos o servicios para la minería; de tal forma que esa actividad agregue localmente un valor significativo, desarrolle competencias en nuestro país y lo posicione como plataforma exportadora de tales bienes y servicios a la minería mundial.

2 Problema Desafiante

En el contexto del Programa de proveedores de Clase Mundial de CODELCO, un “Problema Desafiante” se define como sigue:

- Problema significativo que afecta a un proceso de negocio Divisional, cuya solución puede lograrse vía un trabajo colaborativo con uno o más proveedores.
- Es un problema que debiera resolverse en un horizonte de tiempo de 12 a 24 meses.
- Es un problema cuya solución es replicable y/o escalable, ofreciendo con ello oportunidades al proveedor que lo resuelva.
- El desarrollo o la implantación de la solución debe usar o dejar instaladas en Chile capacidades significativas de diseño, ingeniería y/o fabricación nacional.
- La solución debe tener el potencial de contribuir al desarrollo del proveedor o de su filial local, como parte de su ruta hacia la clase mundial.
- La solución del problema conlleva beneficios, ya sea en términos de agregación de valor económico (vía gestión de costos o crecimiento) o de sustentabilidad, en cualquiera de sus dimensiones.

Sección

II**Especificación del Problema****3 Propósito del Presente Documento**

Este documento tiene como propósito describir el Problema Desafiante: **Monitoreo en Profundidad de Humedad y Temperatura en Pilas de Lixiviación- 2** en su segunda versión, de División Radomiro Tomic a proveedores invitados por CODELCO para la preparación de una propuesta para desarrollar un Proyecto-Cluster que permita dar solución al desafío, y signifique un progreso para el proveedor en su Ruta hacia la Clase Mundial.

4 Descripción General del Problema.**4.1 Descripción General del Problema Desafiante**

Basados en las tecnologías disponibles en el mercado, que son utilizadas en los procesos de lixiviación o biolixiviación en pilas, se requiere monitorear en profundidad mayor a 1 metro, todas las variables que influyen en los rendimientos del proceso y garantice que la forma de realizar el mismo será con la mínima intervención en el proceso para la toma de los datos; ***esto significa, debe considerar solamente aquella participación directa de personas, requerida para el montaje inicial del equipo necesario para las pruebas exploratorias iniciales***.

Actualmente se realizan mediciones, sin embargo estas tienen el objetivo de controlar alguna variable en particular, sin considerar que todas están en un grado u otra relacionadas entre sí, tal como se describe a continuación. La división no cuenta con una infraestructura de comunicaciones inalámbrica para equipos y dispositivos, que evite el uso de cables y la intervención humana sobre las pilas, hoy en día para la mayoría de las mediciones que se realizan se usa equipamiento que se debe montar y realizar por personas sobre la pila, lo cual es inviable para la tecnificación que estas mismas requerirán en el futuro.

4.2 Antecedentes técnicos del Problema

La Lixiviación es un proceso de carácter hidrometalúrgico, que consiste en la obtención de cobre que se encuentra en minerales oxidados, los cuales son separados a través de la aplicación de una disolución de ácido sulfúrico y agua. Los subprocesos que se realizan en la lixiviación son:

Primera etapa: Lixiviación en pilas

El material que se extrae de la mina, principalmente a rajo abierto, que contiene minerales oxidados de cobre, es fragmentado mediante el chancado primario y secundario, y cuyo objetivo es

obtener un material mineralizado de un tamaño máximo de 1,5 a 0,75 pulgadas. Este tamaño es suficiente para dejar expuestos los minerales oxidados de cobre a la infiltración de la solución ácida.

Formación de la pila: el material chancado es llevado mediante correas transportadoras hacia el lugar donde se efectuara la formación de 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 con ranuras) que permiten recoger las soluciones que se infiltran a través del material.

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, la cual 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, que es recogida por el sistema de drenaje y llevada fuera del sector de las pilas en canaletas impermeabilizadas. De este proceso se llegará a obtener soluciones de sulfato de cobre con concentraciones de hasta 9 gramos por litro (gpl) denominadas PLS, las cuales serán llevadas a diversos tanques donde se realizará una purificación de éstas, eliminando las partículas sólidas que pudiese contener.

