



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

**REDISEÑO DEL CONTROL DEL PROCESO PRODUCTIVO DE  
LA DIVISIÓN LOS BRONCES PARA IMPLEMENTARLO EN UN CENTRO  
INTEGRADO DE OPERACIONES**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL**

**CAROLINA ALIAGA MONTALVÁN**

**PROFESOR GUÍA:  
JUANITA GANA QUIROZ**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
RENÉ ESQUIVEL CABRERA  
VICENTE ASTORGA PIZARRO**

**SANTIAGO DE CHILE  
ENERO 2010**

## **Agradecimientos**

*Un especial agradecimiento a mis padres, por todo su apoyo y preocupación a lo largo de mi carrera y vida diaria, por su confianza entregada y por todo su esfuerzo en que yo sea una persona feliz. A mi papá por ser siempre una fuente motivacional y un ejemplo a seguir, y a mi mamá por su compañía incondicional y sus valores entregados.*

*A mi pololo Aldo por estar conmigo durante tanto tiempo, entregándome mucho amor y por su gran apoyo en esta etapa de mi vida.*

*A mis profesores por sus conocimientos entregados y su buena disposición.*

*Finalmente agradezco a todos mis amigos, en especial a mis buenas y queridísimas amigas por todo su cariño y comprensión, y por estar siempre en los momentos más especiales de mi vida.*

## Resumen Ejecutivo

---

En este informe se presenta el tema memoria desarrollado, el cual tiene relación con el rediseño del proceso de control del proceso productivo de la División Los Bronces, con la finalidad de implementarlo en un centro integrado de operaciones, el cual busca mediante la integración de los subprocesos y de su información, reducir costos y aumentar la producción, que es una consecuencia de la reducción de la variabilidad de los procesos (producir lo que se planificó), ya que esto último es lo que busca la División.

El estudio se centró en el proceso de control de producción de concentrado de cobre, el cual consta de las etapas de Mina, Chancado, Molienda, y Flotación. Se analizaron los procesos actuales de control y análisis de cada una de estas etapas, siguiendo la metodología de Rediseño de procesos, modelando los procesos con el Modelo BPMN y Diagramas de Roles.

A partir de la situación actual junto con la medición de la eficacia del proceso, se detectó que en la mayoría de los indicadores se estaba por debajo del valor Budget, y más importante aún la producción de concentrado de cobre de este año está un 10% debajo de la planificación, además de que las mantenciones no programadas aumentaron, generando que los costos de mantención sean un 20% más altos. Estos resultados son consecuencia de problemas como que las predicciones de equipos se realizan sólo en base a tendencias de sus parámetros operacionales, los operadores de las salas de control no siempre informan los eventos inmediatamente, se producen fallas por errores en la sala de control 1 vez cada 2 meses, y no se cumplen los compromisos mutuos pactados.

Estos problemas son generados por el poco análisis de la información, puesto que al tener cada subproceso sus propios objetivos y metas (el proceso no es visto como una sola cadena de valor), controlan en base a sus recursos e información disponible, sin que la etapa que precede y procede tenga visibilidad a datos claves de los otros subprocesos para su operación. Esto además, es consecuencia de lo poco integrado que están los sistemas de control, y de la poca colaboración existente entre las áreas.

Como propuestas de mejora se sugiere que se mejore el control del proceso a través de una gestión integrada de la cadena de valor, una orientación hacia una estrategia de mantenimiento de tipo predictivo, con un monitoreo y control más que de resultados finales (preocuparse no sólo del qué, sino que también del cómo), e integrar una estación de control para lo que es abastecimiento y agua. También se sugiere que se aumente y mejore el análisis guardando los reportes de los turnos en el sistema, analizar estos reportes, e integrar los sistemas, de manera que los analistas de todos los subprocesos puedan ver la información que les sea importante para su etapa.

Si se logra hacer un control y análisis de manera integrada, compartiendo resultados, condiciones y conclusiones, se tendrá un beneficio de US\$ 19,6 millones anuales, que vienen de un aumento de la producción por un mejor control de la variabilidad del nivel del stock pile y de la flotación, junto con una disminución de los costos de mantención. Este valor representa un 3,2% de las utilidades anuales de la División.

## Índice de Contenidos

Resumen Ejecutivo .....	3
1. Antecedentes .....	8
1.1 Descripción Anglo American .....	8
1.2 Características de la División Los Bronces .....	9
1.2 Proceso Productivo .....	11
1.3 Iniciativas de Modernización.....	13
1.3.1 Proyecto Desarrollo Los Bronces.....	13
1.3.2 Centro Remoto de Operaciones.....	14
2. Descripción del proyecto y justificación.....	16
2.1 Modelo Funcional Control de Procesos y Automatización de Anglo American .....	17
3. Objetivos .....	21
4. Marco Conceptual.....	22
4.1 Control de Procesos.....	22
4.1.1 Elementos de concepto.....	22
4.1.2 Requisitos de un buen control .....	23
4.1.3 Importancia del control .....	23
4.1.4 Elementos del control.....	24
4.2 Excelencia Operacional .....	24
4.3 Rediseño de procesos.....	25
5. Metodología .....	26
6. Alcances .....	29
7. Resultados Esperados.....	29
8. Levantamiento Situación Actual.....	30
8.1 Descripción de los Procesos .....	31
8.1.1 Proceso Control Mina.....	31
8.1.2 Proceso de Monitoreo y Control Molienda y Chancado .....	32
8.1.3 Proceso Monitoreo y Control Flotación .....	33
8.1.4 Proceso de Ingeniería y Control de Procesos .....	35
8.2 Uso de tecnologías .....	35
8.3 Modelamiento Situación Actual .....	36
8.3.1 Descripción Proceso de Control .....	37
8.3.2 Modelación BPMN .....	39
8.3.3 Modelo de Roles.....	42
8.4 Medir.....	47

8.5 Problemas Encontrados en Situación Actual del Proceso Global .....	51
8.5.1 Predicciones de falla de equipos sólo en base a tendencias .....	52
8.5.2 Eventos no siempre son informados inmediatamente .....	53
8.5.3 Fallas por error en sala de control se producen 1 vez cada 2 meses .....	55
8.5.3 Compromisos mutuos no se cumplen.....	56
9. Ámbito de Procesos a Rediseñar.....	58
10. Rediseño.....	58
10.1 Direcciones de cambio .....	58
10.2 Propuestas de Rediseño .....	59
10.2.1 Propuestas relacionadas con la integración de los sistemas .....	60
10.2.2 Propuestas relacionadas con estructura y cultura organizacional.....	61
10.3 Modelamiento Rediseño.....	65
10.3.1 Modelo BPMN .....	65
10.3.2 Modelo de Roles.....	71
10.4 Síntesis de Cambios Propuestos .....	73
10.5 Propuestas de Implementación.....	73
11. Beneficios .....	74
11.1 Beneficios No Económicos .....	74
11.2 Beneficios Económicos .....	75
11.2.1 Beneficios asociados al Aumento de Producción.....	75
11.2.2 Beneficios asociados a la Reducción de Costos.....	79
12. Conclusiones .....	80
13. Bibliografía.....	81
12. Anexos .....	82
Anexo A: Flowsheet Proceso Productivo.....	82
Anexo B: Benchmarking .....	82
Anexo C: Descripciones Cargos Subprocesos.....	85
Anexo D: Cálculo de Beneficios derivados de mayor control del nivel del Stock Pile.....	88
Anexo E: Cálculo de Beneficios derivados de mayor control en Molienda - Flotación.....	88
Anexo F: Aumento Producción debido a mayor utilización SAG 2. ....	89
Anexo G: Beneficios estimados a partir de mayor tph y recuperación .....	89

## Índice de Tablas, Gráficos e Ilustraciones

Ilustración N°1: Divisiones Anglo American Chile .....	8
Tabla N°1: Producción División Los Bronces .....	9
Tabla N°2: Total Costos Unitarios.....	9
Tabla N°3: Índice de Costos Totales de Cobre en Chile, de empresas GMP-10 y Codelco .....	9
Ilustración N°2: Esquema División Los Bronces .....	12
Ilustración N°3: Modelo Funcional Control de Procesos y Automatización Anglo American .....	18
Tabla N°4: Parámetros operacionales Mina .....	18
Tabla N°5: Parámetros operacionales Molienda.....	18
Tabla N°6: Parámetro operacional Flotación.....	19
Gráfico N°1: Inversión en I&D.....	19
Diagrama N°1: Concepto de Mejoramiento Continuo.....	21
Diagrama N°2: Diagrama de Ishikawa .....	27
Tabla N°7: Características Sistemas Actuales .....	34
Tabla N°8: Simbología Diagrama de Roles.....	36
Diagrama N°3: Modelo BPMN Proceso Control Mina Actual .....	38
Diagrama N°4: Modelo BPMN Proceso Monitoreo y Control Chancado y Molienda Actual.....	39
Diagrama N°5: Modelo BPMN Proceso Control Flotación Actual.....	40
Diagrama N°6: Modelo BPMN Ingeniería y Control de Procesos Actual .....	40
Diagrama N°7: Diagrama de Roles Proceso Control Mina Actual.....	41
Tabla N°9: Actividades Diagrama de roles Mina .....	41
Diagrama N°8: Diagrama de Roles Proceso Control Chancado y Molienda Actual .....	42
Tabla N°10: Actividades Roles Proceso Control Chancado y Molienda .....	42
Diagrama N°9: Diagrama de Roles Proceso Control Flotación Actual .....	44
Tabla N°11: Actividades Diagrama de Roles Flotación .....	44
Diagrama N°10: Diagrama de Roles Ingeniería y Control de Procesos .....	45
Tabla N°12: Actividades Diagrama de Roles Ingeniería y Control de Procesos.....	45
Tabla N°13: Movimiento Mina.....	47
Tabla N°14: Nivel de Stock Pile.....	47
Tabla N°15: Porcentaje de Mineral sobre Malla 65.....	48
Tabla N°16: Densidad Pulpa.....	48
Tabla N°17: Variabilidad tph.....	49
Tabla N°18: Variabilidad Flotación.....	49
Tabla N°19: Variabilidad Producción Total Los Bronces .....	49
Gráfico N°2: Variabilidad Producción Total .....	50

Diagrama N°11: Problema 1 Proceso de Control y Análisis .....	51
Tabla N°20: Horas de mantención equipos .....	51
Diagrama N°12: Problema 2 Proceso de Control y Análisis .....	52
Diagrama N°13: Problema 3 Proceso de Control y Análisis .....	54
Diagrama N°14: Problema 4 Proceso de Control y Análisis .....	55
Diagrama N°15: Modelo BPMN Rediseño Control Mina.....	65
Diagrama N°16: Modelo BPMN Rediseño Control Chancado .....	66
Diagrama N°17: Modelo BPMN Rediseño Control Molienda .....	67
Diagrama N°18: Modelo BPMN Rediseño Control Flotación .....	68
Diagrama N°19: Modelo BPMN Rediseño Ingeniería y Control de Procesos .....	70
Diagrama N°20. Diagrama de Roles Rediseño Procesos de Control y Análisis .....	71
Tabla N°21: Actividades Diagrama de Roles Rediseño Procesos de Control y Análisis.....	71
Gráfico N°3: Correlación entre tph y nivel del stock pile .....	74
Tabla N°22: Pérdidas de tonelaje debido a bajos niveles de stock pile .....	75
Gráfico N°4: Correlación entre recuperación y porcentaje sobre malla 65 .....	76
Gráfico N°5: Boxplot entre recuperación y porcentaje sobre malla 65 .....	76
Tabla N°23: Rangos de distribución de tamaño con su respectiva recuperación .....	77
Tabla N°24: Utilización molinos .....	78
Tabla N°25: Costos de mantención Planta.....	79
Ilustración N°4: Proceso Productivo Los Bronces.....	82
Ilustración N°5: Esquema Centro de Soporte Corporativo Codelco .....	84
Tabla N°26: Cargos y Funciones sala de control Mina .....	85
Tabla N°27: Cargos y Funciones sala de control Chancado y Molienda .....	85
Tabla N° 28: Cargos y Funciones sala de control Flotación.....	87
Tabla N°29: Cargos y Funciones Ingeniería y Control de Procesos.....	87
Tabla N°30: Beneficios por un mejor control del Stock Pile.....	88
Tabla N°31: Recuperación según tamaño.....	88
Tabla N°32: Producción adicional de cobre fino .....	88
Tabla N°33: Utilidades derivadas de mayor producción .....	88
Tabla N°34: Aumento de producción debido a mayor utilización del SAG 2.....	89
Tabla N°35: Beneficios derivados de mayor utilización del SAG 2 .....	89
Tabla N°36: Beneficios derivados de mayor tph y recuperación .....	89

## 1. Antecedentes

---

La industria minera actualmente está siendo afectada por realidades más complejas como, por ejemplo, la disminución de las leyes, el aumento de la relación estéril-mineral, el aumento en las distancias de transporte, los incrementos en los costos de inversión, operaciones de mayor envergadura, las mayores presiones ambientales y sociales, los depósitos de mineral más complejos, etc., lo que dificulta la gestión del proceso global. Es por esto, que la tendencia de la industria es privilegiar la producción comprometida según la planificación, a fin de asegurar el resultado económico del ejercicio, más aún con los altos precios actuales de los metales, desarrollando acciones concretas para minimizar las mermas productivas en el periodo.

Dentro de este escenario cobran especial importancia los temas relativos a productividad y su asociación con tecnología. Hoy en día, existen diversas alternativas que permiten automatizar los procesos, y Chile a pesar de ser el país líder a nivel mundial de producción de cobre ha ido incorporándolas lentamente a diferencia de otros países.

La empresa Anglo American constantemente está buscando proyectos y opciones para lograr mejorar su posición de mercado, y aumentar la rentabilidad de su negocio. Además, y como parte de sus objetivos estratégicos están comprometidos en lograr un crecimiento que aumente significativamente su actual nivel de producción, pasando de las 650 kton anuales de cobre fino que esperan producir a partir del año 2011 a 1500 kton anuales para el 2020.

En particular, la División Los Bronces, reconociendo la oportunidad que significa la incorporación de tecnologías, está evaluando nuevas opciones para enfrentar de buena manera los escenarios futuros.

En ese marco, la División Los Bronces de Anglo American está evaluando el establecimiento de un centro de control integrado para el monitoreo, diagnóstico y gestión de sus operaciones, que permita tener mejores resultados operacionales.

### 1.1 Descripción Anglo American

Anglo American es uno de los productores de cobre más relevantes en Chile. Es la segunda empresa minera privada más grande de Chile con una participación de mercado de un 4.5% del total de la industria mundial del cobre. El primer lugar lo ocupa BHP Billiton con una participación de mercado del 15%. Sus principales competidores son: BHP Billiton, Codelco, Río Tinto y Xstrata.

En Chile Anglo American explora, explota, procesa y comercializa cobre en forma de cátodos, ánodos, y blíster, así como cobre y molibdeno contenido en concentrados y ácido sulfúricos.

Cuenta con cinco Divisiones productivas en cuatro regiones del país y una oficina central en Santiago. Las Divisiones son: Mantos Blancos (Antofagasta), Mantoverde (Copiapó), Los Bronces (Santiago), El Soldado (Nogales) y Chagres (Catemu), que es la fundición de Anglo American. Además es dueña del 44% de Collahuasi.

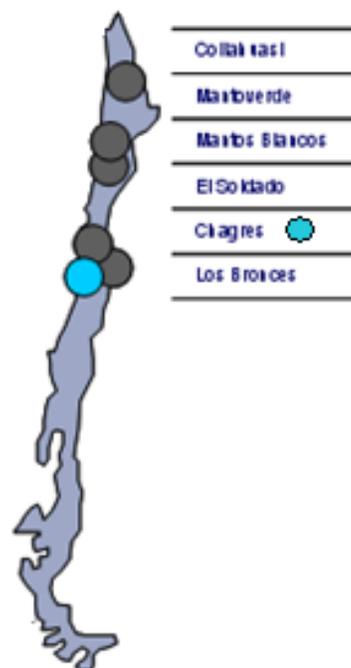


Ilustración 1: Divisiones Anglo American Chile

Emplea a más de 10 mil personas entre personal propio y contratistas de operación y proyectos.

La producción total en 2009 fue de 669.814 toneladas de cobre fino (cátodos y concentrado, incluyendo Collahuasi), un 5% más que en el año 2008, lo que equivalió al 12,4% del volumen total de las exportaciones cupríferas de Chile. Además, durante el año se produjeron 3.886 toneladas de molibdeno y 457.621 toneladas de ácido sulfúrico.

Las operaciones poseen un importante grado de integración, lo que posibilita que el 70% de la producción de cobre sea procesada en Chile en refinерías y fundiciones propias o de terceros, para la elaboración de ánodos o cátodos.

## 1.2 Características de la División Los Bronces

La División Los Bronces se encuentra ubicada en la Región Metropolitana, a 65 kilómetros de Santiago y a 3.500 metros sobre el nivel del mar. En ella se encuentra la mina, la planta de molienda, y dos plantas de cátodos. La División Los Bronces cuenta además con una planta de flotación, Las Tórtolas, ubicada en la comuna de Colina.

La mina perteneciente a la División Los Bronces es de cobre y molibdeno que se explota a rajo abierto. El mineral que se extrae es molido y transportado por un mineroducto de 56 kilómetros a la planta de flotación Las Tórtolas, en la que se produce cobre y molibdeno contenido en concentrados. Además, en la División se produce cobre en cátodos vía proceso hidrometalúrgico (lixiviación, extracción por solventes y electroobtención).

Las principales cifras de Los Bronces son:

Tabla 1: Producción División Los Bronces

	2009	2008
Cobre Fino (toneladas)	238.423	235.792
Cátodos (toneladas)	45.490	43.679
Contenido en concentrados (toneladas)	189.999	190.012
Molibdeno Contenido en concentrados (toneladas)	2.768	2.578
Costo Directo C1 <sup>1</sup> (US c/lb)	82,9	67,2

Fuente: www.anglochile.cl

Los costos unitarios de la División son:

Tabla 2: Total Costos Unitarios

Mina	US\$/ton	1,52
Sulfuro (Molienda y Flotación)	US\$/TT	7,80
Moly	c/lb	226,59
<b>Costo Unitario Total</b>	<b>c/lb</b>	<b>111,3</b>

Fuente: Anglo American

Tabla 3: Índice de Costos Totales Unitarios de Cobre en Chile, de empresas GMP-10 y Codelco

Costos Totales <sup>2</sup> (c/lb)		
Empresa	2009	2008
Codelco	154,9	167,3
Escondida	269,6	232,5
Collahuasi	116,2	137,9
Los Pelambres	181,3	166,4
<b>Anglo American Sur</b>	<b>143,9</b>	<b>134,1</b>
El Abra	141,9	164,8
Anglo American Norte	224,4	146,7
Zaldívar	162,2	128,7
Candelaria	155,4	116,9
Cerro Colorado	143,2	118,8
Quebrada Blanca	141,4	150,9
<b>Índice Global</b>	<b>170,2</b>	<b>163,8</b>

Fuente: Cochilco

<sup>1</sup> El costo C1 es el costo de mina, costo de plantas, gastos generales, costo de fundición, refinación y fletes.

<sup>2</sup> Costos y gastos totales de la producción vendida, según Estados de Resultados Individuales. Incluyen costos de explotación, gastos de administración y ventas y otros operacionales, gastos financieros y otros gastos no operacionales. Costos unitarios calculados con volúmenes de producción de cobre fino (no de venta).

GMP-10: Son las diez principales empresas productoras de cobre en Chile con contrato de inversión extranjera.

En esta tabla se observa que el costo total promedio de Anglo American Sur (integrado por Los Bronces, El Soldado y Chagres) es menor al promedio de la industria nacional, y en particular la División Los Bronces también. Esto indica, en términos generales, que la gestión de todo el proceso productivo es buena en comparación con las otras empresas mineras del país, sin embargo, lo que la compañía desea es disminuirlos aún más, para lograr su visión que es “ser reconocidos por la excelencia de nuestra operación”.

La producción de la División Los Bronces representa el 36% de la producción total de Anglo American Chile, incluyendo la producción de Collahuasi.

La División Los Bronces tiene una dotación aproximada de 1.712 trabajadores, entre personal propio (alrededor de 1.000) y contratistas de operación y proyectos (700 aproximadamente). Los tipos de turnos que se ocupan son 9 x 3 en turnos de 8 horas, y una pequeña parte de la supervisión ocupa el sistema 4 x 3, el 50% de la dotación aproximadamente trabaja en sistema administrativo, lunes a viernes de 8 a 17 horas.

## **1.2 Proceso Productivo**

El proceso productivo a grandes rasgos consiste en<sup>3</sup>:

### **Mina**

Mina a rajo abierto: Operación minera en la que el proceso extractivo se realiza en la superficie.

Perforación: El macizo rocoso se perfora en los puntos de mayor debilidad para la introducción de los explosivos.

Tronadura: Mediante una reacción físico-química se en cadena, los explosivos producen la fisura y fragmentación del macizo rocoso.

Extracción: El mineral tronado es removido con cargadores frontales y/o palas.

Carguío y transporte: Los minerales son cargados y transportados a distintos destinos según la calidad del mineral. El estéril (mineral de ley menor a 0,2%) se lleva a los botaderos. El mineral que tiene una ley mayor a 0,5% es tratado vía flotación, a diferencia del mineral de ley entre 0,3% y 0,5% que es depositado en pilas para ser tratado vía lixiviación, extracción por solventes y electro-obtención.

### **Planta de Molienda**

Chancado: El mineral es reducido de tamaño a 6 pulgadas.

Molienda: El material se reduce mediante molinos hasta conformar una pulpa de 55% sólidos, con tamaños de partícula de 180 micrones.

---

<sup>3</sup> Ver en anexo 1 flowsheet del proceso productivo

Mineroducto: El mineral molido es enviado en forma hidráulica a través de un mineroducto de 56 kilómetros hasta la planta de flotación Las Tórtolas.

### **Planta de Flotación**

Flotación: Proceso físico-químico que permite la separación de los minerales sulfurados de cobre y otros elementos como el molibdeno, del resto de los minerales que componen la mayor parte de la roca original. La pulpa proveniente de la molienda, que tiene ya incorporados los reactivos necesarios para la flotación, se introduce en unos receptáculos como piscinas, llamados celdas de flotación. Estas celdas son espacios cerrados donde se realiza la concentración del cobre mediante el burbujeo de aire en una solución. Las partículas de cobre son hidrofóbicas y se adhieren a las burbujas de aire y suben a la superficie desde donde rebasan a canaletas que se encuentran a los costados.

Espesamiento y filtrado: Mediante el espesamiento del material y uso de grandes filtros, el concentrado es secado hasta reducir su humedad a un 9%.

Cobre contenido en concentrado: Producto minero obtenido a partir de la flotación del mineral de cobre. Sus principales componentes son cobre, azufre y hierro. El concentrado se puede ir al mercado donde es comercializado, o puede ser enviado a la división Chagres, donde se almacena para luego ser fundido y transformado en ánodos de cobre.

Depósito de relaves: Un batería de hidrociclones clasifica la pulpa de relave final. La parte gruesa de este material es utilizada para la construcción del muro del depósito de relaves y la parte fina, se acumula en su interior. El agua usada se recicla para su reutilización en el proceso.

### **Planta de Cátodos**

Los cátodos son producidos a partir del mineral de más baja ley, el cual es depositado en los botaderos.

Formación de pilas: El mineral es acumulado sobre una membrana impermeable en montículos (pilas) de varias toneladas.

Lixiviación: Se riega el mineral con una solución preparada (generalmente ácido sulfúrico o sulfato férrico), que percola a través de toda la pila, luego se recolectan los líquidos enriquecidos que se llevan a la planta de proceso de recuperación de la sustancia mineral.

Extracción por solventes: El cobre es transferido desde el área de lixiviación a una solución compuesta por diluyente y extractante. La solución captura los iones de cobre en forma selectiva. De esta reacción se obtiene, por un lado una solución empobrecida en cobre que se denomina refino, y por otro lado el orgánico cargado. Este orgánico es tratado para mejorar la concentración de cobre, produciendo el electrolito.

Electroobtención: El electrolito es llevado a la nave de electroobtención, que contiene celdas donde está la solución y que alternan un ánodo y un cátodo, que están conectadas conformando un circuito por el que se hace transitar corriente eléctrica. El cobre en solución es atraído por el polo negativo, pegándose partícula por partícula en la superficie del cátodo en forma metálica.

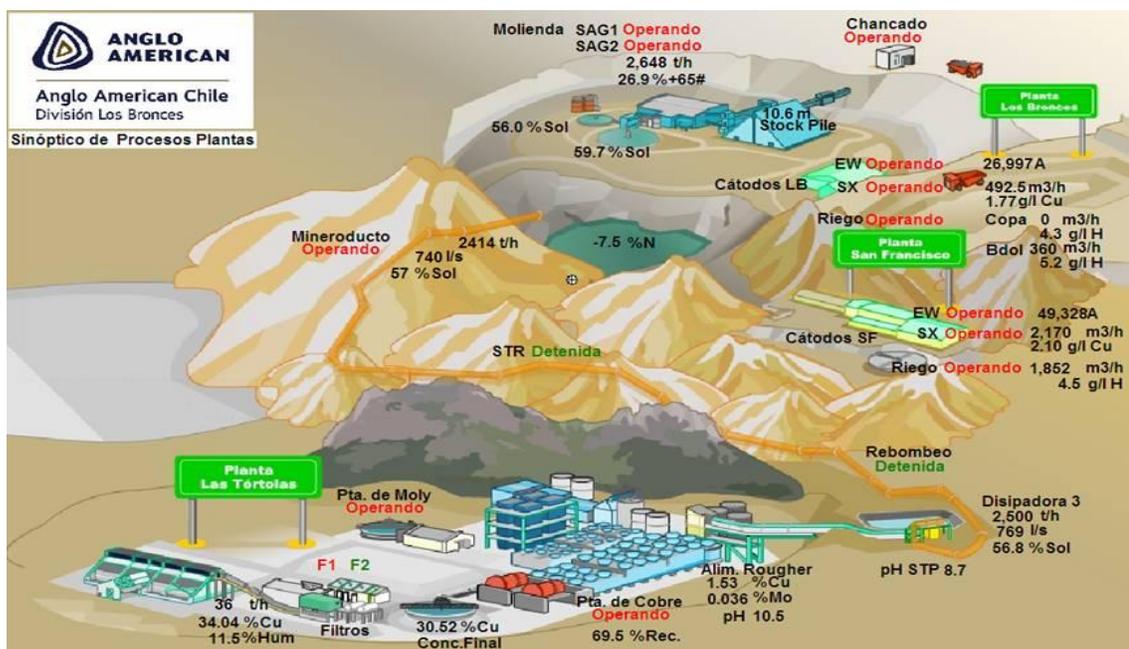


Ilustración 2: Esquema División Los Bronces

## 1.3 Iniciativas de Modernización

### 1.3.1 Proyecto Desarrollo Los Bronces

Esta iniciativa es el primer eslabón del grupo de proyectos de cobre de Anglo American, que le permitirían incrementar su producción de cobre a 1,7 millones de toneladas anuales, hacia el año 2016.

El proyecto se inició en 2007 y considera nuevas instalaciones de molienda en el sector de Confluencia, una planta de flotación en Las Tórtolas (Colina) y nuevas tuberías y estaciones de bombeo.

Esto permitirá que la producción fr Los Bronces crezca desde las actuales 230.000 toneladas por año a 400.000, y la generación de molibdeno se eleve a 5.400 toneladas, a contar del 2011. Así, División Los Bronces se convertirá en uno de los yacimientos de mayor producción de cobre del mundo.

Además, se reforzarán los controles operacionales y de seguridad, garantizando los requerimientos planteados por la comunidad.

Los impactos económicos directos del proyecto recaen en que además de los 4.000 puestos de trabajo generados en su fase de construcción, se sumarán 400 puestos permanentes al término del proyecto.

### 1.3.2 Centro Remoto de Operaciones

Ha surgido la idea de realizar un proyecto que tiene que ver con la construcción de un centro remoto de operaciones, que consiste en integrar el control y análisis de los subprocesos, como lo son Mina, Molienda y Flotación, con el objetivo de alcanzar una mayor eficacia en la producción a través de un control que considere toda la información relevante para el funcionamiento del proceso productivo, y permita tomar decisiones en forma integrada. Además al aumentar la producción con los mismos recursos actuales, se logrará aumentar la eficiencia de los procesos y activos.

