

---

**Desafío:** Detección Temprana de la Mineralogía  
División Radomiro Tomic de CODELCO

**Especificación de Problema Desafiante**

Ene 2015

Rev. (2)

## 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.....                                                | 7  |
| 4.3 Situación o estado del arte en la industria minera.....                                | 8  |
| 4.4 Unidades internas y entidades externas participante e involucradas .....               | 11 |
| 4.5 Alcances y Plazos de la solución Propuesta .....                                       | 11 |
| 5 _ Estrategia de Solución del Problema .....                                              | 11 |
| 6 _ Costos y Beneficios asociados a la ocurrencia del problema a su posible solución. .... | 11 |
| 7 _ Identificación y Requerimientos de las Partes Interesadas.....                         | 11 |
| 7.1 Organización de CODELCO para el Proyecto .....                                         | 11 |
| 7.2 Partes interesadas.....                                                                | 12 |
| 7.3 Requerimientos críticos.....                                                           | 12 |
| 7.4 Indicadores clave de desempeño estimados: .....                                        | 12 |
| 7.5 Los indicadores de desempeño (KPI) en una primera instancia son: .....                 | 12 |
| 7.6 Análisis de riesgos.....                                                               | 12 |

Sección

## El Programa de Proyectos-Cluster

### 1 Descripción General

El Programa de Proveedores de Clase Mundial-Cluster de la Corporación Nacional del Cobre de Chile es una iniciativa inserta en el marco del Desarrollo de Proveedores 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.

El Programa de Proveedores de Clase Mundial – Cluster 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-Cluster 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



## Especificación del Problema

### 3 Propósito del Presente Documento

Este documento tiene como propósito describir el Problema Desafiante: **Detección Temprana de la Mineralogía**, en División Radomiro Tomic a proveedores invitados por CODELCO, 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.

Los siguientes documentos complementarios deben estudiarse en conjunto con éste:

- Descripción del Programa de Proyectos-Cluster de CODELCO.

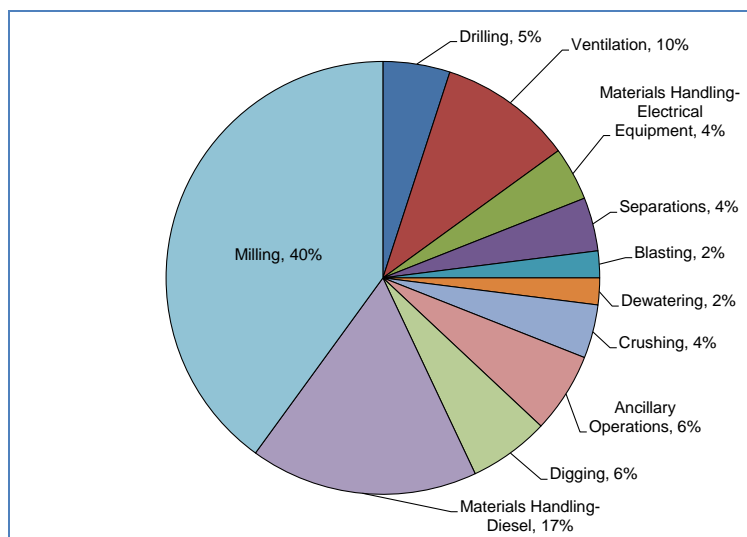
### 4 Descripción General del Problema.

#### 4.1 Descripción General del Problema Desafiante

Los costos de energía son relevantes en los costos de producción. En este planteamiento cabe preguntarse ¿para qué triturar y moler estériles, cuando en realidad se podría tratar solo minerales?

Un estudio realizado en Canadá a los consumos energéticos por proceso a la industria minera, revela lo siguiente:

| OPERACION               |                                         | %  |
|-------------------------|-----------------------------------------|----|
| Perforacion             | Drilling                                | 5  |
| Ventilacion             | Ventilation                             | 10 |
| Manejo de Materiales    | Materials Handling-Electrical Equipment | 4  |
| Separaciones            | Separations                             | 4  |
| Voladura (explosivos)   | Blasting                                | 2  |
| Deshidratacion          | Dewatering                              | 2  |
| Trituracion             | Crushing                                | 4  |
| Operaciones Auxiliares  | Ancillary Operations                    | 6  |
| Excavacion              | Digging                                 | 6  |
| Manejo de Materiales cc | Materials Handling-Diesel               | 17 |
| Molienda                | Milling                                 | 40 |



Otras industrias, como la del tungsteno, el molibdeno, y el zinc, hace años que se utiliza esta nueva forma de procesar minerales.

Moler sólo el mineral que tenga una ley que haga económico el procesamiento posterior, descartando el mineral de baja ley, es un problema que puede ser abordado para minerales sulfurados de cobre como asimismo los oxidados.