Fuente: https://www.codelcoeduca.cl/Movil/pr_lixiviacion.asp

Las variables que pueden ser obtenidas desde los sistemas y dispositivos son las descritas a continuación:

- Condiciones atmosféricas como presión, humedad, temperatura
- Parámetros del Aire de ventilación de las Pilas,
- Parámetros del interior de la pila, T°, Concentraciones de Oxígeno, CO₂, flujos.
- Parámetros de soluciones resultantes o de salida del proceso,
- Parámetros de la solución de riego.
- Parámetros propios de cada operación, como diseño de la pila, granulometría y geometría.
- Niveles de recuperación de mineral de la pila en el tiempo de operación o vida útil.
- Rangos de riego y ventilación de diseño.
- Curvas de control sobre dispositivos de Riego y Ventilación.

- Sistema de Riego.
- Sistema de Ventilación.

4.3 Situación o estado del arte en la industria minera

Es de conocimiento público la existencia en el mercado de la siguiente instrumentación, control, comunicaciones y gestión de la información que se utilizan en forma aislada y para el control de la variable en cuestión en pilas de Lixiviación y Bio-lixiviación:

- Sensores humedad para minerales que se instalan dentro del mineral tipo capacitivo, de radiofrecuencia o por medición de conductividad eléctrica.
- Sensores de flujo de aire fabricado basados en principios de diferencia de presión o dispersión térmica, utilizados para medir el flujo de ventilación de las pilas.
- Sensores de presión de gases para medir la presión estática en la ventilación de las pilas.
- Sensores de concentración de gases de CO₂, O₂ para medir concentraciones dentro de las pilas, que generalmente son utilizados en conjunto con sistemas de extracción con bombas de vacío.
- Sensores de nivel freático para medir el nivel de soluciones que se acumulan en la pila, los que son instalados en la base de ella.
- Sensores de flujo de soluciones que son el producto de la extracción de mineral al lixiviar la pila, estos sensores pueden ser del tipo magnético o tipo canal abierto. Se instalan en la base de la pila y en los puntos de evacuación de las soluciones enriquecidas con mineral.
- Sistemas de sopladores industriales con sus controles de velocidad que permiten ventilar las pilas por tuberías instaladas en la base de las pilas para transferir gases al proceso que se produce en su interior.
- Sensores analíticos para medir variables como pH, ORP para medir las variables en las soluciones que son evacuadas de las pilas. Asociados a estos sensores los sistemas de auto-limpieza para aplicaciones con altos contenidos de sólidos a pH bajos en sistemas de Lixiviación Bacteriana. Estos equipos son fabricados por empresas como:
- Sistemas de comunicaciones inalámbricas para incorporar a equipos de medición y control, evitando el uso de cables. Actualmente son utilizados solo para monitorear temperaturas dentro de las pilas y presiones de las soluciones de riego de ellas.
- Controladores Lógicos Programables (PLC) y sistemas de monitoreo y control que permiten medir las variables del proceso. Los que son utilizados en procesos de medición y control de las pilas, orientados solo a observar las y controlar las variables primarias.

- Válvulas de control proporcional, para controlar aire que ventila las pilas y soluciones de riego de las mismas.
- Sistemas de toma muestras líquidos o lisímetros, utilizados para obtener muestras de pilas de lixiviación de las soluciones que percolan en pilas.
- Sistema de generación de energía, basados en Paneles Solares para alimentar equipos y que los independizan de energía externa y el uso de cables. Esto es realizado en algunas mediciones en pilas.
- Sistemas de Riego de soluciones Lxiviantes o Biolixiviantes, consistentes en Bombas, Tuberías, bombas de riego, reguladores de flujo, de presión y goteros. Todos elementos son ampliamente utilizados en los procesos mineros para la distribución en parrillas de riego, dispuestas en la superficie de las pilas, ya sea con riego por aspersión o goteo.
- Sistemas de monitoreo ambiental fabricados que permiten medir humedad relativa, temperatura ambiental, velocidad y dirección del viento, lo que no se utiliza como variable de control en pilas de lixiviación normalmente.