Otras empresas ya han implementado un sistema de este tipo, logrando buenos resultados desde su puesta en marcha.

En estos centros se registra, recibe, procesa y entrega información fidedigna en tiempo real de los distintos procesos mineros, lo que ayuda a mejorar la coordinación de las áreas involucradas en el funcionamiento de la División. En este sentido, ayuda a orientar las decisiones del turno minero, con el objetivo de contribuir al cumplimiento del programa de producción, reducir pérdidas, controlar costos, evitar mantenciones no programadas y otros eventos que puedan interrumpir el proceso productivo.

Sus principales características son:

- Integración de los procesos mineros a través de la consolidación de los datos desde las fuentes de origen: planificación y producción.
- Análisis de la variabilidad del flujo del mineral, histórica y en tiempo real.
- Análisis de la disponibilidad y utilización simultánea de los equipos Mina-Planta.
- Seguimiento en tiempo real del cumplimiento del plan diario de producción.
- Planificación de corto plazo, colaborativa y centralizada.
- Análisis predictivo de eventos y causalidad en línea.
- Gestión del conocimiento minero.
- Reportes de gestión.

En otras palabras la mayor ventaja de tener un centro integrado de operaciones viene dada por la disminución de la variabilidad de la producción (producir efectivamente lo que se planificó), en particular la reducción de la variabilidad del nivel del stock pile y del circuito de flotación, ya que se comprueba que existe una relación entre el nivel del stock pile y el tph, y el tamaño del mineral para flotación con la recuperación, etapas claves en la producción de cobre fino, pues son el input de los procesos de molienda y flotación respectivamente.

Estas ventajas derivan en los siguientes beneficios estimados<sup>4</sup>:

- 10% de reducción de las pérdidas de la variabilidad del nivel del stock pile (de mineral), resultando en 240 toneladas anuales adicionales de producción.
- 25% de reducción en la variabilidad en el circuito de flotación, resultando en un aumento de 80 toneladas al año.

Los beneficios financieros potenciales de esta mayor producción son de MUS\$ 1.4 anuales.

Extrapolando estos datos para la inclusión de Confluencia (nueva planta de molienda que busca duplicar la producción actual y que entrará en funcionamiento el próximo año como parte del Proyecto Desarrollo Los Bronces), los beneficios alcanzados serían de 640 toneladas que se traducirían en MUS\$ 2,6 por año.

La División Los Bronces tiene utilidades anuales de MUS\$ 617,8, por lo tanto los 1,3 millones adicionales derivados de la mayor producción representan un 0,2% de las utilidades.

El proyecto de Anglo American del centro remoto de operaciones para Los Bronces, es la fase piloto de uno más grande, llamado COEM (Centro de Gestión para la Excelencia Operacional), que consiste en integrar la gestión de las cinco divisiones de Anglo en Chile.

Este proyecto (COEM) tiene 3 fases:

Fase 1: B-ROC (Centro de Operaciones Remoto de Los Bronces). Fase piloto, que consiste en la instalación de un centro integrado de operaciones en la planta de flotación Las Tórtolas de la División Los Bronces.

Fase 2: Implica extender el modelo de Los Bronces a las demás divisiones de Anglo, es decir, una vez implementado el Centro Remoto de Operaciones en Los Bronces se hará lo mismo en las demás Divisiones del país.

Fase 3. Involucra la implementación de COEM para la unidad de negocio Copper, la cual integra los centros regionales o divisionales.

---

<sup>4</sup> Ver sección 11 de Beneficios para más detalles.

## 2. Descripción del proyecto y justificación

---

Uno de los propósitos de la División es dar cuenta de la importancia estratégica de la creciente eficiencia operacional y la continua reducción de costos, como una manera efectiva de crear valor. Esto último genera como consecuencia la necesidad de mayor tamaño, la incorporación de tecnologías, la planificación operativa bien gestionada y el rediseño continuo de procesos.

La cadena productiva en el negocio minero está compuesta por diversos procesos, donde cada uno posee diferentes características que definen su rendimiento y productividad. Además, existen relaciones entre dichos procesos, que generan diversas interacciones y efectos “aguas abajo”. Por eso es importante mantener un control de estos efectos, y tratar de disminuirlos, y una de las alternativas para lograrlo, es cambiar la forma en que se realiza el control del proceso productivo, de manera de integrar esos efectos en la operación para que las consecuencias no se traduzcan en planificaciones no cumplidas y aumentos de costos.

El quiebre detectado en la División Los Bronces es justamente que no existe un proceso de control que incorpore las condiciones y restricciones de la etapa anterior a cada subproceso, generando que la operación y el control respectivo se realice en forma aislada, y afectando al análisis de la información, puesto que cada analista cuenta con la información de su respectivo subproceso, sin la incorporación de datos claves de su antecesor.

Principalmente lo que la División necesita es un centro desde donde se puedan monitorear las distintas operaciones del proceso productivo en forma integrada (con un sistema integrado), ya que actualmente se realiza en forma independiente causando vacíos de información entre etapas consecutivas, para generar información e índices, que hoy en día no se tienen, y así realizar un análisis que se traduzca en una mejor toma de decisiones, y generar conocimiento relevante para la operación como por ejemplo la probabilidad de falla de los equipos. Por lo tanto, el proyecto tiene 2 grandes niveles: El de control y el de análisis.

El proyecto de memoria consiste en rediseñar el proceso de control y análisis actual del proceso productivo de concentrado de cobre, con el fin de crear mayor integración y colaboración entre la información y personas de los distintos subprocesos (mina, molienda y flotación), para así generar un mejor análisis (en forma conjunta) que deriven en mejores decisiones, que se traduzcan en reducción de costos y aumento de producción.

La justificación de este proyecto viene dada por el interés de la División en alcanzar mejores resultados operacionales, como los descritos en la sección anterior (disminución de la variabilidad del stock pile y flotación), que traerán como consecuencia un aumento en la producción que significa mayores ingresos. Para esto se hace necesario contar con un buen modelo de operación, es decir, con procedimientos establecidos de cómo se debe actuar para tener un control eficiente.

Actualmente existe coordinación y colaboración débil entre operarios e ingenieros del área de Ingeniería y Control de Procesos, pues sólo hay comunicación entre los metalurgistas y los operadores de terreno, pero no con los de las salas de control, lo que provoca que las causas o mejoras encontradas por éstos últimos no sean conocidas por los operadores, permitiéndoles que repitan un comportamiento erróneo.

Así mismo existe poca colaboración entre el área de control de la mina con la de la planta, evitando que se generen instancias de prevención o preparación para las diferentes situaciones o condiciones del mineral. Actualmente lo que ocurre es que la Mina envía la planificación mensual de mineral.

Esto se debe principalmente a la poca interacción entre los distintos involucrados a lo largo del control de todo el proceso productivo, y a la utilización de diferentes sistemas de información, lo que trae como consecuencia que los operadores de cada subproceso no cuente con toda la información necesaria para determinar las mejores prácticas de operación, porque cabe destacar que el funcionamiento y condiciones de un subproceso afecta en alguna medida al que le sigue, no son etapas relativamente independientes como se han tratado hasta ahora.

## **2.1 Modelo Funcional Control de Procesos y Automatización de Anglo American**

La idea de integrar todos los sistemas proviene de este modelo que desarrolló la compañía en julio de este año para sus Divisiones en Chile, en el cual se identifican las siguientes funciones principales:

Control (automático o semiautomático) del Proceso: Operación y coordinación de los equipos de procesos en tiempo real, para obtener una tasa de procesamiento en cantidad y calidad deseada de forma controlada, a pesar de las perturbaciones y tomando en cuenta las restricciones existentes. Es la base de la estrategia de operación.

Gestión de los activos: Monitoreo de las condiciones de operación de cada equipo de proceso en tiempo real, con el objetivo de maximizar su disponibilidad y calidad de servicio para el proceso.

Gestión de los suministros Energía y Agua: Control (automático o semiautomático) en tiempo real de los procesos de suministros de energía eléctrica y suministro de agua, de tal forma de garantizar su máxima disponibilidad en cantidad y calidad para el proceso principal, al menor costo posible (máxima eficiencia, mínimas pérdidas).

Gestión de la Calidad: Forma parte del control de proceso pero como se basa en procedimientos analíticos que no se pueden realizar en tiempo real (análisis de laboratorios), se especifica como una función independiente.

Gestión Medioambiental: Forma parte del control de procesos, pero usualmente se maneja en forma independiente. Su objetivo es monitorear y controlar las emisiones de residuos que se generan en el proceso principal, de tal forma de minimizar su impacto al medioambiente, cumpliendo con las normas y regulaciones legales vigentes.

Para la Gestión Integral de la Operación en tiempo real se identifican los siguientes niveles de tecnologías:

Instrumentación: Corresponde a todo el equipamiento (sensores) que realiza mediciones continuas (en línea) o discontinuas (fuera de línea) de las variables de los procesos y el equipamiento (actuadores) que realiza las acciones sobre variables que modifican el comportamiento del proceso.

Sistemas de Control: Corresponde a todo el equipamiento (plataforma de hardware y software) que se conecta a la instrumentación mediante redes de comunicación apropiadas, para recopilar de los sensores las mediciones de las variables de proceso, procesarlas mediante algoritmo específicos que se ejecutan en controladores dedicados (computadores), y tomar decisiones automáticas que se traducen en acciones de comandos que se envían a los actuadores. Estos sistemas poseen interfaces gráficas (pantallas) que permiten a los operadores monitorear todas las variables de proceso y ejecutar comandos sobre los controladores para regular su comportamiento. Los sistemas típicos son: DCS, PLC y SCADA. . En el caso del control de procesos se pueden diferenciar dos niveles:

- ✓ Nivel de Control “Clásico”: Se implementa directamente en los sistemas de control. El algoritmo “clásico” que se ejecuta en un controlador es el PID (Proporcional-Integral-Derivativo), pudiendo diferentes controladores relacionarse entre sí para formar estructuras de control. El operador fija las referencias de los controladores: valores deseados de las variables controladas.
- ✓ Nivel de Control “Avanzado”: Corresponde a una plataforma de hardware y software que se conecta a los sistemas de control complementándolos, y permite ejecutar algoritmos de control más sofisticados que las estructuras de control PID existentes en ellos. En la actualidad existen sistemas de control que vienen con estas capacidades. Básicamente existen tres técnicas de control avanzado: control basado en modelos, control basado en inteligencia artificial y la combinación de ambas técnicas.

Sistema de Información de Procesos: Plataforma de hardware y software que habilita la gestión en tiempo real de la operación donde se integra en un solo ambiente toda la información correspondiente a las funciones de Control de Procesos, Gestión de activos, Gestión de suministros y Gestión de calidad. En esta plataforma se realiza la validación de los datos de proceso y su reconciliación para generar información de procesos. Para ello se utilizan algoritmos matemáticos específicos que obedecen a balances (masa, energía) y reglas de negocio, con el apoyo de modelos apropiados.

Los beneficios económicos derivados de cada función, según el modelo anteriormente descrito, pueden ser agrupados en 2 categorías:

- 1) Control de Procesos: Aumento de procesamiento, aumento en la recuperación metalúrgica, aumento en la utilización de los activos.
- 2) Gestión Operacional Integrada: Disminución en los costos de mantenimiento, aumento en la disponibilidad de los activos, disminución en el consumo específico de suministros (agua y energía) e insumos.

## CENTRO DE CONTROL OPERACIONAL

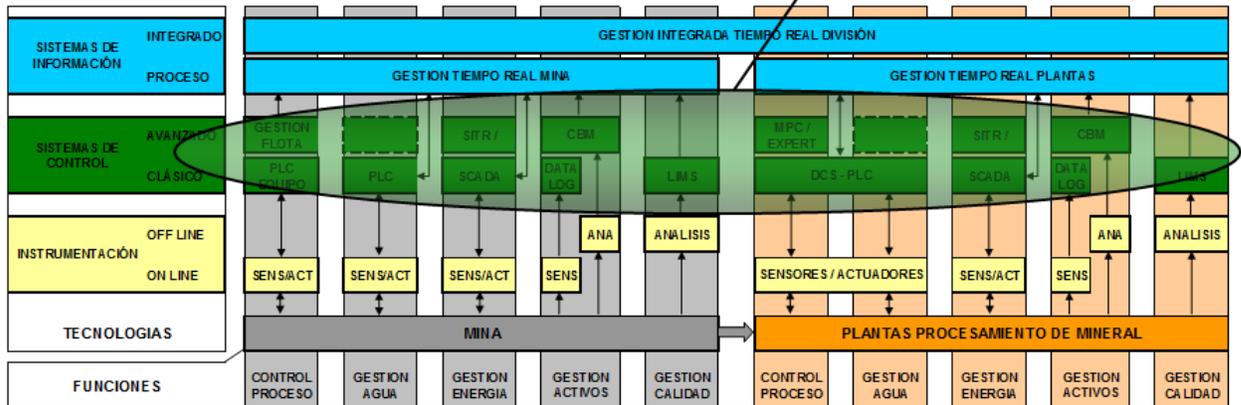


Ilustración 3: Modelo Funcional Control de Procesos y Automatización

En esta figura se muestra, encerrado con un círculo, el nivel de control de procesos con todos los sistemas que debe integrar. El siguiente nivel, el de más arriba, corresponde al de supervisión que tiene que ver con todo el análisis de la información y la posterior gestión operacional.

## 2.2 Oportunidades detectadas por la empresa:

### 1. Mejorar parámetros operacionales y rendimientos.

Esto se justifica ya que hasta ahora los parámetros operacionales y rendimientos están por debajo de lo planificado. Ejemplos de los valores actuales de algunos parámetros comparados con sus valores budget son:

Tabla 4: Parámetros operacionales Mina

Parámetro	Actual	Budget
Utilización eq. carguío	53%	55%
Utilización eq. transporte	62%	60%
Movimiento de mina	111 Mton	114 Mton

*Fuente: Anglo American*

Tabla 5: Parámetros Operacionales Molienda

Parámetro	Actual	Budget
Mineral tratado	20,5 Mton	20,8 Mton
Utilización planta	93,3%	95%

*Fuente: Anglo American*

Tabla 6: Parámetro Operacional Flotación

Parámetro	Actual	Potencial <sup>5</sup>
Recuperación Cu	87%	87,75%

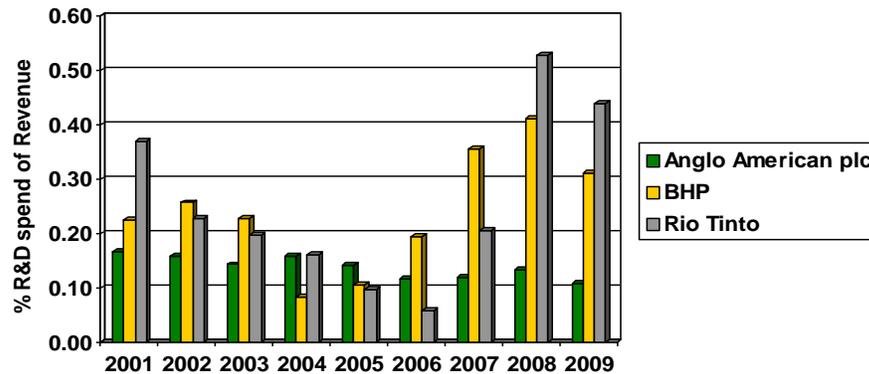
Fuente: Anglo American

Los parámetros que interesan mejorar son la utilización de equipos y la utilización de la planta, y eso se logra con un mejor seguimiento y control de los equipos de manera de reducir las fallas y mantenciones no programadas. Al aumentar la utilización aumenta el tratamiento de mineral, pues la utilización se refiere al tiempo en que efectivamente se está utilizando el equipo.

## 2 Disminuir el gap existente en el área de control de procesos y automatización.

Anglo American invierte poco porcentaje de sus ingresos en Investigación y Desarrollo, en comparación con otras compañías, como lo demuestra el siguiente gráfico:

Gráfico 1: Inversión en I&D



Fuente: Anglo American

Esto demuestra que Anglo American invierte menos en tecnologías en comparación con sus principales competidores, quedando en un nivel bastante más bajo. La empresa se ha quedado atrás en lo que respecta en inversiones en tecnologías debido al rápido cambio de éstas. Sin embargo, dadas las condiciones más difíciles que se ven enfrentadas por la minería se hacen necesarias nuevas herramientas, y es una tendencia en la industria adoptar nuevas tecnologías para combatirlos, y para entregar mayor seguridad laboral a sus trabajadores, así en el largo plazo contar con las mejores tecnologías es clave para operar de manera segura y eficiente.

## 3 Aumento de la utilización de los sistemas claves de gestión de la información.

Actualmente existe una baja utilización de estos sistemas debido principalmente a: Mediana mantención y actualización de los sistemas, bajo conocimiento de éstos, la implementación original de los sistemas se hizo con baja participación de los operadores, mínima integración de los sistemas, no hay versiones amigables, cultura organizacional atrasada en T.I., no otorgan información en tiempo real, y mucha información es capturada manualmente. Al tener un sistema

<sup>5</sup> Este valor potencial fue tomado de la experiencia de Andina, Codelco con su Centro Integrado de Operaciones. Ver en anexo 2 benchmarking realizado.

que integre la información de todos los otros sistemas, todos los trabajadores deberán ser capacitados para saber utilizarlo, y así obtener la información que a cada uno le sirva, sin tener que estar dependiendo que otra persona se los facilite (como ocurre con los sistemas diferentes).

#### 4 *Optimizar la gestión de los activos*

En minería a diferencia de otras industrias, los activos son muy caros, por lo tanto se hace necesario tener una buena gestión de éstos, para poder aumentar su utilización, realizar las mantenciones sólo en las fechas programadas, y darles de baja efectivamente cuando se cumple su vida útil. Con un centro integrado, se podrán tomar medidas preventivas de acuerdo a las nuevas condiciones del mineral, de modo de proteger los equipos, pues la planta podrá contar con información en tiempo real de lo que sucede en la mina. El impacto estimado de una buena gestión de activos es cumplir sólo con las mantenciones programadas, que puede llegar a significar una reducción de costos de MUS\$ 3.

#### 5 *Aumentar la colaboración entre áreas*

Actualmente cada subproceso (mina, molienda y flotación) se tratan como procesos independientes. Evidencia de esto, es que existen reuniones, llamadas Mine to Mill y Mill to Flotation, las que tienen como finalidad analizar en conjunto las medidas y decisiones a tomar, compartir información relevante, etc., para alcanzar la producción, sin embargo éstas no se concretan.

### 3. Objetivos

---

#### Objetivo General:

Rediseñar el proceso de control y monitoreo del proceso productivo de la División Los Bronces, para lograr mayor eficacia en éste, a través de un modelo integrado de operación, y que ayudará a aumentar la producción y reducir costos.

#### Objetivos específicos:

- Detectar los principales problemas y sus causas en el proceso de control actual.
- Documentar y estandarizar actividades y procedimientos del proceso de control, de manera de lograr mayor colaboración y eficacia en el proceso.
- Proponer mejoras para mayor coordinación entre áreas.
- Obtener los potenciales beneficios de la nueva forma de realizar el control.

## 4. Marco Conceptual

---

### 4.1 Control de Procesos<sup>6</sup>

El control es una etapa primordial en la administración, pues, aunque una empresa cuente con magníficos planes, una estructura organizacional adecuada y una dirección eficiente, el ejecutivo no podrá verificar cuál es la situación real de la organización si no existe un mecanismo que se cerciore e informe si los hechos van de acuerdo con los objetivos.

El concepto de control es muy general y puede ser utilizado en el contexto organizacional para evaluar el desempeño general frente a un plan estratégico.

#### 4.1.1 Elementos de concepto

Relación con lo planteado: Siempre existe para verificar el logro de los objetivos que se establecen en la planeación.

Medición: Para controlar es imprescindible medir y cuantificar los resultados.

Detectar desviaciones: Una de las funciones inherentes al control, es descubrir las diferencias que se presentan entre la ejecución y la planeación.

Establecer medidas correctivas: El objeto del control es prever y corregir los errores.

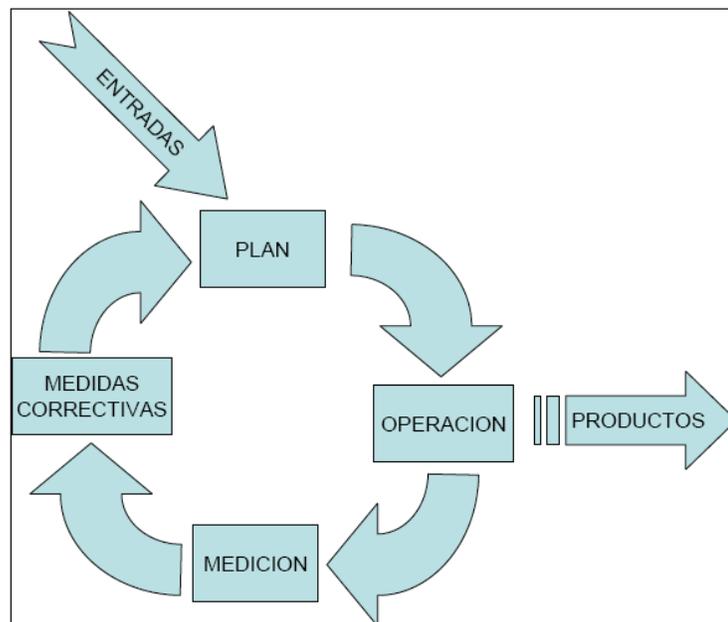


Diagrama 1: Concepto de Mejoramiento Continuo

---

<sup>6</sup> Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos14/control/control.shtml#def>

#### **4.1.2 Requisitos de un buen control**

Corrección de fallas y errores: El control debe detectar e indicar errores de planeación, organización o dirección.

Previsión de fallas o errores futuros: el control, al detectar e indicar errores actuales, debe prevenir errores futuros, ya sean de planeación, organización o dirección.

#### **4.1.3 Importancia del control**

Una de las razones más evidentes de la importancia del control es porque hasta el mejor de los planes se puede desviar. El control se emplea para:

Crear mejor calidad: Las fallas del proceso se detectan y el proceso se corrige para eliminar errores.

Enfrentar el cambio: Este forma parte ineludible del ambiente de cualquier organización. Los mercados cambian, la competencia en todo el mundo ofrece productos o servicios nuevos que captan la atención del público. Surgen materiales y tecnologías nuevas. Se aprueban o enmiendan reglamentos gubernamentales. La función del control sirve a los gerentes para responder a las amenazas o las oportunidades de todo ello, porque les ayuda a detectar los cambios que están afectando los productos y los servicios de sus organizaciones.

Producir ciclos más rápidos: Una cosa es reconocer la demanda de los consumidores para un diseño, calidad, o tiempo de entregas mejorados, y otra muy distinta es acelerar los ciclos que implican el desarrollo y la entrega de esos productos y servicios nuevos a los clientes. Los clientes de la actualidad no solo esperan velocidad, sino también productos y servicios a su medida.

Agregar valor: Los tiempos veloces de los ciclos son una manera de obtener ventajas competitivas. Otra forma, aplicada por el experto de la administración japonesa Kenichi Ohmae, es agregar valor. Tratar de igualar todos los movimientos de la competencia puede resultar muy costoso y contraproducente. Ohmae, advierte, en cambio, que el principal objetivo de una organización debería ser “agregar valor” a su producto o servicio, de tal manera que los clientes lo comprarán, prefiriéndolo sobre la oferta del consumidor. Con frecuencia, este valor agregado adopta la forma de una calidad por encima de la medida lograda aplicando procedimientos de control.

Facilitar la delegación y el trabajo en equipo: La tendencia contemporánea hacia la administración participativa también aumenta la necesidad de delegar autoridad y de fomentar que los empleados trabajen juntos en equipo. Esto no disminuye la responsabilidad última de la gerencia. Por el contrario, cambia la índole del proceso de control. Por tanto, el proceso de control permite que el gerente controle el avance de los empleados, sin entorpecer su creatividad o participación en el trabajo.

#### 4.1.4 Elementos del control

El control es un proceso cíclico y repetitivo. Está compuesto de cuatro elementos que se suceden:

- 1) Establecimiento de estándares: Es la primera etapa del control, que establece los estándares o criterios de evaluación o comparación. Un estándar es una norma o un criterio que sirve de base para la evaluación o comparación de alguna cosa. Existen cuatro tipos de estándares; los cuales se presentan a continuación:
  - Estándares de cantidad: Como volumen de producción, cantidad de existencias, cantidad de materiales primas, números de horas, entre otros.
  - Estándares de calidad: Como control de materia prima recibida, control de calidad de producción, especificaciones del producto, entre otros.
  - Estándares de tiempo: Como tiempo estándar para producir un determinado producto, tiempo medio de existencias de un producto determinado, entre otros.
  - Estándares de costos: Como costos de producción, costos de administración, costos de ventas, entre otros.
- 2) Evaluación del desempeño: Es la segunda etapa del control, que tiene como fin evaluar lo que se está haciendo.
- 3) Comparación del desempeño con el estándar establecido: Es la tercera etapa del control, que compara el desempeño con lo que fue establecido como estándar, para verificar si hay desvío o variación, esto es, algún error o falla con relación al desempeño esperado.
- 4) Acción correctiva: Es la cuarta y última etapa del control que busca corregir el desempeño para adecuarlo al estándar esperado. La acción correctiva es siempre una medida de corrección y adecuación de algún desvío o variación con relación al estándar esperado, e implica informar a los actores relevantes para que tomen sus decisiones.

#### 4.2 Excelencia Operacional<sup>7</sup>

Es una versión renovada del TQM tradicional. Su objetivo es alcanzar y sostener los más altos estándares de desempeño en las variables claves del negocio, y también en aspectos fundamentales que lo sustentan, como la seguridad y el medio ambiente. Para ello, propone enfocar el trabajo de todas las unidades hacia los objetivos estratégicos de la empresa, a través de índices críticos de desempeño. Luego incorpora un estilo de gestión que considera la participación activa y empoderada de la supervisión y los trabajadores, con el propósito de alcanzar el mejoramiento continuo y generar los resultados deseados y mejores prácticas.

---

<sup>7</sup> Fuente: <http://www.eauc.cl/publicaciones/wp-content/uploads/2008/08/de-la-gestion-de-calidad-a-la-excelencia-operacional.pdf>

### 4.3 Rediseño de procesos<sup>8</sup>

Es necesario desarrollar un modelo para:

- Identificar, documentar y comunicar las actividades principales de la empresa.
- Ver cómo las actividades se interrelacionan con otras
- Identificar las actividades que aportan valor y no aportan valor.
- Identificar actividades que necesitan ser mejoradas.

Los beneficios de un modelo son:

- Documenta las actuales actividades, para entender en qué situación se encuentra la empresa.
- Reduce la curva de aprendizaje para nuevos usuarios.
- Facilita el rediseño para escenarios como deben ser.

El rediseño de procesos corresponde a identificar donde se origina la necesidad de rediseño:

- Hay quiebres
- Hay desperdicios
- Hay malas prácticas que cambiar
- Fusiones o adquisiciones.
- Etc.

Nace de problemas, oportunidades o directrices (dueños).

Pasos a seguir:

1. Definir el proceso. Se trata de identificar aquel proceso cuya mejora afectará de manera significativa la performance de la compañía.
2. Identificar los resultados deseados.
3. Analizar de la situación actual: Se debe comprender el estado de la situación actual en todas sus dimensiones.
4. Modelar la situación actual.
5. Validar y definir métricas para identificar la performance actual del proceso. Existen de dos tipos de métricas:
  - a) Variables de proceso: Son aquellas que miden los flujos en los procesos.
  - b) Variables de Estado: Son aquellas que miden etapas en los procesos.
6. Diagnosticar la situación actual: Identificar aquellos puntos vitales que se sabe que si están bajo control, hay muchas probabilidades que todo salga bien.

---

<sup>8</sup> Apuntes Curso IN55A: Juan Velásquez (otoño2009). Rediseño de Procesos.

7. Rediseñar: Primero se debe visualizar brechas entre la situación actual y la deseada. Luego se deben identificar cuáles serán las líneas de cambio. Por último se debe modelar el nuevo modelo.
8. Ver condiciones para la implementación: Deben existir condiciones favorables para el éxito del proyecto.