Dependiendo de la homogeneidad del mineral y de la precisión de la clasificación, podría alcanzarse un nivel de descarte relevante: 25%. Esto significa 25% menos energía en molienda y concentración, 25% menos químicos para flotación, 25 a 50% menos agua, 25% menos relave.

En forma simplificada, la tecnología que se propone busca construir un mapa de cada fragmento de mineral que pasa por una correa transportadora de modo de determinar su composición y si no cumple con el criterio programado, lo rechaza un actuador neumático. El concepto de clasificación es muy antiguo. Mientras más homogéneos son los fragmentos de material a clasificar, más fácil resulta. También es más fácil detectar materiales densos en un medio menos denso. Es así como hay municipios que la utilizan para clasificar basura: vidrio, aluminio, cobre, hierro, etc. Clasificar minerales es más complejo.

## 4.2 Antecedentes técnicos del Problema

### 5.0 Técnicas de separación y concentración

La separación y concentración del mineral valioso puede tener lugar después de que el mineral es triturado, molido y clasificado en la distribución del tamaño de partículas requerido. Hay un número de diferentes técnicas se emplean en la concentración de los minerales valiosos. Estas técnicas aprovechan las diferencias en las propiedades físicas o químicas de los minerales valiosos y ganga.

#### Métodos de Separación

Clasificación - basada en la apariencia, el color, la textura, propiedades ópticas y la radiactividad

ii. La gravedad y la alta densidad de medio de separación - separación basada en la gravedad específica del mineral valioso en relación con la ganga y el medio de transporte, tal como agua. En medio denso separación, la realización es un medio de una mezcla de agua, magnetita, o ferrosilicio. Las propiedades paramagnéticas del medio permiten a cualquiera de permanecer en suspensión a una densidad de la suspensión predeterminado o que se separa del agua para la limpieza y reutilización.

iii. Separación magnética - la separación en base a las diferencias naturales o inducidos en la susceptibilidad magnética de los minerales en el mineral.

iv. Flotación de la espuma - las separaciones basadas en las propiedades químicas de la superficie de un mineral. La propiedad de superficie natural o modificada del mineral determina su capacidad para unirse a una burbuja de aire y flotar a la superficie.

### 5.1 Clasificación

La clasificación manual es el más antiguo de todos los métodos de beneficio de minerales y rara vez se utiliza hoy en día. El procedimiento se lleva a cabo por la diferenciación visual de trozos de rocas donde grumos valiosos son recogidos y retenidos para su procesamiento. El costo de mano de obra ha hecho obsoleta esta práctica, excepto en las áreas de minerales de alto valor tales como joyas.

Los avances en la electrónica y la tecnología óptica han hecho de la automatización de las técnicas de clasificación un proceso importante en algunas industrias. Por ejemplo, los avances recientes que utilizan métodos de clasificación óptica se están empleando en la industria de los diamantes usando un haz de rayos x. Los diamantes emiten luz cuando son sometidos a un haz de rayos X y la luz resultante es recogida por un detector. Cuando un flujo mono-capa de rocas y diamantes pasa a través de este haz, un algoritmo activa chorros de aire que golpean los diamantes depositándolos en un contenedor separado (véase la figura 13).

Las variaciones de este principio se utilizan en otros sistemas minerales utilizando láseres. La luz del láser se refleja desde un tambor de espejo giratorio que permite el escaneo de la caída de corriente de rocas a escanear en miles de veces por segundo. Un fotomultiplicador detecta la luz reflejada y activa un chorro de aire en el instante y la intensidad adecuada para expulsar las partículas de la corriente. Estos sistemas se han empleado en la recuperación de barita, talco, wolframita y scheelita para nombrar unos pocos.

<http://translate.google.cl/translate?hl=es&sl=en&u=http://met-solve.com/library/articles/mineral-processing-introduction/&prev=search>