En lo referente a pilas de lixiviación, existen y se implementan sistemas de información que permiten realizar balances metalúrgicos, manejo de inventarios de las pilas, niveles de recuperación, etc; sin embargo, ellos no realizan un monitoreo en línea, supervisión y control de variables claves **en una forma integrada y en capas más profundas de las pilas.**

Es de conocimiento las severas condiciones en las que los dispositivos operan en pilas, lo que hace altamente inconveniente la utilización de cables para comunicaciones y energización de ellos, como asimismo la circulación de personas con dispositivos para captar señales.

www.teccap.cl/

Monitoreo de Pilas de Lixiviación

Se trata de un nuevo Sistema de Visión Artificial compuesto por un conjunto de cámaras instaladas en altura, que observan la Pila de Lixiviación y determinan, en tiempo real y en forma automática, **la calidad y distribución del regado de la Pila de Lixiviación.** Este sistema cumple la función de monitorización de los módulos de lixiviación distribuidos a lo largo de la pila.

El objetivo de esta nueva tecnología contribuye a mejorar la recuperación de cobre a través de la medición de humedad en la superficie de las pilas. Se identifican y miden:

- zonas secas

- zonas húmedas
- zonas sobresaturadas

El valor de esta tecnología impacta directamente en:

- Eliminar riesgos de accidentes de personas sobre las pilas
- Introducir la variable de nivel de humedad sobre las pilas. Esta nueva variable se podrá relacionar con la variable de recuperación en cuando se logren los nuevos resultados operacionales.

El nuevo proceso se caracteriza por:

- Medir, de día y de noche, la calidad y distribución del regado de las pilas para cada uno de los módulos de lixiviación, a través de la medición de humedad del terreno y su temperatura y características cromáticas.
- Generar un mapa con la calidad del riego para todos los módulos de lixiviación, incluyendo porcentajes de apozamiento.
- Establecer un sistema de alarmas automático que notifica condiciones críticas como por ejemplo: aparición de fugas de alta presión en los módulos de lixiviación, cantidad excesiva o insuficiente de solución de regado en la superficie.
- Crear gráficos históricos de tendencias de calidad de riego para las pilas.

FUENTE : WWW.APLIX.CL

4.4 Unidades internas y entidades externas participante e involucradas

Gerencia de Desarrollo RT, Confiabilidad y Gerencia de Plantas RT

4.5 Alcances y Plazos de la solución Propuesta

Primer semestre 2016

5 Estrategia de Solución del Problema

La estrategia de los Problemas desafiantes abordados por el Programa de Proveedores de Clase mundial y sus equipos Cluster, considera tres etapas para su desarrollo: *la primera es una etapa* de Estudio y Análisis en la que se definen los principales parámetros a considerar para la solución, en colaboración directa con las áreas que presentan el problema. Esta etapa no debe durar más allá de 4 meses. Los entregables de esta etapa son en general, el diseño de la solución aprobado por las áreas que intervienen y los protocolos de pruebas piloto futuras, aprobados por todos los actores. En el término de la etapa se deberá tener una propuesta inicial del modelo de negocios que entregaría la Empresa Proveedor en caso de resultar exitosas las pruebas futuras.

La segunda etapa es la de pilotaje propiamente tal, en la cual se ejecutan las pruebas diseñadas en la etapa anterior. Para la realización de esta segunda etapa se requiere que la intervención de personas circulando sobre la pila sea la estrictamente necesaria y aprobada por el Administrador de Contratos de Div Radomiro Tomic, solo con el objetivo de comprobar la tecnología que se utilizaría a futuro.

Esta etapa debe concluir con el modelo de negocios definitivo para una implementación de la solución de manera comercial. La tercera y última etapa es la implementación industrial del sistema con la aplicación del modelo de negocios aprobado por todos los participantes.

6 Costos y Beneficios asociados a la ocurrencia del problema a su posible solución.

Efectos sobre el proceso.