## 5. Metodología

---

Para llevar a cabo el rediseño del proceso de control para el centro integrado de operaciones, hay que llevar a cabo las siguientes etapas:

1. Definición del proyecto: En esta primera parte, se debe establecer el proceso que se va a analizar y posteriormente rediseñar, en base a las necesidades de la empresa, además del establecimiento de los objetivos y alcances del proyecto. Para esto se conversó con el tutor a cargo del proyecto, el superintendente de Molienda, Patricio Chacana.
2. Levantamiento de la Situación Actual: Eso se hará recopilando información del funcionamiento actual del proceso de control y análisis, por medio de entrevistas a las personas involucradas en esta etapa, como los son los operadores de las salas de control e ingenieros a cargo del proceso, que tienen como finalidad recoger las responsabilidades, actividades, problemas y funcionamiento del trabajo realizado por estas personas. Los principales temas abordados en las entrevistas son:

Operadores Sala de Control (4 operadores sala de molienda, 1 de flotación, y 1 de mina):

- En qué consiste el control.
- Procedimientos y estrategias de control.
- Comunicación entre áreas.
- Procedimientos en caso de problemas.
- Reportes generados.

Ingenieros áreas de Ingeniería y Control de Procesos (Superintendente) y Operaciones (Jefe de Operaciones y Asesor Operacional):

- Funciones del área.
- Personas y responsabilidades que trabajan en el área.
- Procedimientos a seguir.
- Interacciones con operadores y otras áreas.
- Reportes generados.

3. Modelamiento de la Situación Actual: Para realizar esta etapa del plan de trabajo se utilizará el Modelo de Roles y el modelo BPMN<sup>9</sup>, los cuales se describen a continuación:

---

<sup>9</sup> Apuntes Curso IN55A: Juan Velásquez (otoño2009). Modelamiento de Procesos de Negocio

## **Modelo BPMN**

El modelo BPMN es una notación gráfica que describe los pasos de un proceso de negocio. BPMN describe de extremo a extremo el flujo de un proceso de negocio. La notación ha sido diseñada específicamente para coordinar las secuencias de los procesos y los mensajes que fluyen entre los distintos participantes de los procesos en un conjunto relacionado de actividades.

Sus ventajas son:

- Es de fácil comprensión.
- Es un método formal.
- Permite modelar muchas situaciones en la empresa.
- Permite difundir de forma estándar los procesos de negocio e incluso los procesos de los sistemas de información.

## **Modelo de Roles**

El modelo de roles describe los agentes (actores) que participan en una actividad y las interacciones entre ellos. Se apoya en la posición y responsabilidades de un actor respecto de una estructura de otros tantos, que es precisamente los que percibimos cuando examinamos un conjunto de actores en colaboración. Un rol describe el comportamiento de un agente en el contexto de una actividad.

El modelo de Roles:

- Considera el flujo de actividades y documentos en una sola representación.
- Identifica a los responsables de cada actividad y muestra las actividades que los unen.
- Es bastante pedagógico, relevante cuando el cliente no es experto en materias de modelamiento de procesos.
- Evidencia la falta de requisitos para el inicio de una actividad.

Se realizarán ambos modelos en base al levantamiento de la situación actual y a las entrevistas anteriormente hechas.

4. Validación y Medición: Se verificará con las personas a cargo del proceso de control la validez del modelamiento para que no contenga ningún error o falte información. Posteriormente se medirá el desempeño actual del proceso mediante métricas relevantes de todos los subprocesos para saber su actual funcionamiento. Algunas de estas métricas son: Movimiento Mina, nivel del stock pile, granulometría, densidad del mineral, tph en molienda, variabilidad de la producción y de la flotación.
5. Diagnóstico de la Situación Actual: Se identificarán las variables críticas y los problemas del proceso de control en base al modelamiento y levantamiento de la situación actual, viendo las etapas y actividades ineficientes que producen los problemas. Para representarlos de una manera fácil de visualizar se utilizará la herramienta de los diagramas de Ishikawa o Causa-Efecto, para también determinar las principales causas que los provocan.

## Diagrama de Ishikawa<sup>10</sup>

El diagrama de Ishikawa, o Diagrama de Causa-Efecto, es una herramienta que ayuda a identificar, clasificar y poner de manifiesto posibles causas, tanto de problemas específicos como de características de calidad. Ilustra gráficamente las relaciones existentes entre un resultado dado (efectos) y los factores (causas) que influyen en ese resultado. Existen causas primarias y secundarias dentro de cada diagrama, siendo las primeras más relevantes, y las segundas son causas menores, pero asociadas a las principales.

A continuación se presenta un esquema de éste tipo de diagrama:

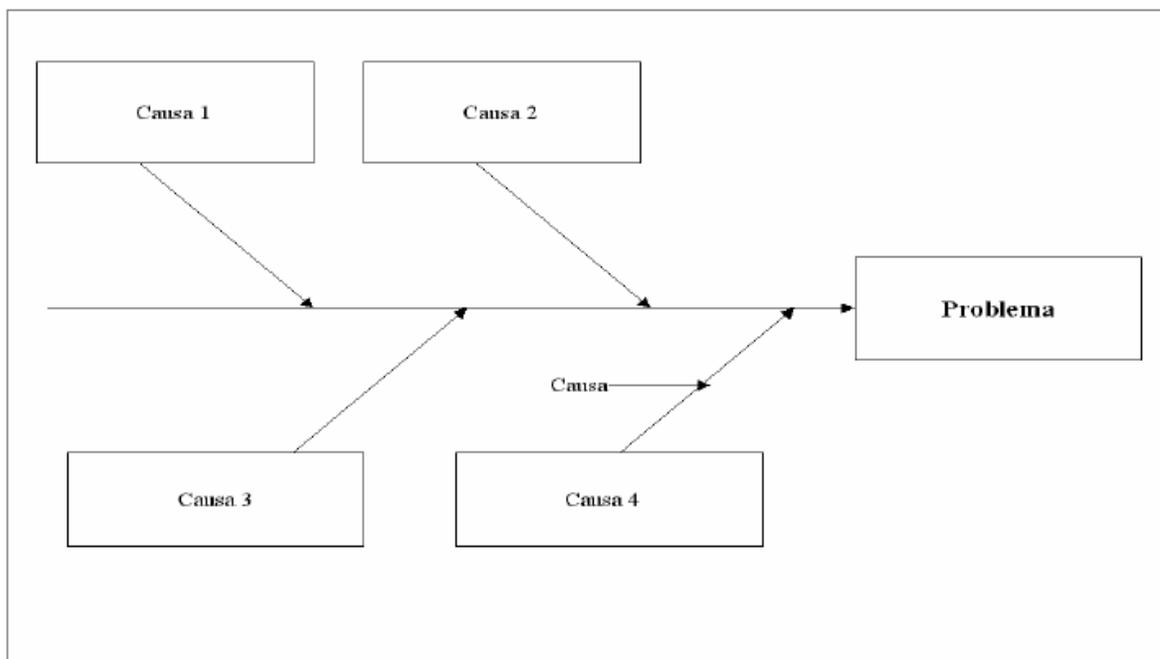


Diagrama 2: Diagrama de Ishikawa

6. Rediseño: Se analizarán las posibles soluciones a los problemas identificados, y se evaluarán en base a las necesidades y requerimientos de la División, dejando aquellas que más se adecuen, de manera de aumentar la eficiencia del proceso de control, y la integración de las partes. Para esto, también se hará un benchmarking, para determinar las mejores prácticas y el funcionamiento del control en otros centros integrados. Particularmente, se visitó el centro de Andina (ver anexo 3).
7. Propuestas para la Implementación: Básicamente se recomendarán ciertas acciones o tareas a realizar para que al momento de implementar el rediseño funcione como se esperaba, basándose en la gestión del cambio descrita en la sección del marco conceptual.

<sup>10</sup> Fuente: [www.aiteco.com/ishikawa.htm](http://www.aiteco.com/ishikawa.htm)

## 6. Alcances

---

- Se hará un levantamiento de la situación actual y rediseño considerando el control de Mina, Chancado, Molienda y Flotación, y sus responsables.
- No se considerará como parte del trabajo, analizar el control del proceso de producción de cátodos, ya que representa un porcentaje bajo de la producción total, y su control no se realiza a través de una sala de operaciones, sino que más bien a través de control químico (de laboratorios).
- Se considerará el proceso de Ingeniería y Control de Procesos, que corresponde básicamente al análisis de la información.
- Determinación de problemas en el actual proceso de control y análisis, en base a necesidades de información.
- Propuestas de rediseño para los procesos de control y análisis, enfocadas a un centro remoto de operaciones, donde se hará el control integrado.
- Identificar actividades e indicadores importantes para lograr un control integrado, que permita cumplir con los planes de producción.

## 7. Resultados Esperados

---

Principalmente lo que se espera obtener con el rediseño del proceso de monitoreo y control, y de los roles de los cargos que trabajarán en el centro integrado de operaciones es:

- El nuevo procedimiento y actividades a desarrollar para lograr un mejor control del proceso.
- Mejoras respecto a la interacción entre los distintos agentes y sobre la gestión del cambio para lograr que se implemente de forma exitosa el proyecto.
- Propuestas para una implementación exitosa del proyecto
- Los potenciales beneficios de la implementación del rediseño.

## 8. Levantamiento Situación Actual

---

Hoy en día en la División Los Bronces existen cuatro salas de control funcionando más otra que está en construcción:

1° Mina: En la mina existe una sala de control desde donde se controla el despacho de la mina junto con otras variables importantes de esta operación.

2° Chancador primario: Aquí existe una sala donde se controlan variables como la granulometría, la velocidad de la correa de transporte, se maneja el pica roca en caso de que el mineral se presente en bolones (tamaño muy grande para que pueda entrar en el chancador), etc.

3° Molienda: En esta planta se encuentra la segunda sala donde se monitorea el proceso de molienda, controlando variables tales como la dureza del mineral, cantidad de agua, tiempo de residencia en los molinos, granulometría, etc., en total el sistema pueda registrar alrededor de 2.000 variables. Además se controla el STP (sistema de transporte de pulpa), donde se mide la presión, flujos de entradas y salidas del mineroducto, etc.

4° Las Tórtolas: En esta planta existe otra sala que permite controlar el proceso de flotación.

5° Confluencia: Esta sala de control está en construcción junto con la nueva planta de Los Bronces llamada Confluencia, derivada del proyecto de expansión. Entrará en operación el próximo año.

El centro integrado de operaciones se pretende instalar en la planta Las Tórtolas, por las siguientes razones:

- Tiempos de viaje y accidentes son menores, y mejora la calidad del camino.
- Los costos de mano de obra son un 10% más bajos que en Los Bronces.
- Se encuentra en construcción un anillo de fibra óptica que conectará todas las instalaciones de la División.

### **Visión de los Procesos**

La visión de la División es: “Ser reconocidos por nuestra excelencia operacional”.

La misión es: “Agregar valor desplegando ágilmente toda nuestra capacidad de negocio”.

El objetivo final de la Estrategia de la Planta es contribuir desde el ámbito que les es propio al proceso de creación de valor del negocio al que pertenece, de manera de lograr los retornos sobrenormales.

## 8.1 Descripción de los Procesos

En esta sección se presentará la descripción completa de los procesos de control en las salas de molienda, chancado y flotación, el proceso de control en mina, y el proceso de ingeniería y análisis.

El proceso de Control en general, tiene como principal cliente a los gerentes de las áreas respectivas, los cuales buscan cumplir con el Budget.

### 8.1.1 Proceso Control Mina

El principal objetivo de este proceso, es maximizar la alimentación a la planta, el movimiento mina, y minimizar el tiempo de espera de los camiones.

Este proceso se encarga del control del despacho de la mina (con el sistema Dispatch), se monitorea la posición exacta de cada equipo, el trabajo que está realizando, el mineral que se está cargando, y dependiendo de su ley se determina hacia qué lugar va a ser depositado (planta, botaderos, o stock de baja ley).

Además se realiza un control de variables destinadas a la seguridad, como por ejemplo, la presión y temperatura de los neumáticos de los camiones, las cuales si están fuera de un rango definido de operación, el camión se manda al taller mecánico. Se tiene un monitoreo geomecánico, que da alarmas en caso de que exista mucho movimiento en la mina, si es así se da aviso al jefe de operaciones, quien debe coordinar el estudio y análisis inmediato de la estabilidad de la mina.

Todos los días se elabora un reporte respecto al mineral minado y movido, con sus características del día anterior.

Aquí no existe un área de análisis, sólo de Planificación Mina, la cual se encarga de elaborar planes de movimiento de mineral y características de éste, el cual es enviado a la planta de Molienda mensualmente.

Las consecuencias de este control, que en realidad es más un monitoreo, es que se hace en función a las condiciones diarias de operación, sin incluir datos históricos que puedan ser importantes, y no hay un análisis acabado de toda la información que se recoge.

En este proceso trabajan 2 despachadores en la sala de control, 1 jefe de operaciones, y los operadores de las palas y camiones<sup>11</sup>.

Las principales variables que se monitorean en este proceso son:

- Temperatura y presión de los neumáticos de los camiones, se tiene un rango de operación.
- Posición de cada uno de los equipos.

---

<sup>11</sup> Ver en anexo C descripciones de los cargos.

- Ley del mineral cargado en cada camión.
- Movimientos geomecánicos de la mina.

### **8.1.2 Proceso de Monitoreo y Control Molienda y Chancado**

El principal objetivo que sigue el operador del chancador es operar cuidando al chancador, y mantener el stock pile con buenos niveles.

Esta etapa es la proveedora de la molienda, y pertenece justamente a esa área. Además viene a ser el cliente del proceso Mina, pues el procesamiento que haga y la forma en que lo haga, incidirá de manera determinante en la etapa de chancado y molienda.

El principal objetivo que persiguen los operadores de la sala de molienda es maximizar el tonelaje, cuidando los equipos y el producto final, el cual debe ser de un 18% sobre la malla 65 tyler (malla con aberturas de 0,0083  $\mu$ m). El producto final de molienda no puede tener más de un 20% sobre esta malla, puesto que afectaría la recuperación en el proceso de flotación.

Estos procesos de control se encargan de velar por el funcionamiento diario del proceso de chancado y molienda, por lo tanto, reúne a la parte de monitoreo y control desde las salas, y su supervisión.

En estas salas básicamente los operadores tienen acceso al estado (alarmas) y control de los equipos de la planta, donde monitorean y controlan las variables metalúrgicas, viendo las tendencias registradas en el sistema de las últimas horas, y son responsables de la coordinación con los operadores en terreno.

En caso de detenciones, el operador es el encargado de dar el aviso a los otros subprocesos.

El operador de las salas de control debe registrar cualquier evento ocurrido en la planta en una bitácora, y al igual que en la mina se realiza un reporte diario de producción.

Las principales variables que se controlan, viendo su valor en tiempo real son:

- Velocidad correas transportadoras, debe ser controlada de acuerdo al mineral que transporta.
- Dureza del mineral: Se mide para saber la potencia de los molinos requerida.
- Granulometría: Se mide a la entrada y salida de los molinos donde hay harneros, que van separando la pulpa de acuerdo a su tamaño. Al término del proceso de molienda no debe ser de más de un 21% sobre tamaño de 0,0083 micrones.
- Densidad de la pulpa a la entrada y salida de cada molino y en espesadores: Se controla con el flujo de agua. Al término del proceso de molienda debe estar en un 52% de porcentaje sólido.

- Sistema de agua (control del flujo de rebombeo): Se controla el agua ocupada en el tratamiento.
- Potencia de los molinos. Se controla en base a límites definidos de operación, a través del tonelaje (a mayor tonelaje sube la potencia).
- Tiempo de residencia en los molinos.
- Sistema de transporte de pulpa (medición de presión y flujómetros). Se controla la presión a través del mineroducto, tal que la pulpa llegue con una presión de x a la planta de flotación
- Lubricación de los Molinos.

En la sala de control de chancado trabaja un operador por turno, y en la planta de molienda trabajan 10 personas por turno, con el sistema 9x3 (nueve días de trabajo de 8 horas, y tres de descanso). Entre estas 10 personas, que conforman un equipo de alto desempeño (EAD), se encuentran<sup>12</sup>:

- 1 operador de sala
- 1 operador planta I
- 1 operador principal
- 2 mecánicos
- 1 eléctrico
- 1 operador planta II
- 3 operadores exteriores (que se encuentran en la planta)

Además en operaciones trabaja un jefe de operaciones, y cuatro asesores operacionales.

Este proceso de control esencialmente consta en que los operadores no integran la información de sus “proveedores” en la forma de operación del control, no tienen visibilidad a los indicadores claves de gestión, como son las variabilidades de las variables controladas, y por eso realizan su trabajo en base a los valores registrados de las variables de su etapa respectiva, causando que el proceso se controle superficialmente, y no considerando factores más profundos que lo afectan..

### **8.1.3 Proceso Monitoreo y Control Flotación**

El proceso de control en la planta de flotación Las Tórtolas tiene como principal objetivo maximizar la recuperación de cobre y la producción de cobre fino con la ley de concentrado óptima.

---

<sup>12</sup> Ver descripciones de los cargos en anexo C

El subproceso de Flotación es cliente de la Molienda, pues su operación o procesamiento afecta el objetivo final de la flotación.

En esta sala básicamente los operadores tienen acceso al estado (alarmas) y control de los equipos de la planta, donde monitorean y controlan las variables metalúrgicas, viendo las tendencias registradas en el sistema de las últimas horas, y son responsables de la coordinación con los operadores en terreno.

En caso de detenciones, el operador es el encargado de dar el aviso a los otros subprocesos.

El operador de las salas de control debe registrar cualquier evento ocurrido en la planta en una bitácora, y al igual que en la mina se realiza un reporte diario de producción.

En la sala de control de Las Tórtolas trabajan 8 personas con el sistema de turno 9x3, entre ellas un operador de sala, 4 operadores de terreno y 3 especialistas en mantención (un eléctrico, un mecánico y un instrumentista).<sup>13</sup> Todas estas personas conforman un EAD. Además existe un asesor operacional por turno.

En esta etapa las principales variables que se controlan son:

- Recuperación y ley de cobre: Hay estándares establecidos, la ley es de alrededor de un 30% y la recuperación de un 87%.
- Humedad del concentrado: Se monitorea la humedad, debe ser como máxima de un 8%.
- Dosificación de reactivos: Se debe controlar de manera de entregarle la propiedad hidrófoba al mineral. La cantidad de reactivos requerida en el proceso dependerá de las pruebas metalúrgicas preliminares y del balance económico desprendido de la evaluación de los consumos.
- Porcentaje de sólidos: Se monitorea para determinar otros parámetros.
- Tiempo de residencia en las celdas de flotación: El tiempo de residencia dependerá de la cinética de flotación de los minerales de la cinética de acción de reactivos, del volumen de las celdas, del porcentaje de sólidos de las pulpas en las celdas y de las cargas circulantes.
- pH de la pulpa: La flotación es sumamente sensible al pH, especialmente cuando se trata de flotación selectiva. Cada fórmula de reactivos tiene un pH óptimo ambiente en el cual se obtendría el mejor resultado operacional.
- Aireación y acondicionamiento de la pulpa: Según el porcentaje de sólidos se determina la aireación.

---

<sup>13</sup> Ver en anexo C descripción de los cargos

### 8.1.4 Proceso de Ingeniería y Control de Procesos

El área de Ingeniería y Control de Procesos (incluye planta de cátodos, de molienda, y de flotación) tiene 2 grandes líneas de trabajo:

- 1) **Análisis y control:** Consiste principalmente en el análisis de tendencias de las variables y parámetros operacionales con el fin de velar por el buen funcionamiento del proceso, cuidando los equipos. Se realiza un análisis diario y mensual de las variables que juegan un rol importante en el proceso, como lo son la potencia de los equipos, granulometría, etc., para así encontrar las causas de los comportamientos anormales de éstas, y poder determinar una periodo de duración de los equipos y repuestos.
- 2) **Ingeniería:** En esta parte el equipo de control de procesos busca nuevas oportunidades, en base al análisis de las variables, para dar “saltos” hacia una mejor forma de control, y hacia un proceso más eficiente. Buscan básicamente formas de innovación para agregar valor al negocio.

En esta superintendencia trabajan 37 personas de Anglo, entre las cuales 22 pertenecen al área de laboratorios y control de calidad (1 supervisor y 21 empleados), 5 son del área de control de gestión (1 supervisor y 4 analistas). Los 10 restantes son del área de ingeniería y control de procesos de las plantas de cátodos (2 supervisores), planta concentradora (3 supervisores), control de procesos transversal (2 supervisores y 2 técnicos), y el superintendente.<sup>14</sup>

### 8.2 Uso de tecnologías

Cada subproceso utiliza su propio sistema, los cuales están muy poco integrados, lo que genera que los operadores no vean información importante de otras etapas para su control.

Tabla 7: Caracterización Sistemas Actuales

Sistema	% de uso	Cobertura	Opinión de los usuarios	Nivel de Integración
Dispatch	Medio-Alto	Baja	Se necesita mayor automatización en reportes. Hoy se requiere mucho trabajo manual. Falta conocimiento para aprovechar la información.	Bajo
PI System	Medio-Bajo	Media	No se usa como práctica de trabajo en Mantenimiento Mina. El PI se usa en forma muy restringida.	Bajo
Ellipse	Bajo	Baja	Los usuarios sólo alimentan el sistema y no le sacan valor. Es complejo pero con una buena capacitación se puede tener un buen uso.	Muy bajo
SAP	Bajo	Baja	Sólo para gestión de RR.HH.	Nulo

Fuente: Identificación de Factores Críticos de éxito en la implementación del modelo integrado de sistemas Anglo American División Los Bronces. Consultora Gesyneg, 2010.

<sup>14</sup> Ver descripción de cargos en anexo C.

### Comentarios:

- Los KPI oficiales son los de Dispatch y no los de Ellipse. No siempre son los mismos.
- Dispatch con PI y toda la información de mantención en sistemas por separado.
- El estado actual del sistema PI en Los Bronces es el siguiente: Tamaño de servidores mínimo, sólo para cubrir necesidades de reportabilidad con aplicación “SIP” (Sistema de Información Planta) en Gerencia Plantas, es decir, se creó un sistema para que rescate información del PI, y genere reporte con algunas variables e indicadores importantes, sin que haya un mayor análisis de toda la información.
- Los registros del sistema Dispatch son automáticos. Una parte de ellos, en especial los relacionados con los tiempos de operación, dependen de la habilidad del operador o despachador en diferenciar y registrar claramente el estado de un equipo. En esta etapa pueden ocurrir diferencias con el proceso, lo que puede introducir un sesgo en los análisis de gestión.
- En general, los sistemas son poco usados, ya que hubo poca capacitación para los trabajadores, por lo tanto no le sacan provecho a toda la información que contienen.
- Lo anterior provoca que existan ciertos datos poco confiables, que afectarán al análisis y a la toma de decisiones, ya que no es información fidedigna.

En cuanto a lo relacionado con comunicaciones, los operadores de la sala de control se comunican con los de la planta a través de frecuencia radial y teléfono. En caso de mantenciones o detención de algún equipo se pide liberar la frecuencia para darles prioridad a las personas que trabajan en la reparación.

Respecto a la comunicación con las otras áreas, sólo se comunican la planta de molienda con el despacho de la mina para averiguar principalmente causas de un tiraje malo de mineral, características del mineral, etc. También existe comunicación entre la sala de molienda con la sala de control de la planta Las Tórtolas para dar a conocer las condiciones del mineral enviado. Aquí se tiene la ventaja que desde que se manda el mineral por el mineroducto a las Tórtolas transcurren 5 horas, por lo tanto, los operadores tienen ese margen de tiempo para prepararse frente a las nuevas condiciones.

### **8.3 Modelamiento Situación Actual**

A continuación se muestra la modelación de la situación actual del proceso de Monitoreo y Control en las salas de control, del proceso de Ingeniería y Control de Procesos de las plantas y de la mina, con el modelo BPMN y de roles.

La simbología del diagrama de Roles es la siguiente:

Tabla 8: Simbología diagrama de roles

Símbolo	Definición
	Mensaje entre actores
	Decisión
	Proceso
	Comienzo
	Término

### 8.3.1 Descripción Proceso de Control

El proceso de control se compone del Control Mina, Control Chancado y Molienda, Control Flotación, e Ingeniería y Control de Procesos.

El control Mina consta de 3 etapas:

Despacho: El operador de la sala de control despacha los equipos, de tal forma, de minimizar los tiempos de espera de éstos y de maximizar el movimiento de la mina.

Control de variables: Se monitorean las variables de operación que tienen directa relación con la seguridad de los operadores.

Generación de alarmas: En caso de que las variables de operación (como presión y temperatura de los neumáticos) salgan de su rango establecido o el sistema geomecánico de una alarma, se da el aviso correspondiente.

El proceso Control Chancado y Molienda tiene de 5 etapas principalmente:

Monitoreo de las variables: Los operadores de las salas de control monitorean que las variables estén dentro de su rango permitido.

Control de las variables: Si las variables no están dentro de su rango técnico económico, los operadores deben controlarlas de manera de estabilizarlas. Si es un problema que debe ser solucionado en terreno se le da aviso a los operadores que están en la planta para que lo resuelvan.

Detección de un problema mayor: Si el problema consiste principalmente en una falla o detención de un equipo, los operadores de la sala de control le avisan al eléctrico y mecánico de turno, y luego al jefe de operaciones y superintendente correspondiente. El operador de la sala de

control debe coordinarse con los operadores en terreno, y si además es una detención completa debe avisar a mina y flotación.

**Determinación de la causa de falla:** Los operadores en terreno (eléctrico y mecánico) determinan la causa del problema del equipo.

**Solución del problema:** Si es una falla fácil de resolver, que tome poco tiempo, se repara y se pone en marcha el equipo nuevamente. Si es algo más grave, se le debe dar aviso a las otras áreas como mina y planta de flotación o molienda cuando corresponda.

El Control Flotación consta de 5 etapas principalmente:

**Monitoreo de las variables:** Los operadores de la sala de control monitorean que las variables estén dentro de su rango permitido.

**Control de las variables:** Si las variables no están dentro de su rango técnico económico, los operadores deben controlarlas de manera de estabilizarlas. Si es un problema que debe ser solucionado en terreno se le da aviso a los operadores para que lo solucionen.

**Detección de un problema mayor:** Si el problema consiste principalmente en una detención de un equipo, los operadores de la sala de control le avisan al eléctrico y mecánico de turno, y luego al jefe de operaciones y superintendente correspondiente. Para realizar la detención de los equipos el operador de la sala se debe coordinar con los operadores en terreno a través de frecuencia radial. Si es detención completa debe avisar a molienda.

**Determinación de la causa de falla:** Los operadores en terreno (eléctrico y mecánico) determinan la causa del problema del equipo.

**Solución del problema:** Si es una falla fácil de resolver, que tome poco tiempo, se repara y se pone en marcha el equipo nuevamente. Si es algo más grave, se le pide apoyo al todo el EAD y al asesor operacional para resolver el problema.

El proceso de Ingeniería y Control de Procesos cuenta con 7 etapas:

**Control de Procesos:** Se analizan las tendencias de las variables, y se determinan si hay alguna tendencia anormal. Si está todo correcto se realiza el reporte diario.

**Determinación causa:** Se determina cual es la causa de la tendencia anormal encontrada, y se analiza si tendrá un efecto en el periodo de funcionamiento del equipo o repuesto respectivo.

**Dar alertas:** Si es que se pudo predecir alguna futura falla se debe dar el aviso a operaciones para que éste alerte a los operadores.

**Generación de reporte diario:** Se confecciona un reporte diario con los análisis de las tendencias y sus consecuencias.

**Innovación:** Los ingenieros constantemente buscan formas de mejorar el proceso de control mediante distintas iniciativas.

Comunicación a los superintendentes: Cuando se encuentra una iniciativa se le da aviso a los demás superintendentes de las plantas.

Aceptación de innovación: Si todos están de acuerdo con la iniciativa, se realiza un estudio en detalle y posteriormente se pone en marcha.