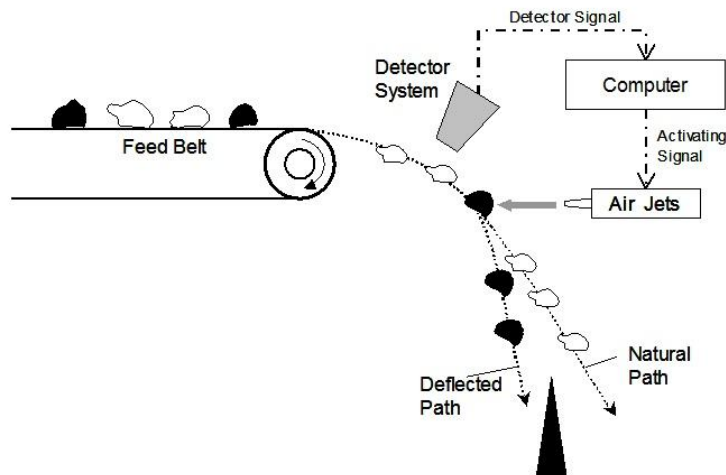


Figura 13. Elementos de los sistemas de clasificación óptica

### 4.3 Situación o estado del arte en la industria minera

#### Procesamiento de minerales: clasificación mineral reducirá los costos para GoWest en Frankfield

ONTARIO - GoWest Oro de Toronto ha completado las pruebas de escala comercial, la transmisión de energía dual de rayos X (DEXRT) mineral de clasificación de los equipos en el mineral desde el proyecto de oro Frankfield 42 km al noreste de Timmins y dice que este tipo de pre-tratamiento funciona bien en la mineralización de Frankfield Oriente, y que tiene el potencial de reducir los costos operativos y de capital, tanto en el proyecto.

Reducción de costes sería posible a través de la minería de leyes de corte más bajas, lo que aumenta onzas generales en el suelo; utilizando métodos de minería a granel más baratos; reducción de los costes del transporte entre la mina y el molino; y los costos de capital y operativos para la clasificación de mineral es más barato que las alternativas.

GoWest dijo que el equipo DEXRT separa efectivamente la roca estéril que representa el 50% o más del total de toneladas de mineral triturado a partir de los materiales que contienen oro. Leyes



de cabeza podrían efectivamente duplicó de 6 g / t de oro a 12 o 15 g / t de oro. Pérdidas de Oro serán mínimas durante la clasificación porque el equipo ha demostrado ser extremadamente eficaz.

La compañía explicó el proceso de este modo: "Las pruebas metalúrgicas se ha demostrado que el oro en el depósito Frankfield Oriente está estrechamente asociado con arsenopirita (FeAsS). Durante la clasificación de mineral, el material triturado se transfiere a las altas velocidades a lo largo de una cinta transportadora delante de un sensor de rayos x que analiza las firmas de rocas individuales para detectar el contenido FeAsS en el mineral triturado. Los sensores de entonces desencadenar una serie de chorros de aire controlados individualmente para separar las rocas estériles desde el material aurífero. El trabajo hasta la fecha ha demostrado que los equipos utilizados en Alemania fue capaz de detectar contenidos arsenopirita hasta tan poco como 0,1 hasta 0,2%, un nivel suficientemente bajo para proporcionar el control operativo fiable y asegurar que tan poco del oro económica posible se envía a la corriente de desechos. En esencia, cualquier rocas que contienen más de 0,3 g / t de oro se puede recuperar con eficacia y se envía para procesamiento aguas abajo, mientras que el material restante permanece en la mina como roca estéril. "

Para obtener más información sobre el proyecto Frankfield, ver [GowestGold.com](http://GowestGold.com) .

**Clasificación basada en sensores**, también conocido como [mineral de clasificación](#) es un término general para todas las aplicaciones en las que las partículas están singularmente detectados por un [sensor de](#) la técnica y rechazados por un proceso mecánico, hidráulico o neumático amplificado. La técnica se utiliza generalmente en el intervalo de tamaño de partícula entre 0,5 mm y 300 mm. Dado que la clasificación basada en sensores es una única tecnología de separación de partículas, el rendimiento es proporcional al tamaño de partícula promedio y el peso alimentado a la máquina. Los costos de operación específicos de clasificadores basados en sensores por tonelada de alimentación son, pues, inversamente proporcional, dividiendo los costos por hora relativamente fijos por las toneladas alimentadas. Originario de las industrias de diamantes y minerales industriales en los que la tecnología se introdujo originalmente, <sup>[1]</sup> clasificadores basados en sensores son hoy en día la tecnología estándar en la industria de procesamiento de reciclaje y minerales, así como en la industria farmacéutica, química y en la industria alimentaria. En las aplicaciones de minerales que normalmente se aplica como una etapa más áspero para la pre-concentración de tamaños de partículas gruesas (+ 20 mm). Modernos clasificadores basados en sensores hacen uso de todas las características de los materiales que pueden ser detectados lo suficientemente rápido para permitir un alto rendimiento del material. Sensores ópticos usados son [sensores \(espectro visible , cerca de infrarrojos , de rayosX , ultravioleta \)](#) , [electromagnéticos](#) sensores y LIBS ( [Espectroscopia de plasma inducido por láser](#) ) sensores. <sup>[2]</sup>

### Cobre NuWave™

El ensayo de una nueva tecnología de mineral de clasificación, en curso en Kennecott Utah Copper en los EE.UU., se espera establecer un nuevo estándar para el procesamiento de mineral de cobre.