Las acciones integradas de control, considerando las variables indicadas en el ejemplo que caracteriza este proceso de lixiviación, tienen una justificación en los siguientes aspectos, ya que influyen en el rendimiento del proceso, no quedando limitado solo a lo indicado:

- Las condiciones ambientales, como la temperatura del aire, altura de la operación, tiene un efecto en el rendimiento de la ventilación de la pila y por lo tanto de sopladores.
- Las presiones, temperaturas y flujos del aire inyectado en las tuberías medidos deben ser controlados a partir de rangos nominales y su distribución en la pila, de tal manera de poder corregir y regular.
- Temperaturas y % de O₂ medidos en el interior de la pila representan el consumo de Oxígeno, actividad bacteriana y la eficiencia en la transferencia de él al proceso.
- Ante aumentos o disminuciones de flujos o presiones estáticas en las líneas de ventilación por fallas en la tubería, es posible realizar correcciones en la operación mediante válvulas de restricción, de tal manera de poder mantener los niveles de ventilación en cada módulo de control.
- Los niveles y rangos de ventilación, durante las distintas etapas de la vida útil y explotación de las pilas, son parámetros dinámicos, asociados a los decrecientes niveles de recuperación, como también a aspectos de estacionalidad o condiciones climáticas asociadas.
- Influyen en el modelo de control las condiciones atmosféricas, debido al nivel de evaporación de la solución lixivante.
- Existe una proporcionalidad entre los flujos de ventilación e irrigación, los que deben ser modulados en forma integrada.
- Concentraciones de O₂% y temperaturas interiores de las pilas tienen una relación con

los niveles de irrigación.

- Los niveles de irrigación, durante la explotación, tienen curvas dinámicas en relación con los niveles de recuperación; los que deben ser también decrecientes.
- Los aspectos constructivos y de mineralogía tienen relación con parámetros de operación en la ventilación e irrigación de la pila.

FUENTE : TECCAP S.A

7 Identificación y Requerimientos de las Partes Interesadas

7.1 Organización de CODELCO para el Proyecto

La organización del proyecto estará centrada en la Gerencia de Desarrollo de la División Radomiro Tomic, el ejecutivo patrocinador del proyecto será el Gerente del área.

El líder del proyecto será el Ingeniero Gestor de la Superintendencia de Procesos Planta quien a su vez tomara el rol de Administrador del Contrato.

El apoyo desde el Equipo a Nivel Central del Programa de Proyectos-Cluster, estará compuesto por:

i) un Coordinador de Proyectos con la dedicación necesaria, durante toda la duración del Proyecto, para apoyar tanto al área usuaria como al Proveedor; ii) recursos compartidos con otros proyectos, que se emplearán en ayudar al Proveedor a detectar y cerrar brechas de competencias que se interpongan en su Ruta hacia la Clase Mundial.

A nivel de la Línea Divisional de CODELCO División Radomiro Tomic, aportara los recursos necesarios para la correcta ejecución del proyecto.

Estos recursos se han considerado para aportar en el diseño e implementación de la solución al Problema, en conjunto con el proveedor que seleccionado.

7.2 Partes interesadas

Gerencia de Desarrollo de la División Radomiro Tomic, Dirección de Implementación y Transferencia Tecnológica GTI y Empresa proveedora seleccionada.

7.3 Requerimientos críticos

Los requerimientos críticos del proyecto por orden de criticidad son:

- Desarrollo de una solución integral que permita abordar la medición de las variables en profundidad tales como humedad, temperatura y otras, en un mínimo de 4 metros de

profundidad, con una mínima intervención en el proceso de la pila de lixiviación y que permita entregar la información real en línea .

- Disponer del diseño de una solución implementable en un lapso no superior a 18 meses.

7.4 Indicadores claves de desempeño estimados (los definitivos serán fijados por el usuario en la etapa de estudio y análisis del proyecto)

Los indicadores de desempeño (KPI) *propuestos* en una primera instancia, los que se reconsideran de acuerdo a la tecnología seleccionada, son:

- Determinación de la profundidad en la cual se lograra el monitoreo.
- Exactitud de los resultados, medidos en porcentaje de validación de las relaciones de certeza en la profundidad de monitoreo (debieran ser mayores al 50% de precisión)
- Monitoreo efectivo de zonas de humedad en distintas profundidades de la pila.

7.5 Análisis de riesgos

Desde el punto de vista del éxito del proyecto este dependerá del grado de innovación de la solución y complejidad en su aplicación.

Sección

III

Anexos

Se adjuntan los siguientes documentos:

- Presentación Programa de Proveedores de Clase Mundial.