### 8.3.2 Modelación BPMN

El modelo BPMN del Proceso de Control es:

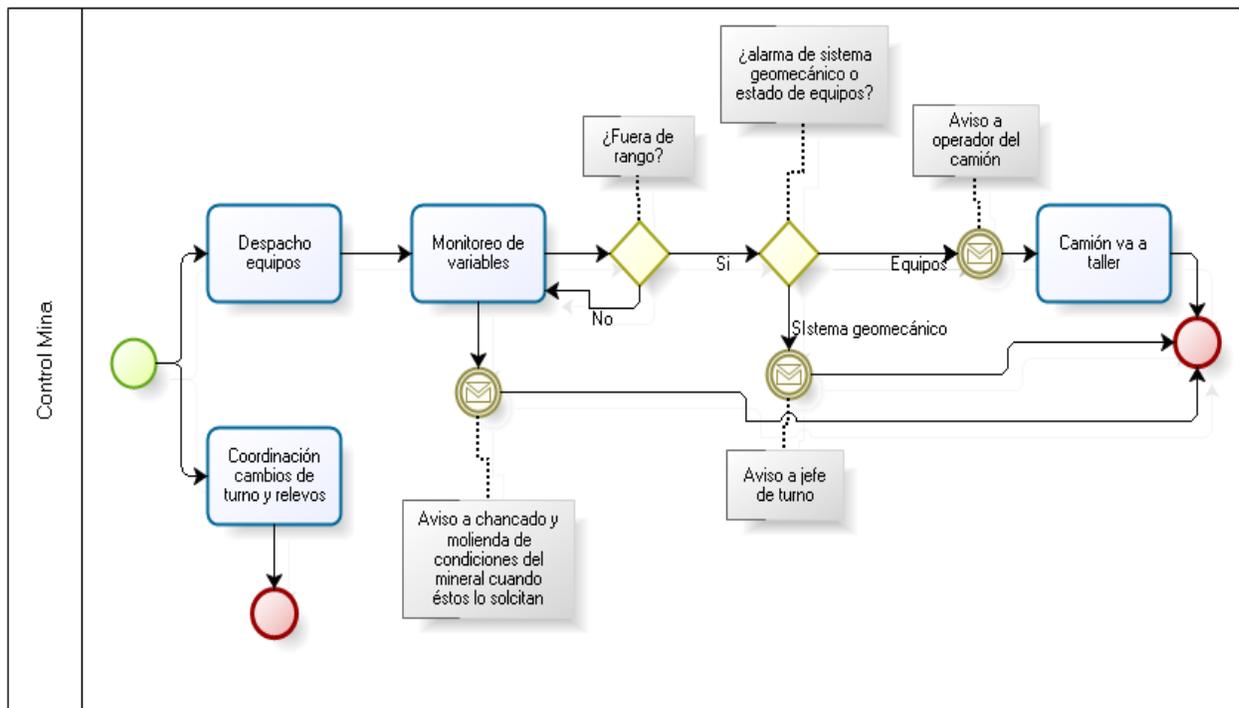


Diagrama 3: Modelo BPMN Proceso Control Mina Actual

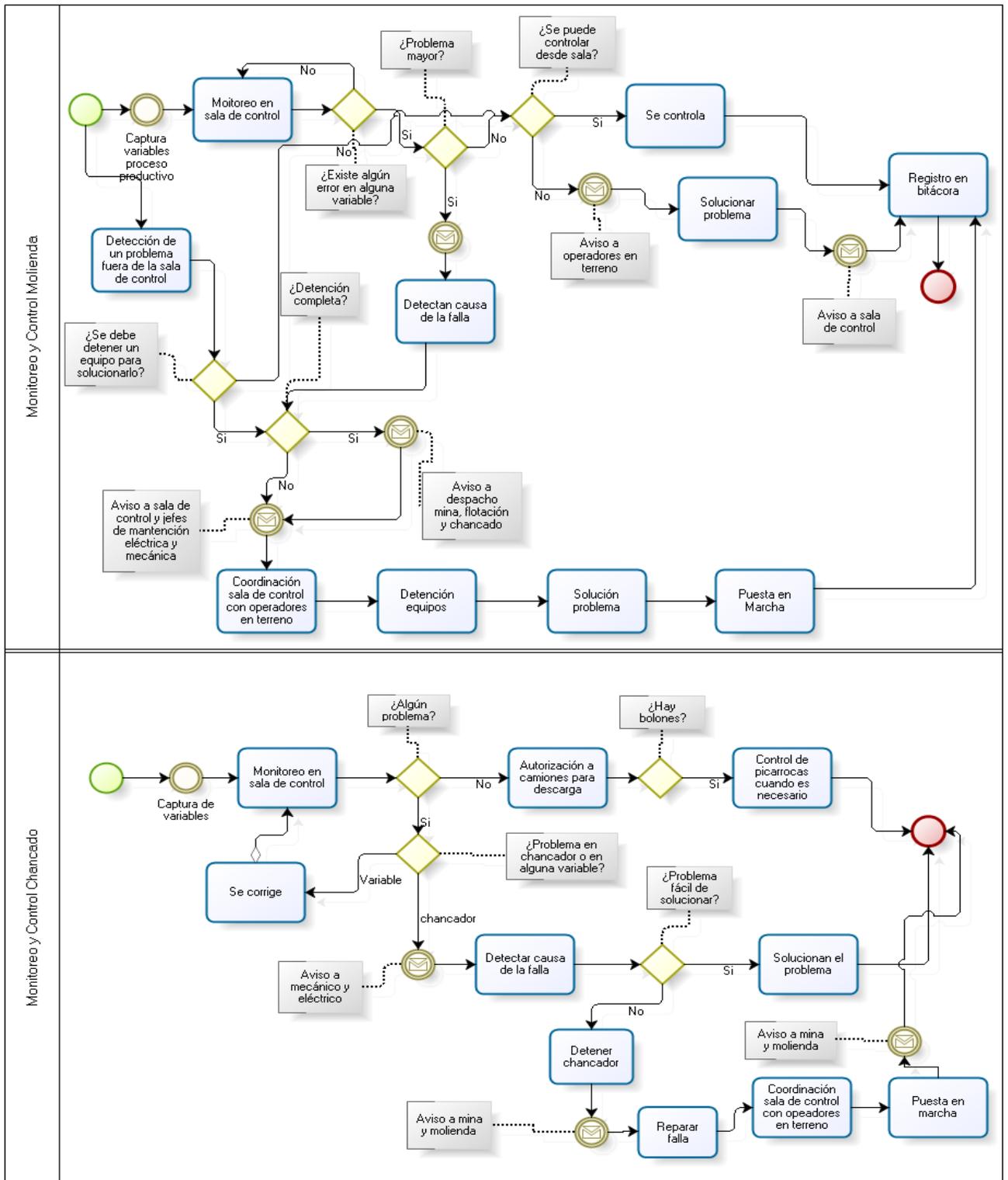


Diagrama 4: Modelo BPMN Proceso de Monitoreo y Control Molienda

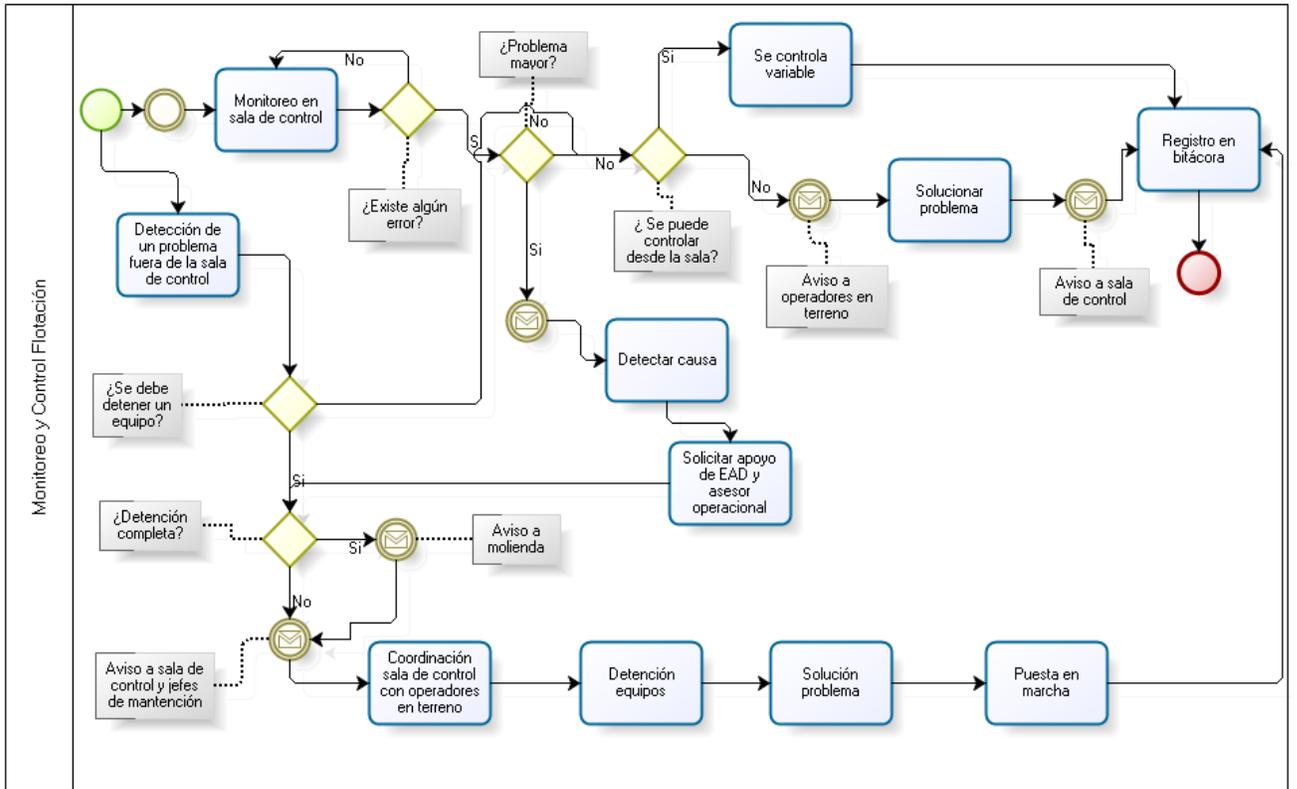


Diagrama 5: Modelo BPMN Proceso Control Flotación

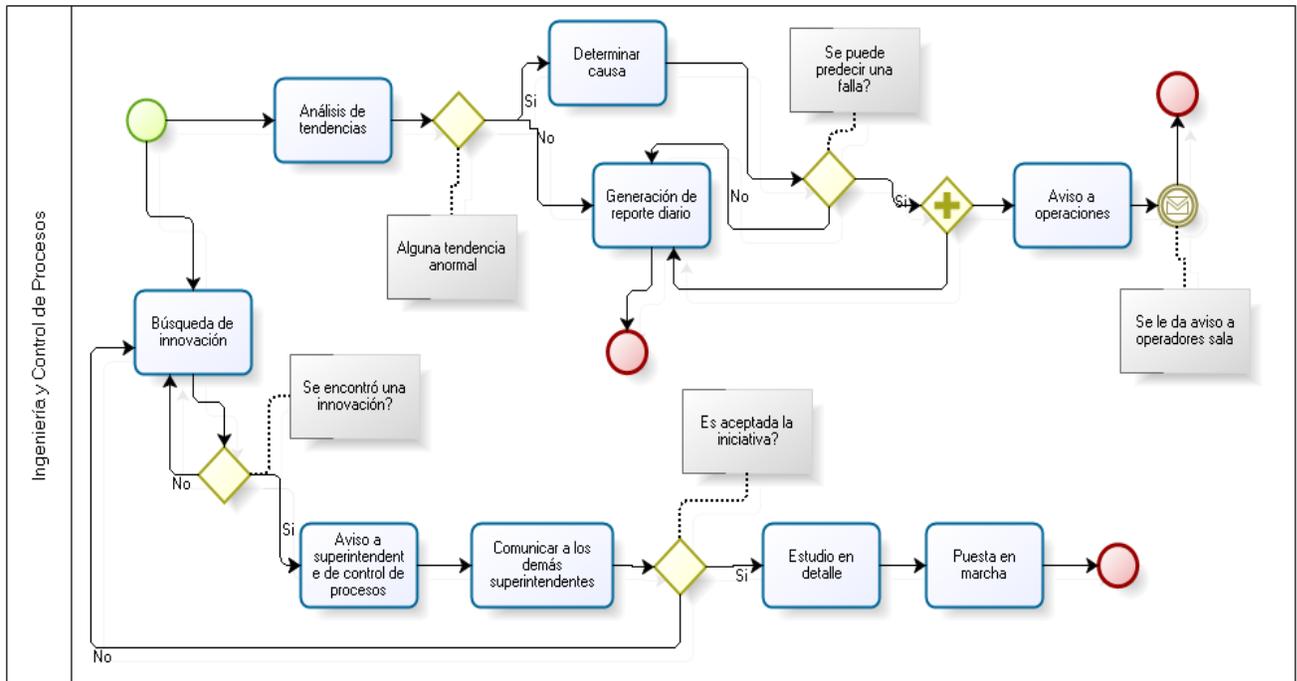


Diagrama 6: Modelo BPMN Ingeniería y Control de Procesos

### 8.3.3 Modelo de Roles

El modelo de Roles del proceso de Control es:

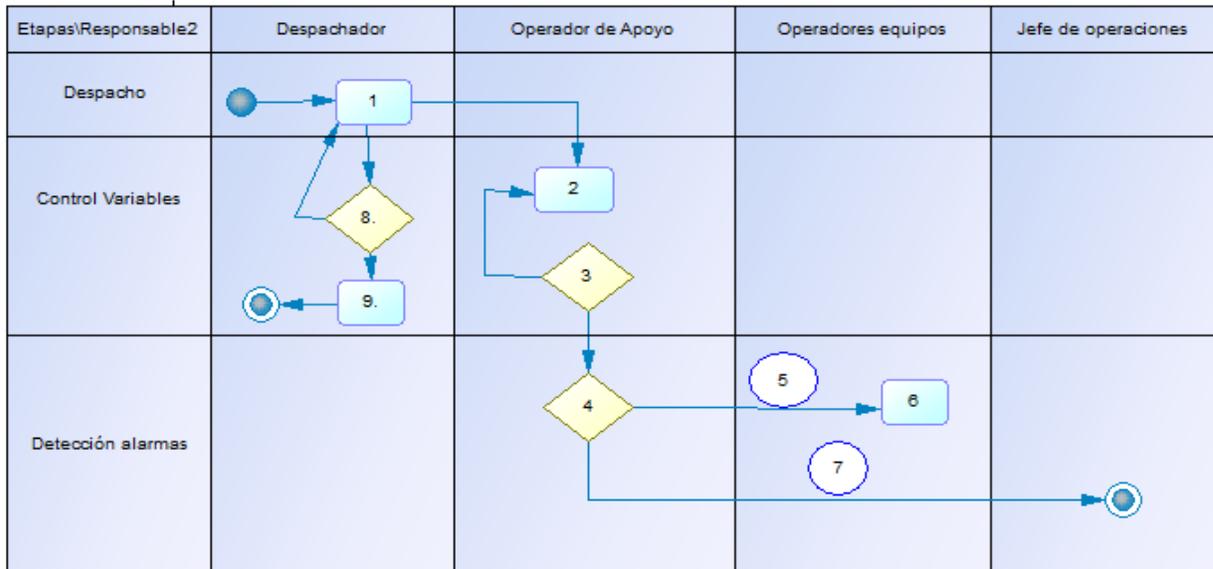


Diagrama 7: Diagrama de Roles Proceso Control Mina Actual

Tabla 9: Actividades Diagrama de Roles Mina

Etapas	Actividades
Despacho	1. Operador de sala despacha los equipos dentro de la mina, y además controla la ley del mineral cargado y entregado a chancado.
Control Variables	2. Operador de apoyo monitorea variables críticas de los equipos y monitorea el sistema geomecánico.
	3. ¿Alarma?
	8. ¿Condiciones de mineral cambian?
Detección de alarmas	9. Se le da aviso a chancado
	4. ¿Alarma de equipos o sistema geomecánico?
	5. Si es alarma de equipo se le da aviso al operador respectivo.
	6. Operador del camión va a taller mecánico.
	7. Si es alarma del sistema geomecánico se le da aviso al Jefe de operaciones.

Creación propia

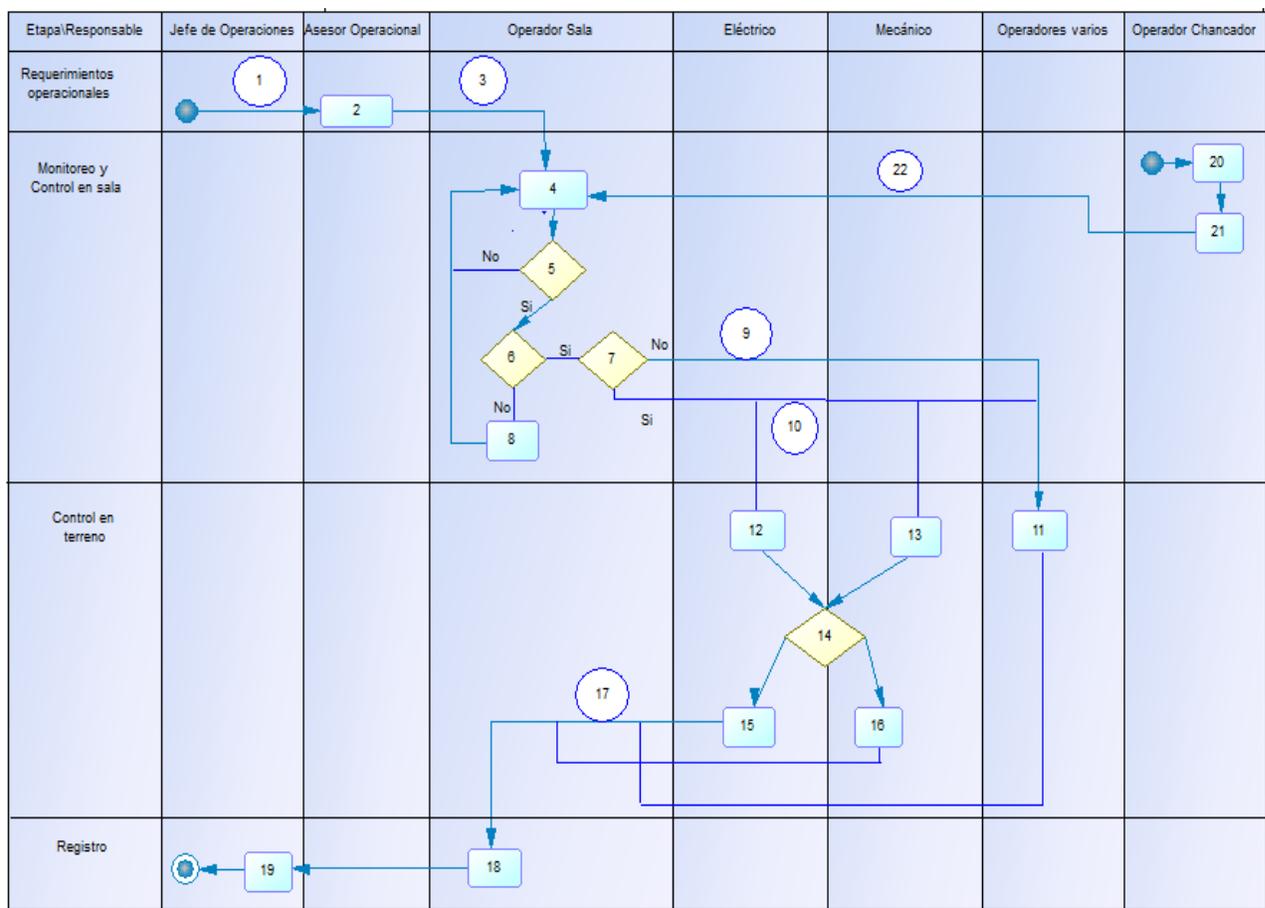


Diagrama 8: Diagrama de Roles Proceso Monitoreo y Control Molienda

La descripción de cada actividad se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 10: Actividades Roles Proceso de Monitoreo y Control Chancado y Molienda

<b>Etapa</b>	<b>Actividades</b>
Requerimientos Operacionales	1. Jefe de operaciones le da pautas a nivel macro de operación al asesor operacional.
	2. Asesor Operacional define estrategia operacional de acuerdo a características del mineral y condiciones operativas.
	3. Asesor Operacional le comunica esta estrategia operacional al operador de la sala de control.
Monitoreo y Control en Sala	4. El operador de la sala monitorea las variables desde la sala de control.
	5. El operador ve si hay algún error en alguna variable. Si no hay error se sigue monitoreando.
	6. Si hay un error el operador procede a ver si se puede controlar desde la sala o es una falla en

	un equipo que debe ser controlado en terreno
	7. Si es algún problema de equipo en terreno, se procede a ver si es grave (detención de un equipo).
	8. Si no era falla de equipo, el operador corrige el error de la respectiva variable desde la sala de control.
	9. Si es falla de equipo pero no es grave, se le avisa a los operarios en terreno para que la solucionen.
	10. Si es una falla grave el operador de la sala le avisa al eléctrico y mecánico de turno.
	20. Operador chancador autoriza descarga de camiones.
	21. Operador de chancador controla mineral, stock pile, y correas.
	22. Coordinación con sala de control mina.
Control en terreno	11. Los operarios de terreno solucionan el problema.
	12 y 13. Eléctrico y mecánico van a terreno a detectar la causa de falla.
	14. ¿Falla eléctrica o mecánica?
	15 y 16. Dependiendo de la falla el eléctrico o mecánico la solucionan cuando le corresponda.
	17. Una vez solucionada la falla se le avisa al operador de la sala de control, para que ponga en marcha al equipo nuevamente.
Registro	18. El operador de la sala de control registra en una bitácora todo lo sucedido en su turno.
	19. El jefe de operaciones lee la bitácora.

Fuente: Creación Propia

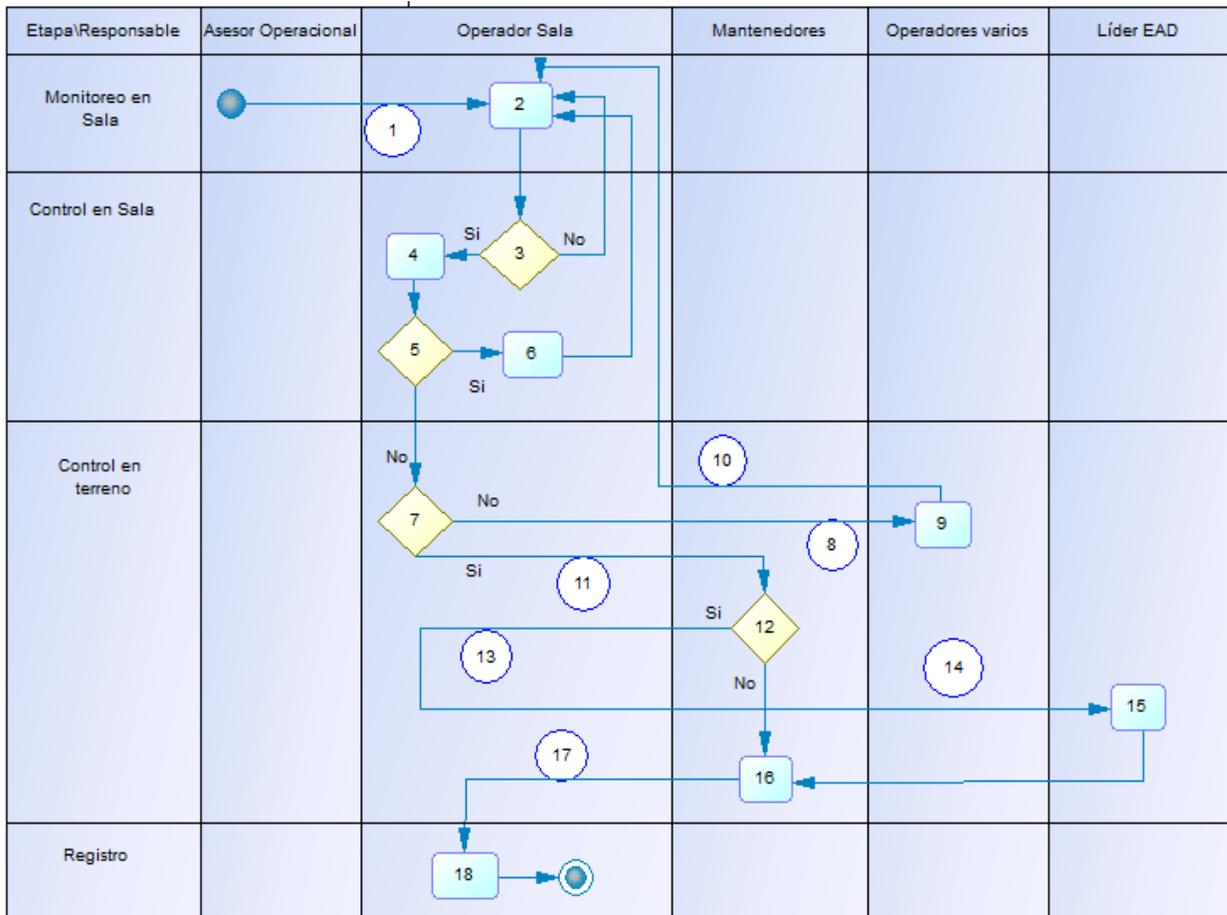


Diagrama 9: Diagrama de Roles Proceso Monitoreo y Control Flotación

Tabla 11: Actividades Diagrama de Roles Flotación

Etapa	Actividad
Monitoreo	1. Aviso de asesor operacional a operador de sala de control la estrategia operacional.
	2. El operador de la sala monitorea las variables operacionales.
Control en Sala	3. ¿Algún error en alguna variable?
	4. El operador de la sala busca la causa del error.
	5. ¿Se puede corregir desde la sala de control?
	6. El operador corrige la variable.
Control en terreno	7. ¿El problema es de detención de algún equipo?
	8. El operador de la sala de control le avisa al operario de terreno que corresponda
	9. El operador de terreno soluciona el problema.
	10. El operador de terreno le avisa al operador de la sala de control que el problema está resuelto.
	11. Si el problema implicaba la detención de un equipo el operador de la sala de control le avisa a los mantenedores.
	12. ¿Problema difícil de solucionar, que requerirá tiempo?

	13. Mantenedores avisan al operador de la sala de control que la reparación será lenta.
	14. El operador de la sala de control le avisa al líder del EAD y le pide apoyo.
	15. El líder del EAD colabora en la solución del problema.
	16. Mantenedores y líder EAD solucionan el problema.
	17. Se le da aviso al operador de la sala de control que está solucionado el problema.
Registro	18. El operador de la sala de control registra todo lo sucedido durante su turno en una bitácora.

Fuente Creación Propia

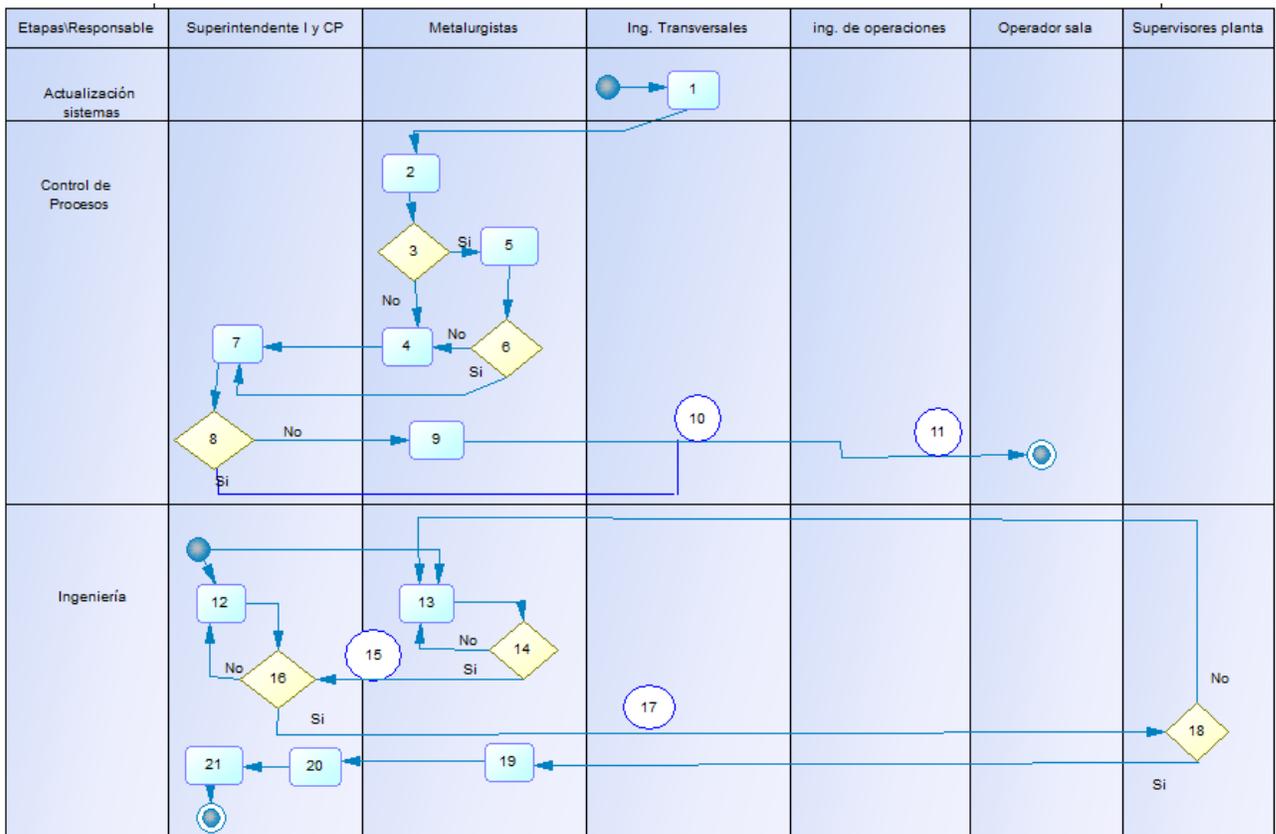


Diagrama 10: Modelo de Roles Ingeniería y Control de Procesos

A continuación se describen las actividades de cada etapa del modelo de roles:

Tabla 12: Actividades roles Ingeniería y Control de Procesos

Etapas	Actividad
Actualización sistemas de información	1. Ingenieros transversales se encargan de actualizar los sistemas.
Control de Procesos	2. Los metalurgistas de cada área analizan las tendencias de las variables.
	3. ¿Se encuentra una tendencia anormal?