La tecnología, llamada Copper NuWave™, maximiza la recuperación de minerales, mientras que la reducción de residuos y el corte de agua y consumo de energía. Es parte del campo más amplio de la obra Rio Tinto está haciendo en la arena mineral de clasificación para agilizar los procesos y aumentar la eficiencia.

El proceso utiliza microondas para "excitar" la especie de cobre (o tipos) dentro de rocas individuales, lo que permite un ordenador para determinar el contenido de cobre de las rocas. Las rocas ricas en cobre progresan a través del proceso, mientras que las rocas que contienen poco o nada de cobre se descartan, lo que ahorra considerables cantidades de agua y energía involucrados en la trituración y el procesamiento de roca estéril.

Los rápidos avances en la potencia de cálculo proporcionan la plataforma para un número muy grande de rocas a procesar cada segundo.

Cabeza de Rio Tinto de Innovación, Juan McGagh, dijo: "El cobre NuWave™ es un buen ejemplo de la minería eficiente y responsable, y proporcionará Rio Tinto con beneficios significativos como leyes de cobre disminuyen en todo el mundo.

"Sabemos que la ciencia de este proceso funciona porque hemos probado en Australia en condiciones de laboratorio utilizando microondas más grande disponible en el mercado mundial", dijo.

"El ensayo en Kennecott es la siguiente etapa en el desarrollo, durante el cual estamos monitoreando cómo funciona en el lugar en una mina de cobre. Una vez que la prueba se ha completado, planeamos trabajar con nuestros socios para aumentar la escala de cobre NuWave™ para que sea comercialmente viable.

"A medida que los minerales se vuelven más difíciles a la mía, de las minas más profundas en las zonas más remotas, es la innovación de la ciencia moderna y la tecnología que es la clave para enfrentar este desafío de una manera segura y respetuosa del medio ambiente", dijo.

Los socios que Juan se refiere a la empresa británica son e2v, lo que contribuye la tecnología de generador de microondas, empresa noruega Tomra, que está desarrollando la capacidad para la ampliación, y la Universidad de Queensland en Australia y la Universidad de Nottingham en el Reino Unido, que son socios de investigación.

<http://m2m.riotinto.com/article/innovation-news>

## 4.4 Unidades internas y entidades externas participante e involucradas

Gerencia de Desarrollo Metalúrgicos 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 la Dirección 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 con las áreas que presentan el problema. Esta etapa no debe durar más allá de 6 meses. Los entregables de esta etapa son el diseño de la solución aprobado por las áreas que intervienen y los protocolos de pruebas 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 Proveedorora 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. Esta etapa debería tener el modelo de negocios definitivo para una implementación de la solución de manera comercial.

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

## 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 Recursos Mineros y Desarrollo de la División Radomiro Tomic, el ejecutivo patrocinador del proyecto será el Gerente del área.

El líder del proyecto será la Ingeniera 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 a) un Coordinador de Proyectos con la dedicación necesaria, durante toda la duración del Proyecto, para apoyar tanto al área usuaria como al Proveedor; b) 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.

Adicionalmente se contará con el soporte técnico de la Dirección de Energía Sustentable y Cambio Climático, para apoyar la validación técnica del proyecto, especialmente en su impacto en el uso eficiente de energía y agua.

A nivel de la Línea Divisional de CODELCO División Radomiro Tomic, 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 se seleccione.

## 7.2 Partes interesadas

Aún pendientes de definir

## 7.3 Requerimientos críticos

Los requerimientos críticos del proyecto por orden de criticidad son:

- Desarrollo de una solución integral que permita abordar el problema desde una mirada simple y operacionalmente implementable que permita ser conectada y operada en un mínimo de tiempo y que no supere los 18 meses.
- La solución debe incluir al menos un diseño y la propuesta de distintos modelos de negocio que incluyan desde la simple venta del equipamiento operativo hasta el servicio de clasificación, pasando por el mantenimiento, la operación, etc.

## 7.4 Indicadores clave de desempeño estimados:

Serán fijados por el usuario y el equipo en una fase temprana del Proyecto.

## 7.5 Los indicadores de desempeño (KPI) en una primera instancia son:

- Monitoreo efectivo
- Determinación de los puntos críticos de la implementación de la tecnología de detección
- Posterior al Diseño, la recuperación de cobre esperada en forma temprana.

## 7.6 Análisis de riesgos

Desde el punto de vista del éxito del proyecto este dependerá del grado de efectividad de la solución, la complejidad en su aplicación y el aporte de valor.

Respecto a riesgos a las personas y equipos que podría implicar la instalación futura o en el pilotaje.

Sección



## **Anexos**

Se adjuntan los siguientes documentos:

- Presentación Programa de Proveedores de Clase Mundial.