	4. Ingenieros realizan un reporte con sus análisis.
	5. Ingenieros determinan causa de tendencia anormal.
	6. ¿Se puede determinar la fecha de baja del equipo o repuesto?
	7. Supervisión por parte del superintendente del área de control de procesos.
	8. ¿Está correcto?
	9. En caso de que haya algo malo se corrige.
	10. En caso de que el reporte sea bueno, se da aviso a los ingenieros de Operaciones.
	11. Operaciones da el aviso a operador de sala de control para operar de forma correcta y que no se produzca la falla.
Ingeniería	12 y 13. Ingenieros del área de ingeniería y control de procesos buscan formas de innovación.
	14. ¿Se encontró alguna innovación?
	15. En caso de que los metalurgistas encuentren algo, se lo comunican al superintendente del área.
	16. ¿Se encontró innovación?
	17. Superintendente de ing. Y control de procesos le comunica la iniciativa a los demás superintendentes de la planta.
	18. ¿Otros superintendentes aceptan la iniciativa?
	19. Si la iniciativa tiene buena acogida, los ingenieros comienzan su estudio en detalle.
	20. Superintendente supervisa estudio.
	21. Puesta en marcha de la iniciativa

Fuente: Creación Propia

#### 8.4 Medir

La medición de los procesos que se muestra en las siguientes secciones tiene que ver principalmente con la variabilidad del respectivo proceso, es decir, con la diferencia porcentual entre lo que se produce y lo que se planifica, en lo que va de este año (octubre 2010).

### 8.4.1 Proceso Control Mina

Movimiento Mina: Corresponde al movimiento total de mineral, hasta octubre.

Tabla 13: Movimiento Mina

	YTD		
	Real (kt)	Budget (kt)	Variación (%)
Enero	11.905	11.885	0,17
Febrero	10.647	10.606	0,38
Marzo	12.045	12.191	-1,20
Abril	11.304	10.849	4,19
Mayo	11.401	11.388	0,11
Junio	9.435	10.896	-13,41
Julio	10.075	10.890	-7,48
Agosto	10.983	10.978	0,05
Septiembre	10.685	10.548	1,28
Octubre	12.467	13.198	-5,54
<b>Promedio</b>	<b>11.095</b>	<b>11.343</b>	<b>-2,24</b>

Se puede apreciar que la mina en 6 de los 10 meses analizados ha estado por debajo de lo planificado, sin embargo en promedio está un 2% sobre el Budget. Esto es consecuencia de que en los meses que estuvo sobre la planificación hubo mucho movimiento de mineral, alcanzando diferencias importantes respecto a lo que se tenía presupuestado.

### 8.4.2 Proceso de Monitoreo y Control Molienda

Los principales indicadores de este proceso son:

Nivel del Stock Pile: Éste mide el vacío del stock pile, es decir, se mide desde el techo hasta la punta del stock de mineral. Para una buena recuperación en el proceso de flotación el nivel de vacío del stock pile debe ser menor o igual a 8 metros.

Tabla 14: Nivel de Stock Pile

	YTD (hasta noviembre)					
	Línea 1 (m)	Budget (m)	Variación (m)	Línea 2 (m)	Budget (m)	Variación (m)
Enero	9,62	8,00	-1,62	6,17	8,00	1,83
Febrero	10,65	8,00	-2,65	7,59	8,00	0,41
Marzo	10,69	8,00	-2,69	5,80	8,00	2,20
Abril	11,05	8,00	-3,05	6,26	8,00	1,74
Mayo	10,83	8,00	-2,83	5,93	8,00	2,07
Junio	11,25	8,00	-3,25	7,26	8,00	0,74
Julio	11,74	8,00	-3,74	8,81	8,00	-0,81
Agosto	12,21	8,00	-4,21	9,97	8,00	-1,97
Septiembre	12,59	8,00	-4,59	9,51	8,00	-1,51
Octubre	12,88	8,00	-4,88	11,16	8,00	-3,16
Noviembre	12,77	8,00	-4,77	12,77	8,00	-4,77

<b>Promedio</b>	<b>11,48</b>	<b>8,00</b>	<b>-3,48</b>	<b>8,29</b>	<b>8,00</b>	<b>-0,29</b>
-----------------	--------------	-------------	--------------	-------------	-------------	--------------

Se distinguen 2 niveles, ya que al haber 2 líneas de molienda se generan dos stocks, debido a la alimentación para cada línea. En la tabla anterior se puede apreciar que en todos los meses la línea 1 ha tenido un nivel por debajo de lo planificado, lo que genera que el mineral alimentado a los molinos no sea homogéneo, lo que afecta la recuperación de cobre. Sin embargo la línea 2 muestra un mejor nivel, decayendo en los últimos meses del año.

En promedio, el nivel del stock pile, en lo que va del año está por sobre los 8 metros.

Granulometría: Corresponde al tamaño del mineral enviado a Las Tórtolas. Su condición es que el porcentaje sobre la malla 65 deber ser menor o igual que 21%.

$$\% + 65 \text{ malla} \leq 21\%$$

Tabla 15: Porcentaje de Mineral sobre malla 65

<b>YTD</b>	
<b>Real (%)</b>	<b>Budget (%)</b>
18,7	21,0

Como se ve el promedio de este año, desde enero hasta octubre, está por debajo de 21%, por lo tanto, la eficiencia de la molienda, en términos de reducción de tamaño, es buena.

Densidad de la pulpa: Corresponde a la densidad de la pulpa después del espesamiento, o sea, de la pulpa enviada a Las Tórtolas. Debe ser mayor o igual a 58% (porcentaje de sólido). En el siguiente gráfico se muestra la densidad promedio correspondientes a los meses de este año.

Tabla 16: Densidad Pulpa

	<b>YTD</b>		
	<b>% de sólidos</b>	<b>Budget (%)</b>	<b>Variación de %</b>
Enero	51	58	-7
Febrero	58	58	0
Marzo	57	58	-1
Abril	49	58	-9
Mayo	48	58	-10
Junio	50	58	-8
Julio	52	58	-6
Agosto	55	58	-3
Septiembre	53	58	-5
Octubre	52	58	-6
<b>Promedio</b>	<b>52</b>	<b>58</b>	<b>-6</b>

El promedio del 2010 (hasta octubre) es de un 52% de sólidos, lo que se encuentra muy por debajo del nivel óptimo.

Toneladas por hora tratadas en molienda: Esto indica el tph de pulpa mandada a la planta de flotación.

Tabla 17: Variabilidad tph

	YTD		
	Real	Budget	Variación (%)
Tph	2.286	2.382	-4,03

Se observa que las toneladas por hora promedio en el año (hasta noviembre) está un 4% por debajo del budget. Esto se puede explicar por la mayor cantidad de mantenciones no programadas que hubo este año, afectando la producción.

### 8.4.3 Proceso Monitoreo y Control Flotación

Variabilidad flotación: Mide la variación entre el cobre fino y concentrado producido, luego de la etapa de flotación, y lo planificado en el Budget.

Tabla 18: Variabilidad Flotación

	YTD		
	Real	Budget	Variación (%)
Cu fino (t)	165.237	161.843	2,1
Concentrado de Cu (t)	545.037	606.862	-10,2

Se puede apreciar en estos valores que la cantidad de concentrado producido está por debajo de lo planificado, sin embargo el cobre fino supera la meta. Esto se debe a la ley del concentrado que fue más alta de lo esperado (un 3,4% más alta).

### 8.4.4 Proceso Ingeniería y Control de Procesos

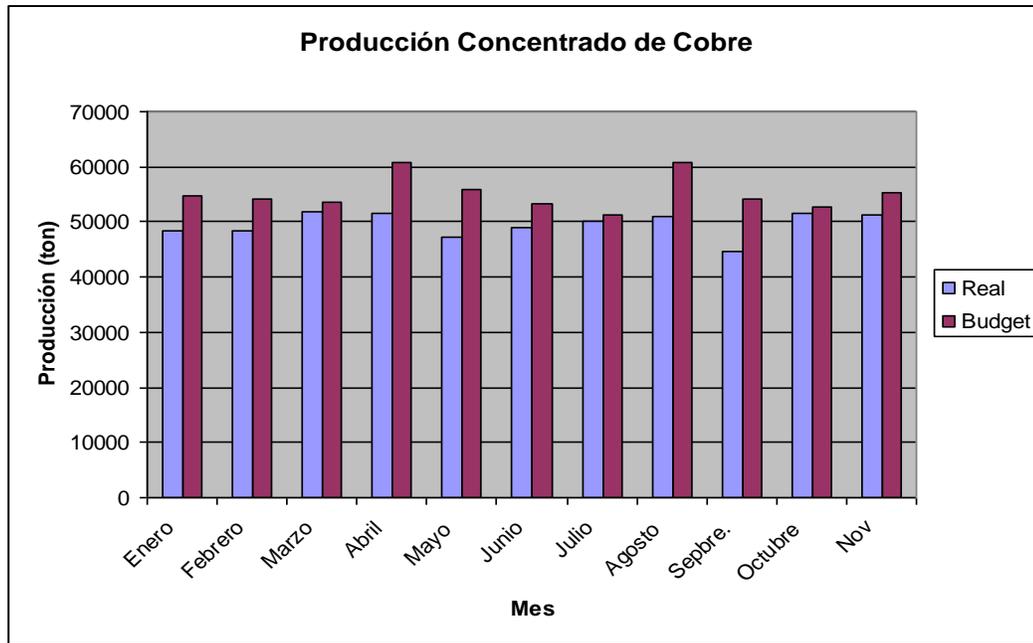
Como esta superintendencia se encarga del control de todos los subprocesos de planta (molienda, flotación), el indicador a utilizar será uno del proceso vía flotación, que es la variabilidad de la producción total de cobre en concentrados de la División Los Bronces.

Tabla 19: Variabilidad Producción Total Los Bronces

Mes	Actual	Budget	% Variabilidad
Enero	48.406	54.856	-11,8
Febrero	48.399	54.153	-10,6
Marzo	51.897	53.593	-3,1
Abril	51.682	60.748	-14,9
Mayo	47.282	55.888	-15,4
Junio	48.891	53.361	-8,3

Julio	50.207	51.299	-2,1
Agosto	50.908	60.838	-16,3
Septiembre	44.571	54.019	-17,5
Octubre	51.569	52.807	-2,3
Noviembre	51.225	55.299	-7,4
YTD Actual	545.037	606.862	-10,2

Gráfico 2: Variabilidad Producción Total



En el gráfico se puede apreciar que en todos los meses se ha producido menos concentrado de cobre de lo planificado en el Budget.

### 8.5 Problemas Encontrados en Situación Actual del Proceso Global

En general, los mayores problemas vienen dados por la falta de comunicación entre los distintos procesos, y a la falta de coordinación entre ellos. Se detectaron cuatro problemas principales, que son generados por otros problemas específicos.

Los cuatro problemas principales son: Las predicciones de falla de los equipos se hacen sólo en base a tendencias de su comportamiento operacional, los eventos ocurridos en algún subproceso no siempre son informados inmediatamente, se producen fallas por algún error en las salas de control una vez cada dos meses, y no se cumplen los compromisos pactados.

A continuación se utilizará el formato de Diagramas de Ishikawa para mostrar los problemas que causan cada problema principal.

### 8.5.1 Predicciones de falla de equipos sólo en base a tendencias

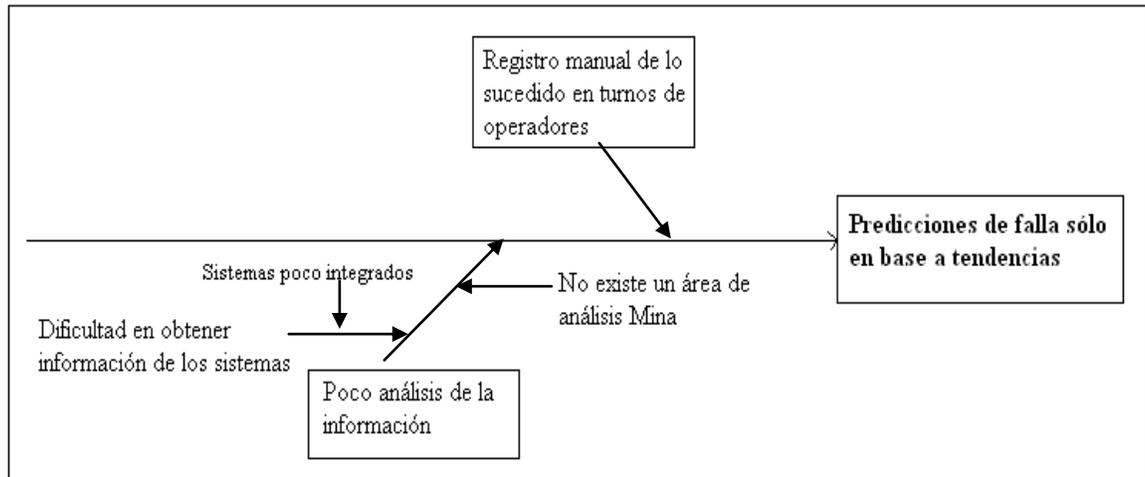


Diagrama 11: Problema 1 Proceso de Control y Análisis

Las predicciones de falla de equipos, consisten básicamente en analizar las tendencias de los parámetros relacionados con su funcionamiento operacional para determinar una fecha en que deben ser dados de baja o deben cambiar algún repuesto. No se realiza análisis de falla, considerando sus causas, fallas pasadas, tampoco se consideran las estimaciones de producción y condiciones del mineral, etc., lo que produce que los equipos fallen más de lo planificado, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 20: Horas de mantención a equipos

	Budget	Real	Variabilidad	Variabilidad (%)
Horas programadas	231	231	0	0
Horas no programadas	204	287	-83	-40,5
Total (hrs)	435	518	-83	-19,0

Esto se debe a los siguientes problemas:

1. Registro manual por parte de los operadores de las salas de control de lo sucedido en su turno: Cada operador en las salas de control va registrando manualmente en una bitácora lo sucedido durante su turno, y no se traspasa a una base de datos para el análisis de esos eventos. Esto debido a que para el operador es más rápido escribirlo a mano que guardarlo en una base de datos. Esto genera que los ingenieros encargados del análisis no cuenten con esa información, pues pertenece a Operaciones, área que tampoco los analiza, sólo los leen de vez en cuando.
2. Poco análisis de la información: Actualmente existe un área encargada del análisis, Ingeniería y Control de Procesos, la cual se encarga de analizar las tendencias de los parámetros operacionales de las plantas. Cada ingeniero tiene a cargo a un subproceso, como molienda y flotación, y consideran para su trabajo los parámetros y condiciones relativos a su respectivo proceso. Ellos dan estrategias de operación a Operaciones. Falta un análisis más profundo que integre la información de las otras etapas, y que los distintos analistas interactúan entre ellos. Entre las causas que provocan esto están:

3. No existe análisis de la información de la mina: La mina no tiene un área de control de procesos como la planta, lo que hace que no se genere ningún análisis de la información recogida por los sistemas, eliminando la posibilidad de optimizar aún más el proceso. Sólo hay un área de Ingeniería de Planificación Mina, que se encarga de elaborar los planes de producción.
4. Dificultad para obtener información de los sistemas: Como se mencionó en el Levantamiento de la Situación Actual, los sistemas tienen baja utilización, porque falta conocimiento de los trabajadores, y se requiere de mucha navegación para encontrar un dato. Por lo tanto, los analistas sólo capturan la información más relevante para su proceso. La causa mayor de este problema es:
5. Sistemas de control poco integrados: Los sistemas ocupados no están integrados, sino que cada proceso tiene acceso a sus variables y no a la de los otros, de forma que no pueden verificar condiciones y operar en base a lo que sucede antes y después. Sólo en control mina, se recoge cierta información del sistema PI (sistema para el control de la planta). Por lo tanto, con estos sistemas actuales, es muy difícil acceder a los datos de las otras etapas.

### 8.5.2 Eventos no siempre son informados inmediatamente

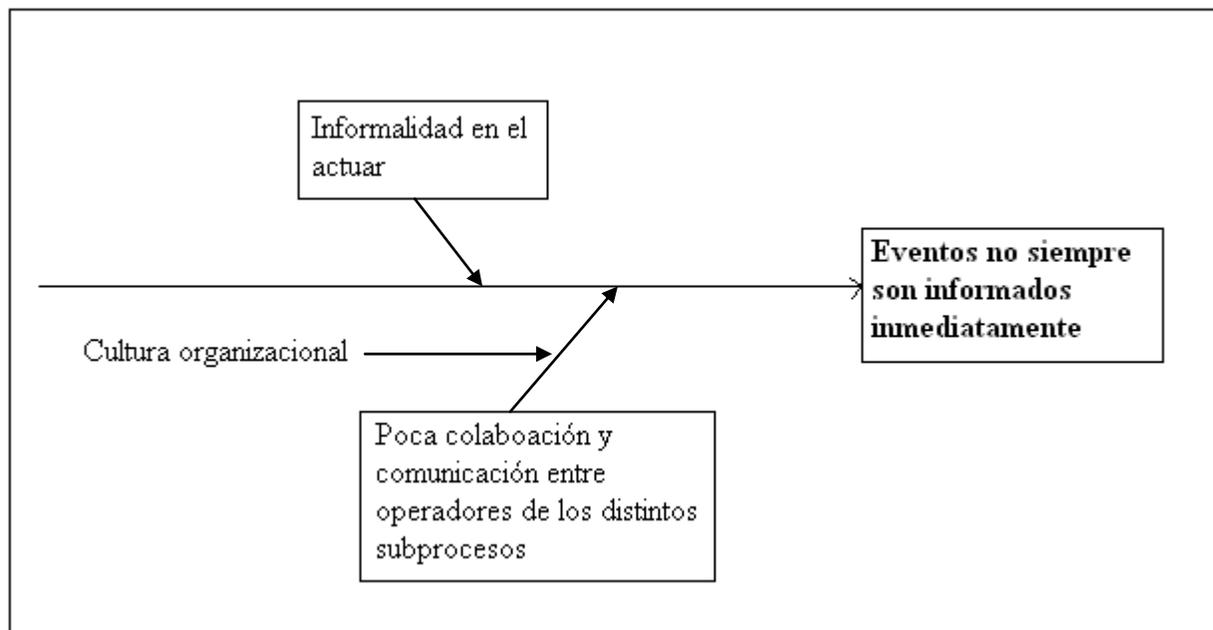


Diagrama 12: Problema 2 Proceso de Control y Análisis

Se entienden por eventos cualquier falla dentro del subproceso, equipos o detenciones que puedan impactar negativamente a los otros subprocesos, y en consecuencia al resultado final. Cuando ocurre un problema, éste se evalúa primero y dependiendo de su magnitud se da aviso a los otros subprocesos.

Esto se debe a un problema en la comunicación y colaboración entre los distintos procesos involucrados en el control y análisis del proceso productivo global. Las principales causas son:

1. Informalidad en el actuar: No existen protocolos establecidos de la información que es necesaria que se den a conocer cada una de las partes, ni cuando se debe enviar. Cada una de ellas se preocupa de sus propios resultados y no de los de los otros subprocesos.
2. Poca colaboración y comunicación entre operadores de los distintos subprocesos: No hay instancias definidas de interacción entre los operadores, lo que trae como consecuencia los siguientes problemas específicos.
3. Comunicación entre mina y chancado es deficiente: No existen protocolos establecidos de la información que es necesaria que se den a conocer. Esto se genera por el poco análisis de la información que provoca que a veces la información mandada entre ellos sea determinada por la experiencia de los operadores, y no por una base más sólida.
4. La comunicación entre chancado y molienda tampoco es la óptima, sólo se comunican cuando hay alguna eventualidad o problema.
5. Poca interacción entre la mina y molienda: Estas áreas no se comunican constantemente, sino que sólo cuando hay una detención importante o cuando el tiraje de mineral es malo. Esto quiere decir que tampoco está establecido cuando y qué información debe darse a conocer entre las áreas, y esto genera que a veces se pasen por alto información relevante para el otro proceso.

Todo lo anterior, es consecuencia de la cultura organizacional de la División:

6. Cultura organizacional con un enfoque burocrático-funcional, el cual tiene relación con que las distintas áreas operan de manera independiente. Las patologías de este enfoque son:
  - Baja coordinación entre áreas.
  - Lenguajes diferentes entre distintos niveles.
  - Objetivos son objetivos de maneras distintas al interior de la organización.
  - Separación entre el “hacer” y el “planificar” en base a datos en tiempo real.

Cada área (mina, chancado, molienda y flotación), tienen los objetivos expresados de maneras distintas, cuando todos debieran apuntar a lo mismo. Actualmente cada una de ellas, vela por su propio funcionamiento, sin preocuparse debidamente del proceso que le sigue o le precede.

### 8.5.3 Fallas por error en sala de control se producen 1 vez cada 2 meses

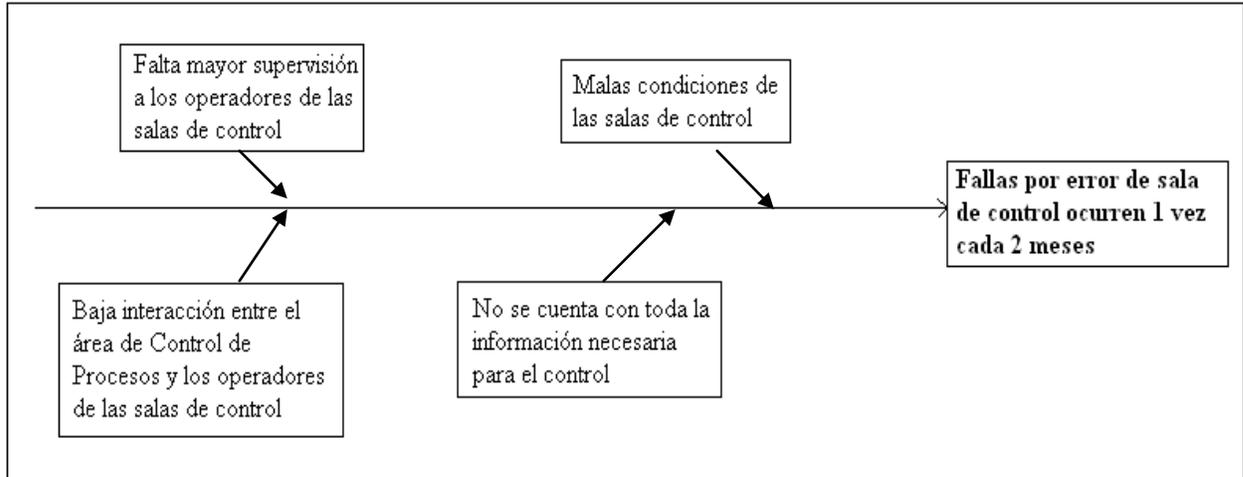


Diagrama 13: Problema 3 Proceso de Control y Análisis

Se producen fallas debido a errores operacionales de los operadores, pues ellos no cuentan con la información suficiente para el control, por lo tanto, hay veces en que deben suponer un comportamiento, y operar en base a eso.

1. Las salas de control no tienen las mejores condiciones de trabajo: Las salas actualmente no están diseñadas para la mejor comodidad de los operadores, puesto que hoy en día las salas son poco iluminadas, calurosas, con escritorios y sillas poco ergonómicas, que al final hacen que los operadores se cansen más rápido pudiendo afectar su trabajo.
2. Falta mayor supervisión a los operadores de la sala de control: Faltan herramientas de supervisión hacia los operadores de las salas de control, sólo existen ciertos alineamientos o estrategias que se discuten entre el asesor operacional y el operador, pero no existe un procedimiento establecido para esto, sino que se hace cuando el asesor o jefe de operaciones detecta algo que se pueda cambiar, y después el operador decide cómo seguir operando.
3. No se cuenta con toda la información necesaria para el control: Hay ciertos datos o parámetros importantes para el operador que no son medidos, como por ejemplo, la carga circulante de algunos molinos, lo que provoca que operen sin saber realmente las verdaderas condiciones en que se encuentran operando los equipos. Esto también se produce por:
4. Baja interacción entre el área de Control de Procesos y Operadores de las salas de control: Los ingenieros de Ingeniería y Control de Procesos, no se relacionan con los operadores de las salas de control, no se les avisa de sus análisis, como por ejemplo, determinación de causas de fallas, predicciones de falla, iniciativas de mejora, etc. Esto provoca que no exista la suficiente retroalimentación entre ellos.

### 8.5.3 Compromisos mutuos no se cumplen

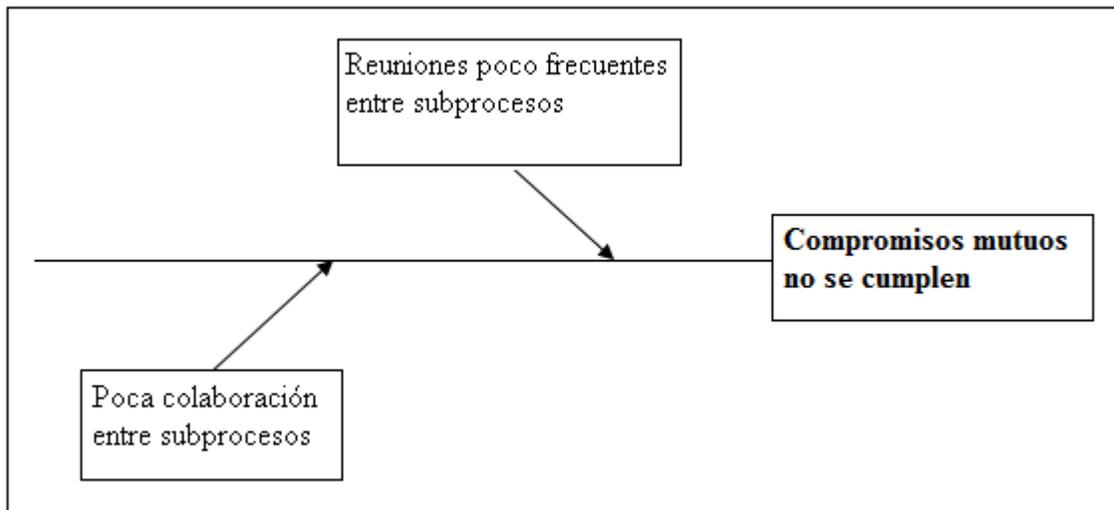


Diagrama 14: Problema 4 Proceso de Control y Análisis

Para alcanzar la producción planificada, los diferentes subprocesos generan compromisos, por ejemplo que la Mina se comprometa con la planta a tener un nivel adecuado del stock pile, sin embargo, esto no siempre se cumple, generando conflictos. Las causas son:

1. Reuniones poco frecuentes entre subprocesos: Se realiza una reunión al mes (Short Term), entre Mina, Molienda, y Flotación, donde se analiza la planificación de corto plazo. En estas reuniones, se generan compromisos mutuos.

Además existe una reunión llamada Mine to Mill, Mill to Lix, donde se debe analizar rendimiento del proceso productivo, y las iniciativas que se pueden tomar para mejorarlo. Sin embargo estas reuniones no se concretan.

2. Poca colaboración y coordinación entre subprocesos: Como ya se ha mencionado antes, no existe una cultura de colaboración, puesto que el proceso no es visto como una cadena de valor, sino que como “fondos”, donde cada uno vela por sus propios intereses.

### 8.6 Diagnóstico Situación Actual

#### a) Poca colaboración entre áreas

La actual interacción entre las distintas áreas muestra deficiencia que conllevan a problemas en la producción total. Lo anterior se especifica en los siguientes puntos:

- Evaluar cada subproceso a través de los resultados finales, es decir, con la producción total, y no en base a los resultados de cada uno de ellos.
- Generar reuniones periódicas entre los distintos subprocesos, de manera de intercambiar opiniones sobre cómo se está realizando la operación, cómo se puede mejorar, cómo actuar frente a nuevas condiciones, etc.

#### b) Poco análisis de la información

Este problema radica en el poco análisis generado a partir de los datos capturados por los sistemas de control. El diagnóstico de este problema se especifica en:

- Necesidad de poder acceder a los datos de manera más sencilla, para que el trabajo de análisis sea más expedito.
- Contar con ingenieros dedicados a esta labor para todos los subprocesos, ya que hasta ahora sólo hay para lo que son las plantas.
- Generar instancias de comunicación entre los operadores y los ingenieros de control de procesos, para lograr que todos asimilen causas o consecuencias de su trabajo.
- Establecer una base de datos donde los operadores de las salas de control, en vez de anotar manualmente lo que sucede durante su turno, lo haga digitalmente, y así quede toda esa información almacenada y dispuesta para el análisis de los ingenieros.
- Establecer reuniones frecuentes con todos los ingenieros encargados del análisis, de forma, que compartan sus conclusiones hechas a partir de su trabajo.

#### c) Condiciones de trabajo poco eficientes para operadores de las salas de control

Las condiciones de las salas de control no son las óptimas para lograr un gran desempeño. El diagnóstico se muestra a continuación:

- Necesidad de contar con mejores condiciones ambientales dentro de las salas, como por ejemplo, temperatura adecuada, nivel de ruido bajo, fuentes de luz óptimas, etc.
- Es necesario mejorar la ergonomía de las salas, para evitar cansancio excesivo u enfermedades de los operadores.

#### d) Comunicaciones deficientes entre operadores

Los operadores de las salas de control no tienen ningún contacto, más que por teléfono, generando poco compromiso con el compañero. Lo anterior se especifica en:

- Necesidad de generar un vínculo de confianza entre los operadores de las salas de control, para que así se comuniquen cualquier evento lo más rápido posible.
- Es necesario darle a entender a los operadores que deben velar por el funcionamiento de todo el proceso productivo y no sólo de su área, o sea, de cumplir la producción total y no la de sus productos intermedios.

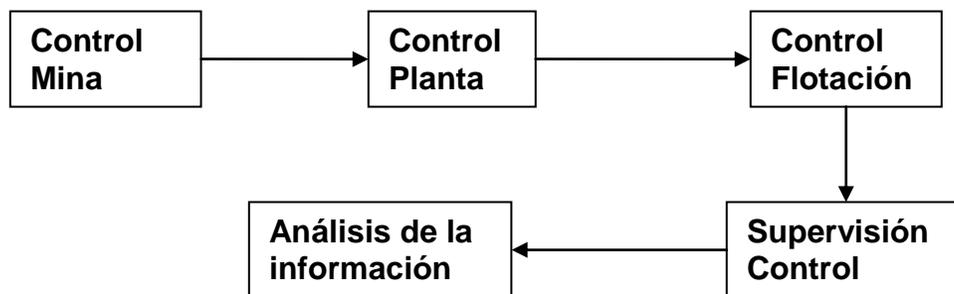
e) Poca supervisión al proceso de Monitoreo y Control

El control realizado por los operadores de la sala no tiene mayor supervisión, provocando que el control se realice en base a la experiencia del operador y a las decisiones que él estime convenientes.

- Supervisar el cumplimiento de las reglas de operación en las salas de control, para no tener diferencias marcadas entre el trabajo de un operador y otro.
- Realizar mantenciones más seguidas a los sistemas para poder realizar un mejor control y análisis.
- Revisar registro de acontecimientos de los operadores de las salas, con el fin de verificar que no existan errores o discrepancias con lo arrojado por los sistemas.

## 9. Ámbito de Procesos a Rediseñar

Dados los problemas encontrados en el diagnóstico de la situación actual, los procesos a rediseñar son los relacionados con el control y análisis del proceso productivo, en base a cambios en la cultura organizacional y al flujo de información, involucrando los siguientes procesos:



## 10. Rediseño

### 10.1 Direcciones de cambio

La dirección de cambio corresponde a la línea de acción a seguir con las propuestas de rediseño a realizar. Se enfoca en identificar y mostrar las diferencias entre la situación actual y la que será propuesta.

En base a lo anterior es posible identificar la dirección de cambio en los siguientes tópicos:

- Colaboración entre áreas: Con la intención de optimizar el proceso productivo global, mejorando los rendimientos operacionales, y cumplir con las planificaciones del Budget, resulta vital incentivar la colaboración entre las distintas áreas a lo largo del proceso. Se deben integrar los procesos de negocio donde cada proceso sea cliente del proceso anterior y proveedor del siguiente.
- Supervisión proceso monitoreo y control: Supervisar en mayor profundidad este proceso, es decir, dejar establecido la forma de reportar los turnos, para otorgarles estrategias y mejores bases para la toma de decisiones a los operadores de las salas de control, y así generarles mayor confianza en su trabajo.
- Análisis integrado: Analizar el proceso en términos de procesos de negocios en lugar de áreas funcionales, con el objetivo de cooperar mutuamente. Se debe realizar el análisis teniendo en cuenta las condiciones, restricciones, etc., de cada uno de los subprocesos.
- Cooperación entre distintos agentes dentro de un área: Incentivar la colaboración entre los mismos grupos de trabajo, potenciándose entre sí, para lograr mejores resultados, donde todos estén satisfechos con el trabajo realizado.
- Cambios de prácticas e incentivos: Definir e implementar “reglas del juego” que estimulen progresivamente conductas hacia la colaboración y el cumplimiento de compromisos. Realizar actividades para lograr cambiar la actual cultura organizacional (velar sólo por el subproceso donde se trabaja).
- Mejoramiento condiciones de trabajo: Establecer condiciones óptimas para el desarrollo del trabajo de los operadores.
- Mejoramiento de tecnologías: El soporte tecnológico para la gestión del negocio debe orientarse hacia la integración de los procesos, a la representación gráfica de los indicadores claves del negocio, y a las decisiones en tiempo real.

## 10.2 Propuestas de Rediseño

Una vez finalizado el análisis de la situación actual, y en base a las respectivas direcciones de cambio definidas anteriormente, se presentan las propuestas de rediseño, en base a los siguientes elementos claves detectados:

Dados los problemas detectados se identificaron dos puntos claves para tener un control integrado del proceso productivo:

1. Contar con un sistema que logre integrar o unificar información de los sistemas de control.

Se debe tener un software capaz de recoger datos e indicadores relevantes de los sistemas de control, con el objetivo de que todos los operadores tengan acceso y visibilidad a ellos, para que puedan operar en base a las distintas condiciones y en iguales circunstancias. Además de favorecer el análisis integrado de la información.

2. Contar con una estructura y cultura organizacional potente que respalde la integración.

Se debe adquirir un esquema organizacional que otorgue autoridad y credibilidad al control de procesos, para asegurar la continuidad y el éxito del nuevo proceso de control.

A continuación se describirán las propuestas de rediseño pertenecientes al proceso de monitoreo y control de Mina, Molienda y Chancado, y Flotación, debido a que son muy similares, abarcan procesos en común, hay propuestas generales, y en la sala integrada se encontrarán en el mismo espacio físico.

### **10.2.1 Propuestas relacionadas con la integración de los sistemas**

En relación al primer punto clave descrito se propone lo siguiente:

#### **Desarrollar un software de integración de datos**

Incorporar tecnologías que permitan interconectar e integrar los procesos de planificación, operación, monitoreo y control operacional habilitando así la gestión de los procesos operacionales en tiempo real y con una mejor capacidad predictiva, factores necesarios para una toma de decisiones de mayor calidad y oportunidad.

En este aspecto las tecnologías habilitantes son:

Sistema de Control: Sistema que provea una plataforma de automatización con capacidades de conectividad que cree un ambiente flexible, integrado y colaborativo, que posea aplicaciones y mecanismos para tener toda la información disponible para su uso, y la entregue al personal de control. Debe además:

- Promocionar la colaboración a través de sistemas y aplicaciones integrados.
- Mejorar la productividad de los operadores a través de información integrada.
- Se debe contar con un control acabado de los recursos como la energía y el agua, y del sistema de transporte de pulpa, para lograr mayor eficiencia, y reducir costos. Además debe incluir un sistema de gestión de materiales, insumos, repuestos y, en general, todas las necesidades de servicios y suministros adecuadamente cubiertas y programadas para favorecer la continuidad operacional.

Sistemas de comunicaciones: Las comunicaciones son un tema muy importante para el desarrollo del centro integrado. Debe contar con un adecuado sistema de fibra óptica, red de datos, voz y video.

Sistema cerrado de televisión y cámaras: Se debe tener un sistema de televisión, para monitorear el mineral y los equipos.

Una vez seleccionado el software, se tendrá acceso a los indicadores más importantes para el control de procesos. Luego se deberá realizar análisis de la información de forma integrada, para considerar en los estudios todas las variables, condiciones y restricciones que entran en

juego en el funcionamiento de cada subproceso. Actualmente se hace un análisis a nivel de subproceso independiente de los demás, lo que provoca que no se consideren todos los factores que afectan en algún grado su funcionamiento.

Se debe cambiar el proceso de control a uno que considere el desempeño global del negocio, integrando la información y mejorando las decisiones en tiempo real, para evitar el control medianamente aislado y enfocado a objetivos individuales. Es conveniente realizar el control teniendo en cuenta todos los factores gatillantes para alcanzar la producción deseada, con la finalidad de prevenir problemas que puedan causar detenciones no programadas o errores que afecten la futura producción. Particularmente se sugiere seguir las siguientes acciones:

1. Guardar reporte en el sistema: Los operadores deberán ir registrando los eventos importantes en el sistema, y no en una bitácora.
2. Analizar reportes de operadores: Los supervisores contarán con la información de los eventos sucedidos durante los turnos de control de los operadores, por lo tanto, deberán analizar esos reportes (almacenados en el sistema), con el fin de detectar patrones, predicciones, causas, etc.
3. Nombrar a un analista para la mina: Ya que actualmente no existe análisis de la información de la mina, pero sí hay control, es necesario crear el cargo de analista de mina, que además supervise al operador de esta área, y que trabaje en conjunto con los demás supervisores o analistas.
4. Capacitar a los operadores: Es importante que los operadores conozcan bien el sistema para poder realizar un control eficiente, y tener más responsabilidades que sólo el control mismo, por ejemplo que puedan registrar su variabilidad y compararla con los estándares establecidos, y detectar a tiempo cualquier anomalía que pudiese redundar en costosas paradas de planta o en problemas de producción.
5. Hacer gestión integrada de la cadena de valor: Administrar y tomar decisiones sobre una cadena de valor única e integrada de producción, privilegiando la máxima agregación de valor para el negocio minero integral, en vez de sólo beneficios individuales por proceso unitario.
6. Monitoreo y control de operaciones más que sólo de resultados finales de producción: Avanzar hacia un control y seguimiento integral de subprocesos y elementos que determinan resultados. Esto es poner foco no sólo en la producción (el qué), sino en los factores determinantes para lograrla (el cómo), con el fin de orientar adecuadamente el comportamiento de las personas y la organización hacia los objetivos globales del negocio, en un marco de cumplimiento de los compromisos productivos.

### **10.2.2 Propuestas relacionadas con estructura y cultura organizacional**

Para poder lograr el éxito de lo descrito anteriormente, se debe realizar un cambio en la estructura organizacional actual, que considere mayor colaboración y coordinación entre los distintos agentes involucrados en los procesos.

Como ya se ha mencionado anteriormente dentro de este trabajo, no existe colaboración entre los distintos subprocesos, es por esto que esta propuesta va enfocada a mejorar las relaciones y vínculos de confianza de los trabajadores. Esto garantiza que al momento de trabajar todos juntos, buscando los mismos objetivos, logren un buen trabajo en equipo.

Las consecuencias de que no exista la colaboración suficiente son que los operadores no cuentan con la información suficiente para realizar un control eficiente, lo que se ve reflejado en las constantes fallas y problemas, en las plantas principalmente, que finalmente afectan la producción.

Dentro de los aspectos puntuales a corregir dentro de lo relacionado con la cultura organizacional están los siguientes:

1. Definir una visión integrada del proceso productivo: Para realizar un cambio, primero se debe partir por definir una visión integrada del proceso productivo, que tenga como meta privilegiar la producción final de cobre fino. Conceptualizar una operación que se planifica, ejecuta, mantiene, controla, abastece y mejora conforme a pautas, criterios, reglas y procedimientos, indicadores, sistemas y el conjunto de dispositivos que permiten interconectar y armonizar la relación entre ellos.

La visión desarrollada es: Velar por el proceso productivo global, alineado con las estrategias de la empresa y con las nuevas tecnologías, de manera de asegurar la continuidad operacional.

2. Cambiar enfoque de cultura organizacional a uno basado en procesos: Un enfoque de procesos tiene las siguientes características:

- Provee de mecanismos explícitos y diseñados entre las áreas.
- Alta flexibilidad.
- Foco en el proceso como un todo
- Descentralización de las decisiones.
- Empoderamiento de quienes ejecutan actividades operativas.
- Permite que las actividades sean administrables (control) y predecibles (tiempo, costo, etc.).
- Permite la incorporación de mejores prácticas.
- Uniformidad de lenguaje entre distintas áreas funcionales.

El enfoque por procesos permite una coordinación explícita entre áreas, que en el enfoque burocrático-funcional se manejan en forma relativamente independiente, para cumplir objetivos declarados.

Esto tiene relación la visión integrada del proceso, como una sola cadena larga de valor, donde cada subproceso es cliente del subproceso anterior y proveedor del siguiente, y que sea regulada por compromisos de cantidad y calidad.

Por otra parte se debe implantar una cultura de colaboración y coordinación, que viene dada por la visión integrada y por querer alcanzar objetivos comunes. Los operadores al estar en el mismo espacio físico podrán conversar directamente acerca del control de todo el proceso productivo. Además como se les entregará por parte de sus supervisores una estrategia común de operación, todos ellos estarán en las mismas condiciones y operando bajo las mismas reglas.

Por otra parte, se deberá asegurar la colaboración entre los operadores de la sala de control integrada y los operadores de terreno, dándoles a entender a estos últimos que a pesar que las personas del centro están lejos, cuentan con más información relevante, pero que sin duda ellos son igual de necesarios para mantener el funcionamiento óptimo del proceso.

Además se deberá establecer un sistema o protocolo formal de comunicación, para permitir la estandarización de procedimientos en situaciones específicas.

Se deberán definir situaciones de contingencia y de emergencia, que necesiten el trabajo mancomunado de todos los subprocesos para cumplir con la producción.

3. Generación de compromisos mutuos: Generar reuniones más periódicas (una vez por semana en vez de una vez por mes) con las distintas unidades participantes del proceso (mina, molienda y flotación), con la intención de que se generen compromisos y responsabilidades entre éstas para el cumplimiento de la producción. Se deben generar procedimientos en los que se establezcan los responsables de las actividades y compromisos, y las medidas a tomar en casos críticos o de emergencia. Estos compromisos deben ser conocidos, respetados y de libre disposición de todos los participantes del proceso, con la intención de que exista transparencia.

Finalmente, se debe crear un instrumento dentro de la institución que fiscalice y genere las reuniones y procedimientos referentes a los compromisos dentro del proceso de producción.

4. Otorgar incentivos y reconocimientos: Asumir cuando un operador ha hecho bien su trabajo reconociéndoselo personalmente, e incentivándolo a seguir así y ayudar a sus compañeros.

En cuanto a lo relacionado con la estructura organizacional se debe:

1. Nombrar un supervisor por cada subproceso: Asignar como supervisor un ingeniero del área de Ingeniería y Control de Procesos para cada uno de los controles, es decir, mina, chancado y molienda, y flotación. Para lograrlo los ingenieros también se deben trasladar al centro integrado, y realizar su trabajo desde ahí, ya que contarán con toda la información necesaria.
2. Fijar reuniones entre supervisores: Todos los supervisores deben programar reuniones al comienzo del día de trabajo, para compartir ideas, análisis, predicciones, y sugerir un lineamiento estratégico operacional común para todos, el cual cada uno de ellos deberá

entregárselo a su operador. Esto, con el fin de tener un control adaptado a las condiciones del mineral procesado.

3. Fijar reuniones entre supervisores y operadores: Como se mencionó en el punto anterior los supervisores deben comunicarles a los operadores las estrategias de operación que deben seguir, y deben entregarles información relevante de sus análisis de tal manera de ayudarlos a anticiparse y corregir las desviaciones.
4. Definir reglas de juego: Es necesario definir ciertos protocolos o reglas que estimulen la colaboración y el cumplimiento de compromisos. Algunos ejemplos de reglas son:
  - Reuniones diarias entre ingenieros analistas de cada subproceso.
  - Conversaciones frecuentes entre operadores de cada subproceso en la sala integrada, avisar inmediatamente sobre cualquier evento, y dejar establecida la información que se deben dar a conocer entre ellos o que deberán incorporar a sus sistemas de control.
  - Operadores de terreno deben operar según lo decidido en la sala de control.
  - Cada operador en la sala de control integrada deberá reportarle a su respectivo supervisor, que serían los ingenieros de análisis y control de procesos de cada subproceso.
5. Definir los cargos del centro integrado de operaciones:

Los operadores de las salas de control se deberán trasladar al nuevo centro integrado ubicado en Las Tórtolas, por lo tanto se tendrá:

- 1 Operador Mina
- 1 Operador Chancadores
- 1 Operador Molienda
- 1 Operador Flotación
- 1 Supervisor Mina
- 1 Supervisor Chancado y Molienda.
- 1 Supervisor Flotación.
- 1 Supervisor Suministros.
- 1 Jefe de Análisis y Control. (coordinar con jefe de operaciones).

Los operadores deberán realizar las siguientes actividades:

- Controlar su respectivo proceso teniendo en cuenta la producción final. Para eso, se deberá proyectar, en una ubicación donde pueda ser vista por todos los operadores (como el centro de la sala), los indicadores principales del proceso global, como lo son la producción total y la variabilidad de ésta.
- Seguir en tiempo real el cumplimiento del plan diario de producción.
- Reportes de eventos y de cómo lograron hacer el control de forma de alcanzar los planes de producción.
- Detectar anomalías y determinar sus posibles causas.

Los operadores deberán reportar a su respectivo supervisor.

Los supervisores, que serán los analistas de los procesos, y que deberán reportar al jefe de control y análisis, quien a su vez deberá reportar al Gerente de Mina y Plantas, deben encargarse de:

- Analizar la variabilidad del flujo del mineral, histórica y en tiempo real.
- Analizar disponibilidad y utilización simultánea de los equipos de mina y planta.
- Hacer planificación de corto plazo, colaborativa y centralizada.
- Realizar análisis predictivo de eventos y causalidad en línea.
- Confeccionar reportes de gestión.
- Definir estrategia de operación para los operadores de control, coordinándose con el jefe de operaciones.
- Buscar formas de innovación que agregue valor al proceso.

### **10.3 Modelamiento Rediseño**

Las etapas de los procesos Control Mina, Monitoreo y Control Chancado, Monitoreo y Control Molienda y Monitoreo y Control Flotación se mantienen, sólo que ahora se proponen nuevas actividades que deberán desarrollar cada uno de ellos:

Operar bajo estrategia determinada por supervisores: Cada día los supervisores entregarán una estrategia de operación a sus operadores, para que todos controlen bajo la misma línea y persigan todos un mismo objetivo.

Control de variables: Deberán controlar las variables que entran en juego en el desempeño del proceso productivo.

Detección de anomalías: Deben ser capaces de detectar cualquier desviación de los valores aceptables de operación.

Determinar posibles causas: Los operadores al ver algún error o anomalía en alguna variable deben ser capaz de detectar su posible causa, y debe dar aviso a sus compañeros operadores y a su supervisor. En caso que corresponda también deberá avisar a operadores en terreno.

Registro: Los operadores deben registrar todo evento, anomalía detectada, causa, etc., en el sistema, para que posteriormente pueda ser analizado por los supervisores.

#### **10.3.1 Modelo BPMN**

A continuación se muestra el modelamiento del rediseño, se destacan en un círculo rojo las etapas agregadas.

## Control Mina

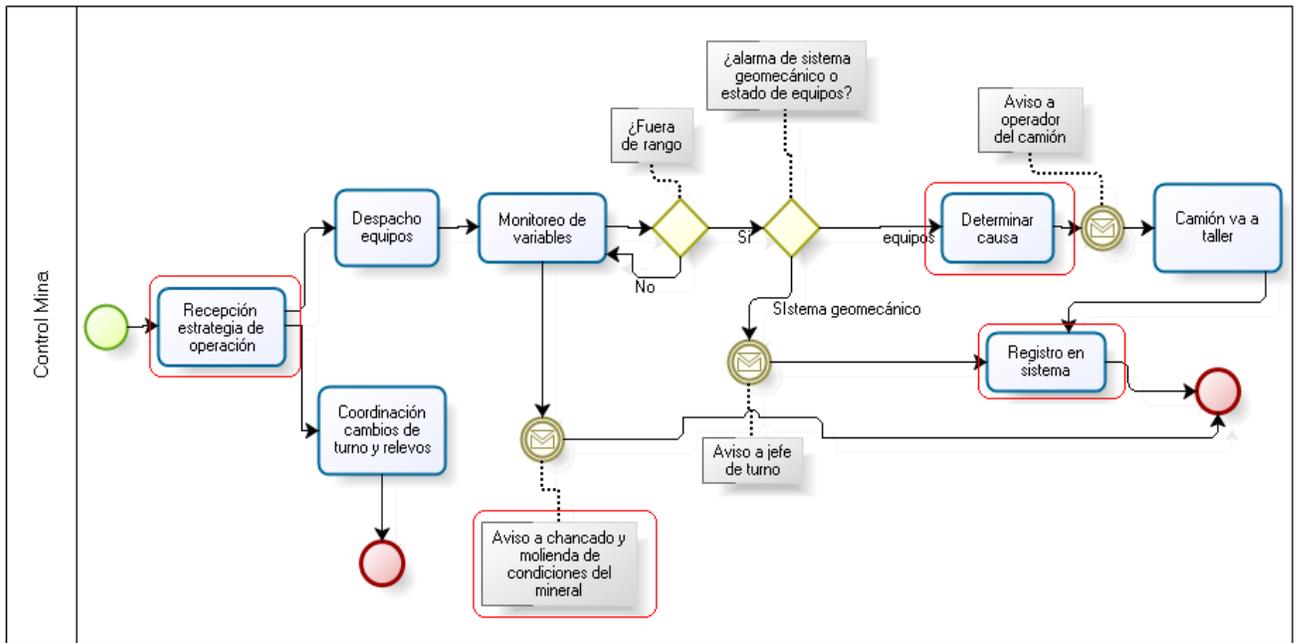


Diagrama 15: Modelo BPMN Rediseño Control Mina

Los indicadores claves que deben ser considerados al momento de realizar el control del proceso y que deben ser analizados, además de los expuestos en la descripción del proceso son:

- Cumplimiento de Producción: Está dado por el total de mineral movido en la mina en comparación al movimiento planificado.
- Horas disponibles de equipos: Es la suma total de las horas disponibles de cada equipo, en el periodo analizado, entendiendo como horas disponibles las horas donde el equipo puede operar, sin problemas mecánicos.
- Horas utilizadas de los equipos: Análogo a lo anterior, pero considerando el tiempo en que el equipo efectivamente estuvo en labores operativas.
- Cumplimiento de disponibilidades: Se compara las horas disponibles reales versus las programadas.
- Uso efectivo de disponibilidad: Se considera el cociente entre las horas utilizadas y las horas disponibles, reportando así el uso del equipo en base al tiempo que es posible de ser utilizado.
- Cumplimiento de programa de Mantenciones: Se considera el tiempo de mantenciones programadas realizadas en el periodo, por sobre el planificado.
- Índice de riesgo geotécnico: Definir un indicador en base al estado geotécnico del sector explotado.

## Control Chancado

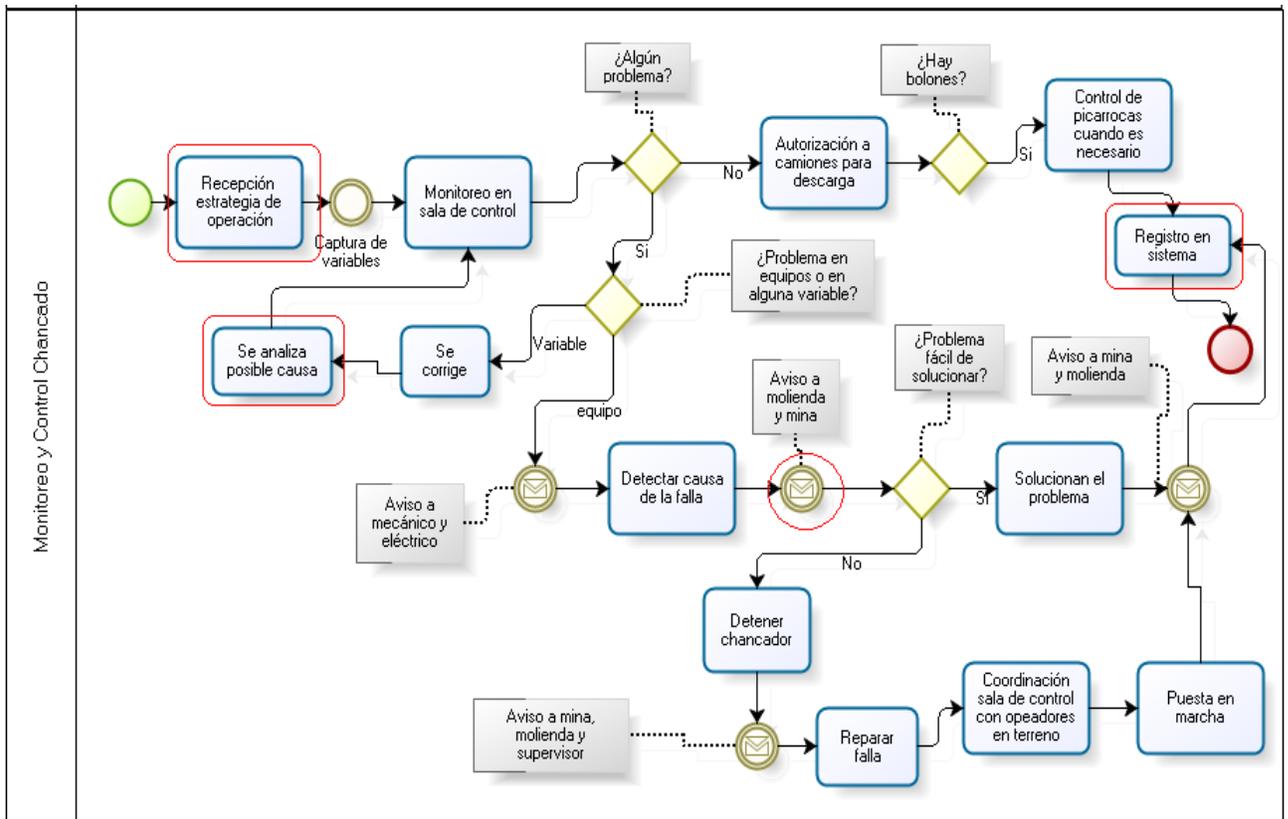


Diagrama 16: Modelo BPMN Rediseño Control Chancado

Los indicadores claves que deben ser considerados al momento de realizar el control del proceso y que deben ser analizados, además de los expuestos en la descripción del proceso son:

- Horas disponibles de chancador: Es la suma total de las horas disponibles del chancador, en el periodo analizado, entendiendo como horas disponibles las horas donde el equipo puede operar, sin problemas mecánicos.
- Horas utilizadas: Análogo a lo anterior, pero considerando el tiempo en que el chancador efectivamente estuvo en labores operativas.
- Cumplimiento de disponibilidades: Se compara las horas disponibles reales versus las programadas.
- Uso efectivo de disponibilidad: Se considera el cociente entre las horas utilizadas y las horas disponibles, reportando así el uso del chancador en base al tiempo que es posible de ser utilizado.
- Cumplimiento de programa de Mantenciones: Se considera el tiempo de mantenciones programadas realizadas en el periodo, por sobre el planificado.
- Índice de ley de envío a planta: Es el porcentaje de cumplimiento de la ley planificada de envío a planta.

## Control Molienda

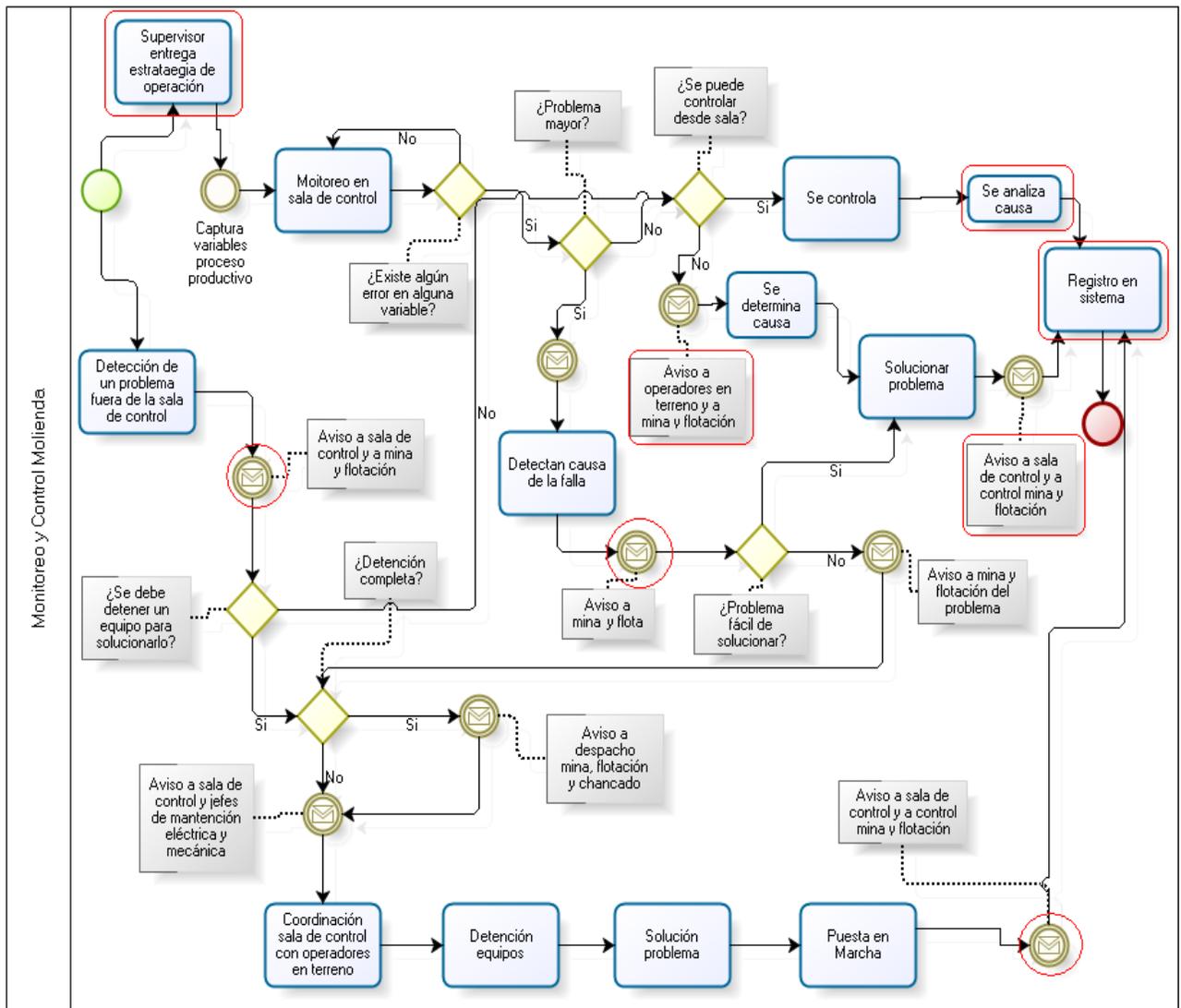


Diagrama 17: Modelo BPMN Rediseño Control Molienda

Los indicadores claves que deben ser considerados al momento de realizar el control del proceso y que deben ser analizados, además de los expuestos en la descripción del proceso son:

- Utilización de Molienda: Corresponde al tiempo efectivamente empleado en la molienda.
- Cumplimiento de ley y dureza.
- Eficiencia de conminución: Considera la alimentación y el producto final entregado por la planta. Además, integra el consumo de aceros, como principal insumo de esta etapa.
- Cumplimiento de Producción: Está dado por el total de mineral tratado en la planta en comparación al tratamiento planificado.

- Horas disponibles de equipos: Es la suma total de las horas disponibles de cada equipo, en el periodo analizado, entendiendo como horas disponibles las horas donde el equipo puede operar, sin problemas mecánicos.
- Horas utilizadas de los equipos: Análogo a lo anterior, pero considerando el tiempo en que el equipo efectivamente estuvo en labores operativas.
- Cumplimiento de disponibilidades: Se compara las horas disponibles reales versus las programadas.
- Uso efectivo de disponibilidad: Se considera el cociente entre las horas utilizadas y las horas disponibles, reportando así el uso del equipo en base al tiempo que es posible de ser utilizado.
- Cumplimiento de programa de Mantenciones: Se considera el tiempo de mantenciones programadas realizadas en el periodo, por sobre el planificado.

## Control Flotación

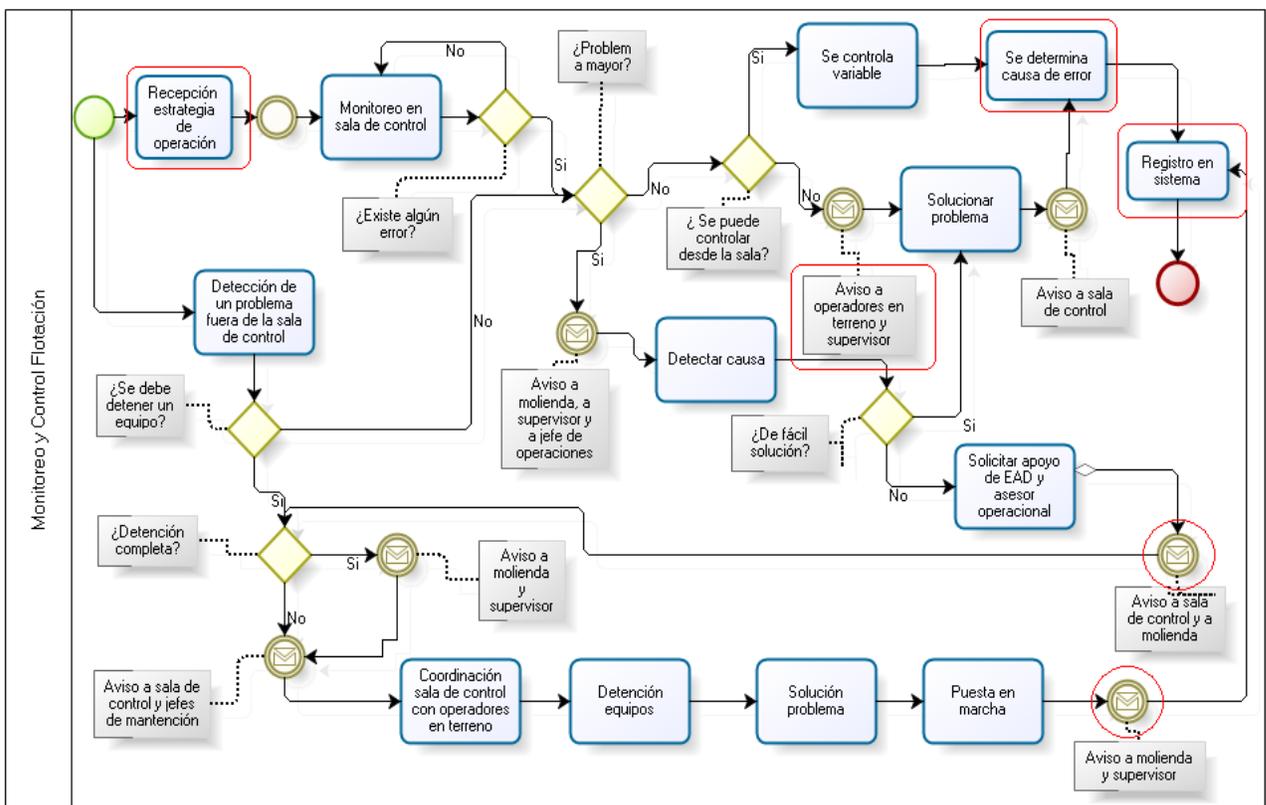


Diagrama 18: Modelo BPMN Rediseño Control Flotación

Los indicadores claves que deben ser considerados al momento de realizar el control del proceso y que deben ser analizados, además de los expuestos en la descripción del proceso son:

- Utilización de Celdas: Corresponde al tiempo efectivamente empleado en la flotación
- Cumplimiento de Producción: Está dado por el total de concentrado producido en la planta en comparación al planificado.
- Horas disponibles de equipos: Es la suma total de las horas disponibles de cada equipo, en el periodo analizado, entendiendo como horas disponibles las horas donde el equipo puede operar, sin problemas mecánicos.
- Horas utilizadas de los equipos: Análogo a lo anterior, pero considerando el tiempo en que el equipo efectivamente estuvo en labores operativas.
- Cumplimiento de disponibilidades: Se compara las horas disponibles reales versus las programadas.
- Uso efectivo de disponibilidad: Se considera el cociente entre las horas utilizadas y las horas disponibles, reportando así el uso del equipo en base al tiempo que es posible de ser utilizado.
- Cumplimiento de programa de Mantenciones: Se considera el tiempo de mantenciones programadas realizadas en el periodo, por sobre el planificado.
- Tiempo de residencia: Tiempo promedio de la pulpa en las celdas de flotación.
- Dureza y tamaño del mineral en la entrada al circuito de flotación.
- Recuperación y ley de cobre.



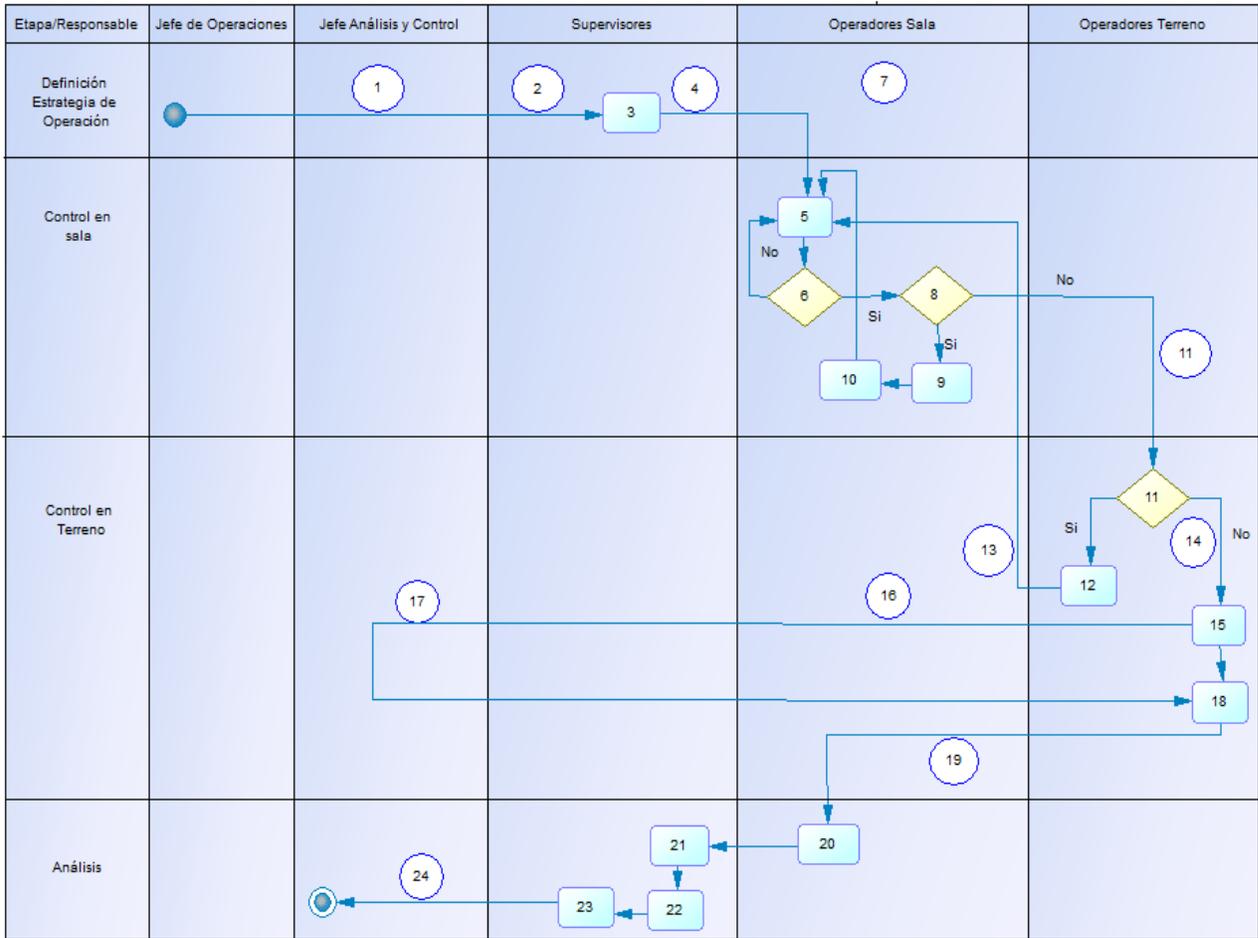


Diagrama 20: Diagrama de Roles Rediseño Procesos de Control y Análisis

Tabla 21: Actividades Diagrama de Roles Rediseño Procesos de Control y Análisis

<b>Etapa</b>	<b>Actividades</b>
Definición Estrategia de Operación	1. Aviso condiciones plantas y mina a jefe análisis y control.
	2. Aviso a supervisores de las condiciones de las plantas y mina.
	3. Supervisores comparten sus análisis y definen estrategia de operación.
	4. Comunicación de estrategia a operadores de la sala de control.
Control en Sala	5. Control de variables.
	6. ¿Algún error?
	7. Si se detecta algún error, ¿se puede controlar desde la sala de control?
	8. Si es solucionable desde la sala, se corrige la variable que corresponda.
	9. Se analiza una posible causa del error.
	10. Si no se puede controlar desde la sala, se le da aviso a los operadores en terreno

Control en Terreno	11. ¿Problema fácil de solucionar o detención de un equipo?
	12. Si es fácil de corregir, se soluciona el problema.
	13. Aviso a operador de sala.
	14. Si es una detención se avisa a mecánico y eléctrico de turno.
	15. Operadores de terreno detectan causa de falla.
	16. Operadores de terreno avisan a operador de sala de control.
	17. Avisar supervisores y jefe de análisis y control.
	18. Operadores de terreno solucionan la falla.
	19. Se le da aviso a operador en sala de control.
Análisis	20. Operador registra en el sistema cualquier evento.
	21. Análisis de registros de operadores de su respectivo proceso
	22. Análisis de información, tendencias y predicciones.
	23. Búsqueda de innovación.
	24. Comunicación de ideas y análisis a jefe de análisis y control.

Fuente: Creación Propia

#### 10.4 Síntesis de Cambios Propuestos

En resumen lo que se propone es:

- Contar con un software de integración.
- Desarrollar una visión integrada de procesos.
- Desarrollar una cultura de colaboración y coordinación.
- Tener establecido los momentos e información que deben intercambiar las partes.
- Tener establecido un esquema de toma de decisiones y de reportes a los supervisores correspondientes.
- Contar con una buena estructura organizacional para el centro.
- Contar con un profundo sistema de análisis de la información.

#### 10.5 Propuestas de Implementación

Una parte muy relevante de este proyecto, es la Gestión del Cambio. Por esto se sugiere seguir los pasos de Kotter y Cohen.

**Paso 1:** Crear una sensación de urgencia entre las personas más relevantes: Se debe convencer de la necesidad y dar a conocer los potenciales beneficios que traerá el proyecto a los altos mandos.

Para esto, se debe presentar el proyecto de forma atractiva, con sus beneficios y con resoluciones de los principales conflictos que pueda traer su implementación.

**Paso 2:** La etapa siguiente consiste en conformar un equipo conductor con la credibilidad, preparación, contactos, reputación y autoridad formal necesaria para guiar el proceso.

Se debe determinar un número de personas, adecuadamente lideradas y con habilidades complementarias que se entregan a un propósito común.

**Paso 3:** El equipo conductor debe crear una visión y estrategia adecuada para llevar adelante el cambio. Esto implica que los objetivos de cambio sean claros, simples y constructivos.

**Paso 4:** Luego viene el proceso de comunicación de la visión y estrategias, mediante mensajes simples y sinceros, para suscitar la comprensión, desarrollar un compromiso profundo y liberar más energía de la masa crítica de gente. En esta etapa los hechos suelen ser más importantes que las palabras.

**Paso 5:** Dar autoridad y responsabilidad para la acción. Lo más importante es remover los obstáculos y que las personas se sientan capacitadas para actuar, eliminando las barreras que pueda haber en las mentes de la gente.

**Paso 6:** Lograr pequeños éxitos a corto plazo, ya que proporcionan credibilidad e impulso para el esfuerzo global. Si no hay éxitos a corto plazo, las personas más resistentes al cambio pueden hundir el proceso.

**Paso 7:** Mantener constancia en el proceso, perseverando a partir de los éxitos iniciales e introduciendo gradualmente los cambios hasta consolidar la visión, sin tratar de hacer demasiadas cosas de una sola vez.

## 11. Beneficios

---

En esta sección se muestran los beneficios derivados de un mejor control de procesos, gracias a la integración de la información.

### 11.1 Beneficios No Económicos

- Mayor satisfacción del personal debido a una mejor definición de procesos y estrategias.
- Mayor conocimiento y control de los procesos.
- Se logra conseguir un mejor flujo de información.
- Mayor flexibilidad frente a las nuevas condiciones o necesidades del proceso.
- Tener una visión global de los procesos, que consiga optimizar los procesos de una manera no sólo local sino global.
- Acceso a información confiable, precisa y oportuna.

## 11.2 Beneficios Económicos

A continuación se detallan los beneficios obtenidos tanto por un aumento de la producción como por reducción de costos.

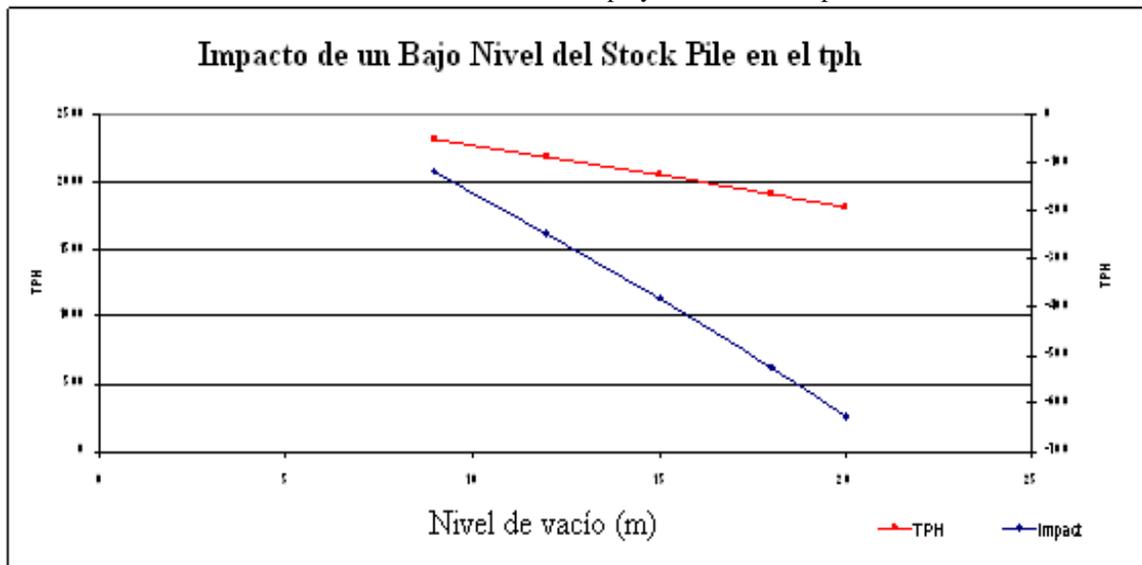
### 11.2.1 Beneficios asociados al Aumento de Producción

Como se mencionó en la sección 1.3 al poder realizar un control global del proceso productivo, considerando todas las variables y condiciones que afectan su rendimiento, se puede obtener una reducción en la variabilidad de la producción, particularmente en ciertas etapas que influyen directamente en el proceso, como lo son la variabilidad del stock pile y del circuito de flotación.

#### 11.2.1.1 Variabilidad Stock Pile

Correlaciones empíricas demuestran el impacto que tiene el nivel del stock pile en la tasa de alimentación de la planta de molienda, como se muestra en el siguiente gráfico.

Gráfico 3: Correlación entre tph y nivel del stock pile



Fuente: Anglo American

El eje x muestra la distancia desde el techo del stock pile hasta la cima de la pila de mineral. La experiencia demuestra que niveles de vacío de 7 metros o menos no producen un impacto negativo en la recuperación. Sin embargo, un nivel de vacío de 9 metros reduce el tonelaje en 120 tph (equivalente a un 5%), y 20 metros de vacío reduce el procesamiento en 626 tph (25%).

Obteniendo una relación lineal entre el tph y el nivel del stock pile, se tiene que  $Tph = 46 * stock - 294$ , y además se tiene que el nivel de la línea 1 ha estado un 37% del tiempo sobre los 8 metros, y que el nivel de línea 2 un 21% del tiempo.

Según los niveles del stock pile mostrados en la sección h, las pérdidas de tph y de toneladas mensuales son:

Tabla 22: Pérdidas de tonelaje debido a bajos niveles de stock pile

	Linea 1 (m)			Linea 2 (m)		
	Nivel stock	tph perdido	t/m pérdidas	Nivel stock	tph perdido	t/m perdidas
Enero	9,62	148,74	38.897	6,17	0,00	0
Febrero	10,65	195,97	46.290	7,59	0,00	0
Marzo	10,69	197,61	51.677	5,80	0,00	0
Abril	11,05	214,45	54.273	6,26	0,00	0
Mayo	10,83	204,19	53.399	5,93	0,00	0
Junio	11,25	223,54	56.575	7,26	0,00	0
Julio	11,74	245,95	64.319	8,81	111,21	16.160
Agosto	12,21	267,62	69.988	9,97	164,56	23.911
Septiembre	12,59	285,25	72.190	9,51	143,30	20.151
Octubre	12,88	298,62	78.093	11,16	219,57	31.904
Noviembre	11,35	228,19	57.751	7,85	66,94	9.413
Diciembre	11,35	228,19	59.676	7,85	67,10	9.750
<b>Total</b>		2.738,32	703.129		772,69	111.288

El SAG 1 (molino semiautógeno) procesa el 33% del total de la producción y el SAG 2 el 67%, por lo tanto, el total de toneladas anuales perdidas son 306.596 t/a. Esto al final implica una pérdida de cobre fino de 2.774 t/a.

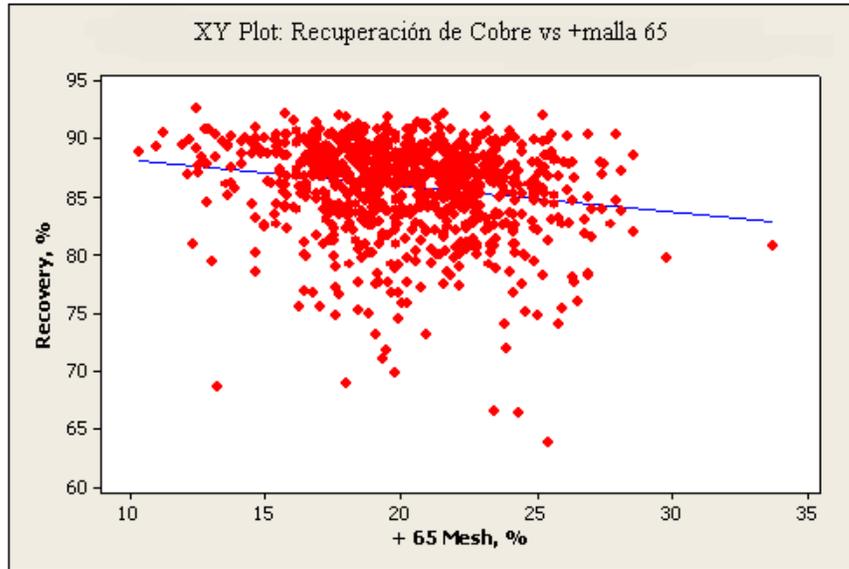
Si se considera que con la nueva forma de controlar el proceso productivo junto con el cumplimiento de los compromisos entre subprocesos, se logrará reducir en un 10% la variabilidad del stock pile (es decir, aumentar 277 toneladas anualmente), el beneficio de MUS\$ 1,4.<sup>15</sup>

### 11.2.1.2 Variabilidad Flotación

Una de las correlaciones que pueden ser hechas entre la molienda y la flotación es la distribución del tamaño versus la recuperación de cobre. El siguiente gráfico muestra esta correlación.

<sup>15</sup> Ver cálculos de beneficios en anexo 4.

Gráfico 4: Correlación entre recuperación y porcentaje sobre malla 65

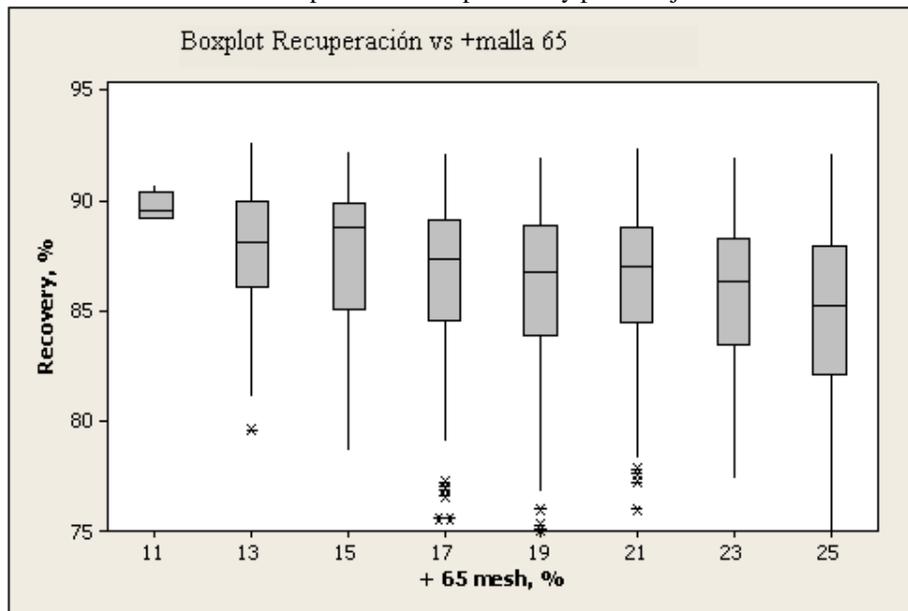


Fuente: Anglo American

Aquí se observa una tendencia inversamente proporcional, pues a medida que aumenta el porcentaje de mineral que está sobre la malla 65, la recuperación de cobre disminuye.

A continuación se muestra la misma correlación en un boxplot.

Gráfico 5: Boxplot entre recuperación y porcentaje sobre malla 65



Fuente: Anglo American

Una tabla resumen de cada rango de distribución de tamaño se muestra:

Tabla 23: Rangos de distribución de tamaño con su respectiva recuperación

<b>% sobre Malla 65</b>	<b>Recuperación Promedio (%)</b>
Class 21 Mean	87
Class 23 Mean	86,3
Class 25 Mean	85,2

El target del tamaño es de 21% sobre la malla 65 (250 micrones), y en promedio hay 35 días por año con valores sobre 25%, reduciendo la recuperación en casi un 2%. Si se lograra controlar esta situación, los beneficios económicos serían de MUS\$ 0,6.<sup>16</sup>

Por lo tanto, con un

- 10% de reducción de las pérdidas de la variabilidad del nivel del stock pile, resultando en 277 toneladas anuales adicionales de producción (ya que con un buen nivel aumenta el tph y la recuperación)
- 25% de reducción en la variabilidad en el circuito de flotación, resultando en un aumento de 80 toneladas al año.

Los beneficios financieros potenciales son de MUS\$ 2 anuales.

Extrapolando estos datos para la inclusión de Confluencia (nueva planta que busca duplicar la producción actual y que entrará en funcionamiento el próximo año como parte del Proyecto Desarrollo Los Bronces), los beneficios alcanzados son de 714 toneladas (el doble) que se traducen en MUS\$ 4 por año.

La utilización de los molinos se muestra a continuación:

Tabla 24: Utilización molinos

<b>Molino</b>	<b>Utilización YTD</b>		
	<b>Real (%)</b>	<b>Budget (%)</b>	<b>Variación (%)</b>
Bolas 1	95,5	95	0,5
Bolas 2	94,7	95	-0,3
Bolas 3	94,6	95	-0,4
SAG 1	94,5	95	-0,5
SAG 2	92,7	95	-2,3

Se puede observar que sólo el molino SAG 2 se encuentra en un nivel por debajo de lo planificado. Si se logra controlar las fallas sorpresas y cumplir sólo con las mantenciones programadas, el SAG 2 tendría una utilización del 95%, lo que implicaría una producción adicional de 1.604 toneladas al año y un beneficio de MUS\$ 0,07.<sup>17</sup>

<sup>16</sup> Ver cálculos de beneficios en anexo E.

<sup>17</sup> Ver cálculos de beneficios en anexo F.

Basándose en la experiencia de Codelco se puede obtener un aumento de 1,5% en el tph (ton por hora), y un aumento de 0,75% en la recuperación. Esto significaría un aumento de 3.898 toneladas anuales de cobre fino, lo que significa un aumento de MUS\$ 19,3 anuales.<sup>18</sup>

Este aumento en tph y recuperación es consecuencia del mejor control del stock pile y flotación, entre otras cosas, que permiten aumentar la utilización de la planta, por lo tanto, los 1.4 millones calculados anteriormente más los 0,07 millones están dentro de los 19,3 millones, así que éste valor corresponde al beneficio total.

## 11.2.2 Beneficios asociados a la Reducción de Costos.

Además del aumento de producción, con un control más eficiente se lograrán reducir algunos costos.

### 11.2.2.1 Costos de Mantenimiento

Las mantenciones a los equipos se programan y son un costo grande para la compañía, por eso es importante una buena gestión de activos, que se logra controlando las variables que son determinantes para el funcionamiento de éstos.

Los principales activos para chancado y molienda son el chancador y los molinos.

Tabla 25: Costos de Mantenimiento Planta

	Budget	Real	Variabilidad	Variabilidad (%)
Horas programadas	231	231	0	0
Horas no programadas	204	287	-83	-40,5
Total (hrs)	435	518	-83	-19,0
Costo (US\$/año)	13.822.709	16.822.709	-3.000.000	-21,7

Se observa que el costo anual de las mantenciones está un 21% por debajo de lo que se esperaba, esto debido a que aumentaron las mantenciones no programadas, por fallas imprevistas, y además hubo que comprar muchos repuestos.

Las horas de mantenimiento se calculan considerando un 95% de utilización de la planta, sin embargo este indicador también se vio afectado por las mayores mantenciones, y bajó a un 94%.

Los beneficios totales serían de MUS\$ 22,3 lo que corresponde a un 3,7% de las utilidades anuales de la División.

<sup>18</sup> Ver cálculos de estimación de beneficios en anexo G.

## 12. Conclusiones

---

Este trabajo se aboca a unos de las grandes problemáticas de las empresas mineras, que es poder cumplir con las planificaciones, a través de mayores eficacias y rendimientos, pudiendo alcanzar la excelencia operacional.

Las soluciones propuestas en este trabajo intentan entregar claras posibilidades de mejoras dentro de los procesos de control y análisis de la División Los Bronces, para implementarlo con éxito en el Centro Remoto de Operaciones Los Bronces.

El nuevo proceso de control tiene como finalidad incorporar la información relevante de cada una de las etapas en el control del proceso productivo, con el objetivo de adaptarse a las distintas condiciones que se presenten, y reaccionar de la mejor forma posible, anticipando errores o fallas. Además considera integrar el procedimiento del análisis e innovación al proceso de control, para desarrollar causalidades, predicciones, etc. y así definir una estrategia de operación y control específica para cada escenario.

A través de indicadores claves del negocio quedó en evidencia que hay ciertos márgenes negativos que son explicados, en su mayoría, por problemas de coordinación, falta de información, y no cumplimiento de compromisos entre áreas. Estos problemas se generan por la poca integración que existe entre los subprocesos, ya que, cada uno de ellos vela por sus propios resultados, lo que al establecer una cultura y política de colaboración debiese cambiar a una visión integrada de todo el proceso productivo, como una sola cadena de valor, en que las partes sepan que su eficacia impacta fuertemente la eficacia de los otros procesos, y del proceso de producción global.

El control actual, sin incorporar análisis profundos e históricos de todas las condiciones y restricciones que influyen en el proceso de producción, trae como consecuencias que no se logre producir todo el concentrado presupuestado, ya que se generan problemas imprevistos y al mismo tiempo este control sin considerar la suficiente información, provoca que las planificaciones no sean las más representativas.

Junto con lo anterior, al no tener un buen sistema de predicción de fallas de equipos, se generan altos costos de mantención, derivadas del aumento de horas planificadas para mantenciones no programadas, horas las que deberían utilizarse para producir, reduciendo el tratamiento del mineral, y de la deficiente gestión de repuestos, ya que este año se tuvieron que comprar muchos a diferencia de otros años.

Actualmente los operadores de las salas de control, tienen la suficiente autonomía para tomar decisiones, y discutir con los asesores operacionales acerca de la estrategia de operación. Esto es un punto a favor, ya que se requiere que los operadores tengan iniciativa para realizar un control eficiente, pero al mismo tiempo se necesita que todos apunten al mismo objetivo, y que en los cambios de turno conversen acerca del control realizado, y cómo se debe seguir.

Para lograr la integración, es muy importante la gestión del cambio, y cómo se le transmita el mensaje a los trabajadores de la División. Para esto, es clave seguir paso a paso las recomendaciones expuestas en la sección 10.5, y realizar actividades para crear confianza entre los operadores, analistas y operadores de terreno.

Igualmente de importante, para tener un proceso de control sin problemas, es tener una buena gestión en terreno, esto es tener una buena gestión de los repuestos, buenos procedimientos de calibración de los equipos, sensores, etc. para que la información registrada en los sistemas sea lo más real posible.

Si se implementa con éxito un proceso de control integrado, se tendrán grandes beneficios tanto económicamente como laboralmente, ya que se generará un 3,2% adicional de utilidades, y se tendrá una mejor convivencia.

### 13. Bibliografía

---

- Carlos Gonzales Vilches. Rediseño de los procesos de compra y facturación de Cenabast. Memorista Ingeniería Civil Industrial. Santiago, Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2007.
- Codelco pone en marcha centro tecnológico para integrar operaciones en División Andina. La Tercera en internet. Santiago, Chile, 4 de mayo, 2010. Negocios. Disponible en: [http://latercera.com/contenido/655\\_256820\\_9.shtml](http://latercera.com/contenido/655_256820_9.shtml)
- COR\_Inauguración\_CIO [videograbación] hecho por Gestión Online Informa. Chile 2,22 minutos.
- Felipe Ramirez Pino. Diseño de un sistema de control del plan Minero. Memorista Ingeniería Civil de Minas. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2008.
- Gestión Integrada de Operaciones. Revista Minería Chilena. Edición agosto 2010, n° 350. Emilio De Giacomo y Alexis Mandiola consultores senior y socios de la empresa Aurys S.A.
- Identificación de factores críticos de éxito en la implementación del modelo integrado de sistemas Anglo American Chile, División Los Bronces. Consultora Gesyneg, 2010.
- “Operation War Room for Cooper”, de Anglo American.
- Osvaldo Bascur y Ales Soudek. Real time integration and collaboration for sustainability management in metallurgical complexes. [Houston, USA]: OSIssoft LLC, 2010, 11p.
- Osvaldo Bascur. Real time information management for improving productivity in metallurgical complexes. [Houston, USA]: OSIssoft Software Inc, 2010, 14p.

**Anexo A: Flowsheet Proceso Productivo**

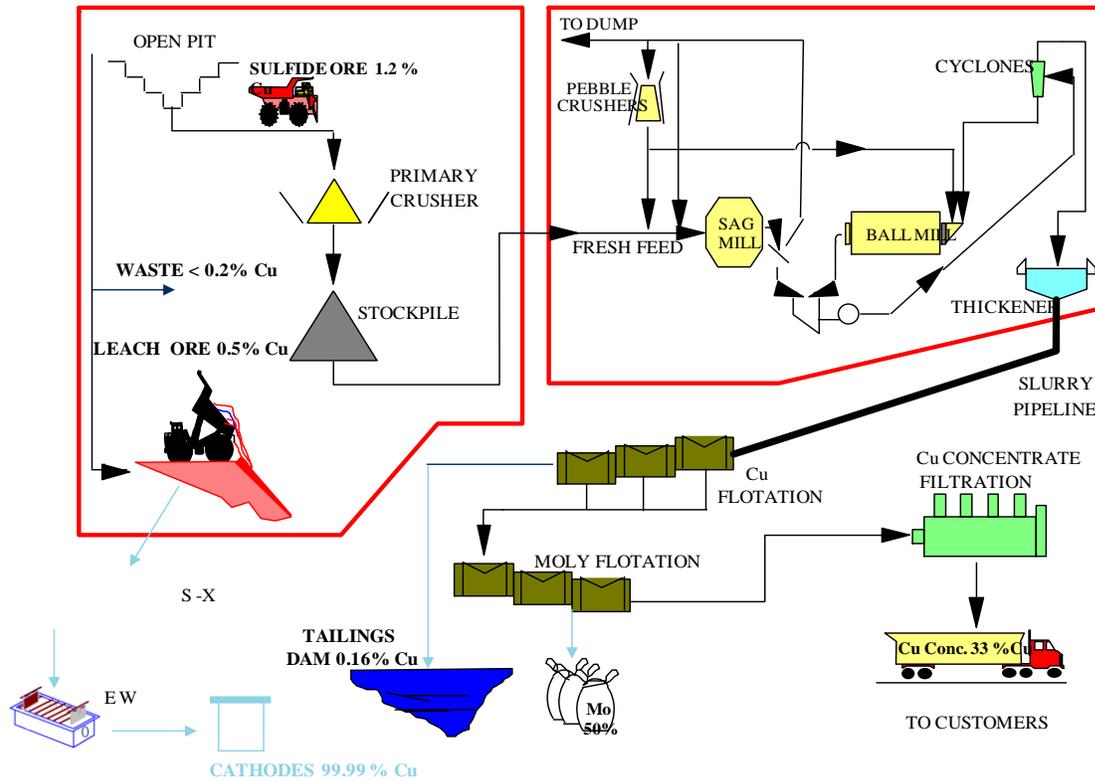


Ilustración 4: Proceso Productivo Los Bronces

**Anexo B: Benchmarking**

Otras faenas mineras ya cuentan con un centro integrado de operaciones, desde donde controlan algunos procesos, como por ejemplo División Andina de Codelco, mina La Esperanza de Antofagasta Minerals, Río Tinto, etc.

Andina, Codelco

Andina está ubicada a ochenta kilómetros al noreste de Santiago, entre 3.700 y 4.200 metros sobre el nivel del mar. En la actualidad esta división realiza la explotación de minerales en la mina subterránea de Río Blanco y en la mina a rajo abierto Sur, y produce unas 209.727 toneladas métricas anuales de concentrados de cobre que son materia prima fundamental para obtener el metal refinado.

El centro de operaciones integrado (CIO) está ubicado a setenta kilómetros de la mina, fue implementado en 4 meses inaugurándose en mayo de este año. La inversión requerida fue de US\$ 1.000.000.

El objetivo del modelo integrado de operaciones de Codelco es: “Implementar un modelo operacional integrado, colaborativo, en tiempo real y de acuerdo al flujo del mineral, para cumplir el programa manejando una variabilidad controlada y asegurar la continuidad operacional”.

El CIO es un centro que integra herramientas tecnológicas de informática y telecomunicaciones las que brindan un flujo de información oportuna y de calidad, para la correcta toma de decisiones en las distintas etapas productivas. Permite operar remotamente desde la sala de operaciones, lo que ocurre en la alta cordillera, lo que ocurre en la mina subterránea, y tomar decisiones de forma integrada. Es el primer paso de lo que se puede llamar la minería del siglo XXI.

El CIO registra, recibe, procesa y entrega información fidedigna en tiempo real de los distintos procesos mineros, lo que ayuda a mejorar la coordinación de las áreas involucradas en el funcionamiento de la División. En este sentido, ayuda a orientar las decisiones del turno minero, con el objetivo contribuir al cumplimiento del programa de producción, reducir pérdidas, controlar costos, evitar mantenciones no programadas y otros eventos que puedan interrumpir el proceso productivo.

El centro entregará análisis de causalidad y generará predicciones y probabilidades de ocurrencia de eventos que perjudican el cumplimiento de las metas productivas, lo que facilitará las acciones y proyectos correctivos que deben ser incorporados por los trabajadores de operaciones.

Este centro está compuesto básicamente por instrumentos y equipos de campo en terreno (sensores electrónicos), que capturan datos de cada proceso productivo y los envían a sistemas de información especializados. Todo centralizado en una gran plataforma que coordina la información relevante, la que es presentada en tiempo real.

Además el sistema permite, bajo modelos predictivos, medir el resultado del negocio en tiempo real y proyectarlo hacia el fin del turno, con grandes capacidades analíticas y de síntesis, de tal manera de ayudar a los trabajadores de la operación a anticiparse y corregir posibles falencias.

Por otra parte, el centro contribuye a aumentar el rendimiento y productividad de los equipos, reducir pérdidas operacionales, mejorar las condiciones ambientales y la eficiencia de los procesos.

En el CIO existen 4 estaciones de trabajo, una para la mina subterránea, otra para la de rajo abierto, una para la planta de molienda, y la última para los suministros y servicios. Cada una de estas estaciones tiene un operador a cargo, los cuales, son ingenieros, y además poseen un ingeniero de negocio como supervisor.

Los principales beneficios que ha generado la implementación de CIO son:

- Reducción de un 6% en la variabilidad diaria en plantas de molienda.

- Aumento en un 0,75% en la recuperación.
- Aumento en un 1,5% del tph.
- Disminución en el consumo de energía.

A su vez, Codelco también desarrolló, en conjunto con la empresa Kairos Mining, un Centro de Soporte Corporativo, que hace realidad el concepto de soporte y monitoreo remoto para todas las divisiones, asegurando de esta manera la disponibilidad y continuidad operativa de la infraestructura de control y automatización en las plantas.

En las instalaciones del Centro se realiza también el entrenamiento a operadores y mantenedores, la generación de aplicaciones de control y de información, además del desarrollo de pruebas o *testing* de esas aplicaciones, acorde con estándares internacionales.

Lo principal es que el Centro de Soporte y el programa Kairos contribuyen claramente a la gestión del conocimiento en la automatización de procesos, ya que al monitorear y soportar la infraestructura de control y automatización de cada división desde sus instalaciones, facilita las condiciones para compartir información y datos de los distintos equipos de trabajo, tanto divisionales como corporativos.

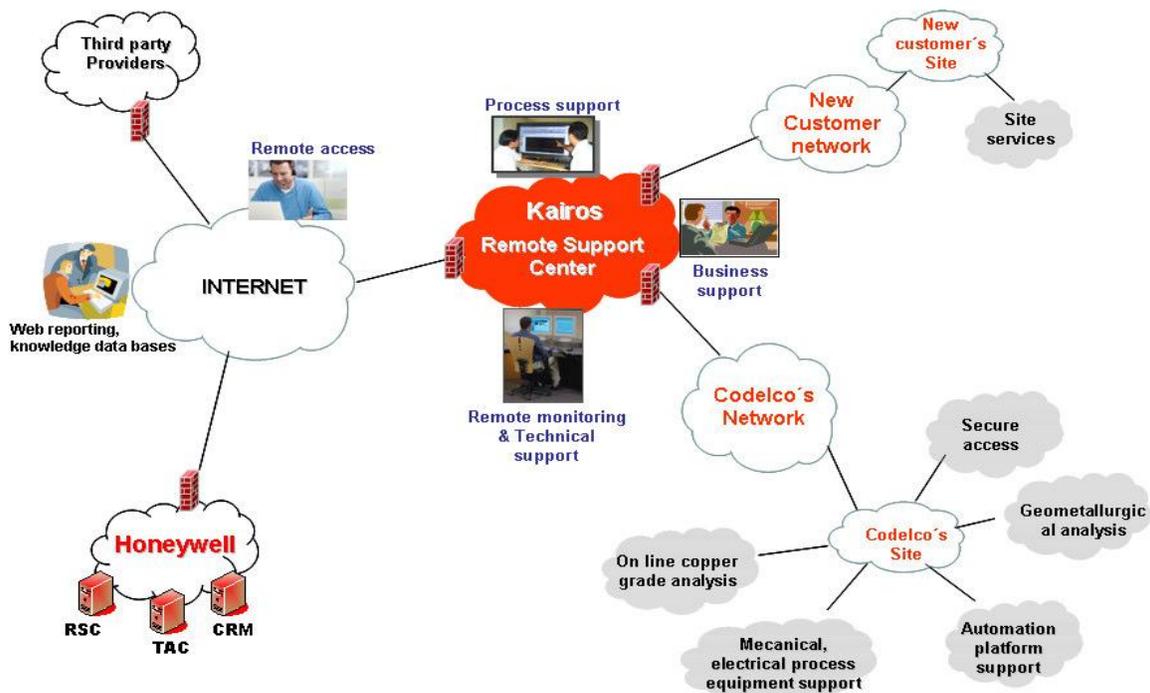


Ilustración 5: Esquema Centro de Soporte Corporativo Codelco

## Anexo C: Descripciones Cargos Subprocesos

Tabla 26: Cargos y funciones Sala de Control Mina

<b>Cargo</b>	<b>Funciones</b>
Despachador	Se encarga del despacho de los equipos, y de controlar su posición, su mineral con su respectiva ley.
Operador de apoyo	Debe apoyar el control, en particular, se encarga de la mantención del sistema, dentro de esto del monitoreo geomecánico, del control de neumáticos. Además debe coordinar los cambios de turno y relevos.
Operadores equipos	Deben operar los equipos siguiendo las indicaciones de los despachadores.
Jefe de turno	Se encarga de inspeccionar en terreno el funcionamiento de la mina, recibe constantemente información de los despachadores.

Fuente: Creación Propia

Tabla 27: Cargos y funciones Sala de Control Chancado y Molienda

<b>Cargo</b>	<b>Actividades</b>
Operador Sala de Control	Coordinación de asesores de operación para definición y retroalimentación de estrategia operacional de acuerdo a características del mineral y condiciones operativas. Monitoreo permanente de variables y parámetros operativos del proceso. Monitoreo de eventuales alarmas del proceso. Generar reporte de su turno.
Operador principal	Operación y monitoreo en terreno de principales parámetros operacionales. Toma de muestras para control de % de sólidos en alimentación y descarga en molinos de bolas. Apoyo para puesta en servicio y detención de equipos en terreno. Inspección y limpieza de PSI y harneros disipadores. Relevos en sala de control.
Operadores exteriores	Operación planta de cal. Operación planta de floculante. Recepción de insumos. Inspección y medición de inventarios de silos de cal y tolva de floculante. Inspección de espesadores. Inspección de neutralizadores. Inspección de sistemas de recuperación y bombeo de agua. Housekeeping en Planta de cal, floculante y espesadores.
Mecánicos	Monitoreo permanente de parámetros de mantención de molinos SAG, bolas, chancadores primarios y de pebbles, inspección martillos picarrocas. Inspección de parámetros de mantención de sistemas de bombeo de agua. Inspección a equipos de planta de cal, floculantes y espesadores. Ejecución de pautas de

	mantenimiento preventivo. Reparación y mantención de equipos de proceso. Coordinación con especialistas de mantención mecánica para definir estrategias de mantención.
Eléctrico	Monitoreo permanente de parámetros de mantención eléctrica de molinos SAG, bolas, chancadores primarios y de pebbles. Inspección y monitoreo de variables eléctricas y de control de sistemas de bombeo de pulpa. Inspección de subestaciones eléctricas. Inspección y generación eléctrica con generadores diesel. Inspección y calibración de instrumentos y equipos de control de proceso. Reparación y mantención eléctrica de equipos asociados a proceso.
Operador Planta I	Carguío de bolas a molinos. Inspección en terreno de correas de mineral y pebbles. Inspección stock pile, alimentadores y chutes de alimentación. Recepción de insumos de bolas y reactivos. Apoyo para puesta en servicio y detenciones de equipos en terreno. Apoyo en actividades de mantención. Realiza charlas de seguridad, lidera programas de observación de conductas, reportes de KPI's de seguridad.
Operador Planta II	Carguío de bolas a molinos. Inspección en terreno de correas de mineral y pebbles. Inspección stock pile, alimentadores y chutes de alimentación. Apoyo para puesta en servicio y detenciones de equipos en terreno. Inspección y coordinación de limpieza de pozos de derrames y housekeeping general Planta. Operación minicargadora frontal para apoyo en aseo industrial. Apoyo en actividades de mantención.
Operador chancador primario	Operación chancadores primarios. Coordinación con despacho mina, para información de minerales alimentados. Coordinación con sala de control Molienda para información de minerales, características y distribución en stock pile. Inspección de correas CM-1, 2 y 3, chutes de traspaso y carro tripper. Apoyo en housekeeping en chancadores y correas.
Jefe de Operaciones	Debe supervisar la operación, monitorea las variables, maneja el sistema experto.
Asesor Operacional	Debe velar por el buen funcionamiento de los EAD <sup>19</sup> (equipos de alto desempeño). Ver los recursos y requerimientos operacionales. Dar pautas de operación a los operadores.

<sup>19</sup> Un EAD es un equipo conformado por las 10 personas que trabajan por turno en el control de la operación.

Tabla 28: Cargos y funciones Sala de Control Flotación

<b>Cargo</b>	<b>Funciones</b>
Operador Sala de Control	Es el líder de gestión operacional. Coordinación de asesores de operación para definición y retroalimentación de estrategia operacional de acuerdo a características del mineral y condiciones operativas. Monitoreo permanente de variables y parámetros operativos del proceso. Monitoreo de eventuales alarmas del proceso. Generar reporte de su turno. Coordinación con molienda.
Líder EAD	Apoya a la operación, en distintos puntos de ésta. Apoya emergencias en terreno y control desde sala, entre otras cosas.
Operador filtro hiperbárico	Debe operar los filtro hiperbáricos
Operador planta moly	Se encarga de mantener operativa la planta de moly.
Operador filtro	Se encarga del secado de la moly y de su envasado.
Mecánico	Debe reparar fallas de origen mecánico que se presenten en los equipos.
Eléctrico	Debe reparar fallas de origen eléctrico que se presenten en los equipos.
Instrumentista	Debe mantener los equipos de instrumentación operativos.
Asesor Operacional	Debe velar por el buen funcionamiento de los EAD (equipos de alto desempeño). Ver los recursos y requerimientos operacionales. Dar pautas de operación a los operadores.

Fuente: Creación Propia

Tabla 29: Cargos y funciones Ingeniería y Control de Procesos

<b>Cargo</b>	<b>Funciones</b>
<b>Planta de Cátodos</b>	
Supervisor Lixiviación	Controlar el cumplimiento de las variables relacionados con el proceso de lixiviación. Realización de informes de análisis de tendencias y alertas.
Supervisor SX-EW	Controlar el cumplimiento de las variables relacionados con el proceso de Extracción por Solventes y Electroobtención. Realización de informes de análisis de tendencias y alertas.
<b>Planta Concentradora</b>	
Supervisor Molienda	Controlar el cumplimiento de las variables relacionados con el proceso de Molienda y Chancado. Realización de informes de análisis de tendencias y alertas.
Supervisor Flotación	Controlar el cumplimiento de las variables relacionados con el proceso de flotación Realización de informes de análisis de tendencias y alertas.
<b>Control de Procesos</b>	
Ingenieros transversal	Se encargan de los sistemas de información, de actualizarlos y subir la información para que los demás ingenieros puedan realizar el control.

Técnicos	Prestan ayuda a los ingenieros transversales.
----------	---

Fuente: Creación Propia

## Anexo D: Cálculo de Beneficios derivados de mayor control del nivel del Stock Pile

Tabla 30: Beneficios por un mejor control del Stock Pile

Producción adicional (t/a)	306.596
Ley (%)	1,04
Precio del cobre (US\$/t)	7.409
Costo de Producción c1 (US\$/t)	1828
Costo Variable	35%
Producción cobre fino (t/a)	277
<b>Utilidades (US\$/t)</b>	<b>4941</b>
<b>Utilidades (MUS\$)</b>	<b>1,4</b>

Las utilidades en US\$/t se obtienen de la siguiente forma:

$$\text{Producción Cobre fino} = (\text{Producción adicional en t/a}) * (\text{Ley})$$

$$\text{Utilidades (US$/t)} = (\text{Precio del cobre}) - (\text{Costo C1}) - (\text{Costo de producción}) * (\text{Costo variable})$$

$$\text{Utilidades (US\$)} = (\text{Utilidades en US$/t}) * (\text{Producción en t})$$

## Anexo E: Cálculo de Beneficios derivados de mayor control en Molienda - Flotación

Tabla 21: Recuperación según tamaño

% sobre Malla 65	Recuperación Promedio	N° de días en 3 años
Class 21 Mean	87	198
Class 23 Mean	86,3	155
Class 25 Mean	85,2	105

Tabla 32: Producción adicional de cobre fino

Producción Promedio (tfpd)	500
Delta Cobre (100%) (tf/a)	315

Tabla 33: Utilidades derivadas de mayor producción

Reducción de variabilidad de 25% (tfpa)	78,75
Precio del cobre (US\$/lb)	3,1
(US\$/tf)	6.834
<b>Utilidades (US\$/a)</b>	<b>538.194</b>

## Anexo F: Aumento Producción debido a mayor utilización SAG 2.

Tabla 34: Aumento de producción debido a mayor utilización del SAG 2

Utilización (%)	Toneladas anuales
93	306.596
95	308.199
Producción adicional	1.604

Los beneficios son:

Tabla 35: Beneficios derivados por mayor utilización de SAG 2

Cobre fino	15
Precio del cobre (US\$/t)	7.409
Costo de Producción (US\$/t)	1.828
Costo Variable	0,35
Utilidades (US\$/t)	4.941
<b>Utilidades (MUS\$)</b>	<b>0,07</b>

## Anexo G: Beneficios estimados a partir de mayor tph y recuperación

Cálculo beneficios estimados

Tabla 36: Beneficios derivados de mayor tph y recuperación

	Actual	Potencial	Beneficios
tph promedio mensual molienda	1.504.102,4	1.526.664,0	22.561,5
ton/año	18.049.229,1	18.319.967,6	270.738,4
Ley alimentación (%)	1,04	1,04	
Recuperación Cu (%)	87,7	88,45	0,75
Cobre fino (ton)	164.623,41	168.521,72	3.898,3
Precio Cu promedio (US\$/ton)	7.409	7.409	7.409,0
Costo de Producción (US\$/t)	1.828	1.828	1.828
Costo Variable	0,35	0,35	0,35
Beneficios (MUS\$)	813,4	832,7	19,3