



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

SISTEMA DE GESTIÓN PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO DE AGUA EN
QUEBRADA BLANCA

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN
GESTIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS

RODRIGO DAMIÁN CASTAGNO ARANCIBIA

PROFESOR GUÍA:
ENRIQUE JOFRÉ ROJAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
GERARDO DÍAZ RODENAS
JACQUES CLERC PARADA

SANTIAGO DE CHILE
2019

RESUMEN

El propósito del presente informe es desarrollar un sistema de gestión sobre el consumo del agua en dos de los procesos internos de Quebrada Blanca, que permita optimizar el uso del recurso hídrico.

El sistema de gestión se basa en un conjunto de acciones, técnicas y procedimientos que tienen por objeto optimizar procesos a través de cuatro pilares que se relacionan entre sí formando un círculo virtuoso que se alimenta y fortalece con la incorporación del aprendizaje de incidentes a la planificación. Los cuatro pilares que se desarrollan son la **Planificación**, que incluye las subetapas de Matriz de Riesgos y Planes de Mitigación & Control, siguiendo el ciclo con **Ejecución, Verificación y Aprendizaje**.

El sistema de gestión opera mediante acciones concretas durante su implementación enfocadas principalmente en los temas de revisión y modificación de procesos actuales, capacitación de personal, identificación de riesgos, planes de acción, implementación de planes de acción en los parámetros claves con verificación, aprendizaje de pérdidas, análisis estadístico de registros y gestión de personas. Adicionalmente, un objetivo importante de este modelo es la incorporación del personal a la gestión eficiente creando una cultura de aprendizaje a partir de la aplicación sistemática del sistema de gestión. Si se considera a las personas como capital humano clave para la mejora de productividad, la gestión de personas estimula las competencias mediante el entrenamiento y la capacitación permanente como estrategia de mejoramiento continuo que se suma al enfoque tradicional basado en la rentabilidad del negocio. De esta manera se espera aumentar la utilidad de la empresa.

Para la prueba y aplicación del proyecto se selecciona dos de los procesos que consumen más agua fresca en la operación de lixiviación como son la Aglomeración y el Riego donde se recorren ambos procesos aplicando experimentalmente cada una de los cuatro pilares del sistema de gestión. Para el proceso de Aglomeración, se concluye que la gestión se debe enfocar en los parámetros que inciden en la correcta formación del glómero. Se pudo verificar también que la humedad óptima es un parámetro relevante en el control y adición de agua que puede ser determinado operacionalmente para su control, por lo tanto es un proceso que tiene oportunidades de optimización y, por ende, se justifica la aplicación del sistema de gestión. De la misma manera se pudo verificar para el proceso Riego que en la etapa de apilamiento, es muy importante generar una superficie horizontal y pareja en la pila de lixiviación.

La evaluación económica del proyecto, expresada en cifras referenciales según datos obtenidos entre los años 2016 y 2017, permite concluir que la reducción de un 5 % anual en el consumo de agua dulce produce un ahorro significativo de 42 millones de dólares a un costo de realización del proyecto mucho menor, expresado principalmente en remuneraciones de personal dedicado exclusivamente a la implementación del sistema de gestión y se calcula cercano al millón de dólares.

Se concluye que la aplicación del sistema de gestión es válido y permite optimizar procesos, por lo que constituye una poderosa herramienta de gestión para apoyar el futuro de los proyectos en la mina Quebrada Blanca.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo especialmente a toda mi familia, a mi esposa Daniella que me ha motivado siempre a seguir adelante con una paciencia y amor infinito. A mis hijos Franco, Luciano, Antonella y Julián que con apoyo incondicional me esperaban los fines de semana con una sonrisa que recuperaba todo el cansancio.

Y a mis padres Clarita y Alcides que me entregaron los valores y fortaleza para seguir siempre adelante y no retroceder en esta aventura.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mis más sinceros agradecimientos a los profesores guías Gerardo Díaz Rodenas y Enrique Jofré Rojas quienes, con una enorme paciencia fueron guiando la presente tesis. Por sus comentarios, opiniones consejos y ordenamiento.

A la Vicepresidencia de Desarrollo y Sustentabilidad de Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, quien financió el MBA a través del programa de desarrollo de personas.

A Franklin Cortés, gerente de plantas de Compañía Minera Quebrada Blanca por el apoyo para el acceso a la información e instalaciones como también a Cristian Ávalos y Alejandro Barahona por la información proporcionada y la predisposición a colaborar.

A mis compañeros de MBA por el constante apoyo, ánimo y motivación a todos quienes por algún motivo personal o profesional nos ha costado cumplir.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
TABLA DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	vii
1. INTRODUCCION.....	1
2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	3
2.1. Objetivo general:	3
2.2. Objetivos específicos:.....	3
2.3. Metodología.....	3
2.3.1. Recolección de datos.....	3
2.3.2. Construcción del Mapa de proceso.....	3
2.3.3. Identificación de Riesgos.....	4
3. MARCO CONCEPTUAL.....	6
3.1. Etapa 1: Planificación.....	8
3.2. Etapa 2: Ejecución.....	9
3.3. Etapa 3: Verificación.....	9
3.4. Etapa 4: Aprendizaje.....	9
4. ANALISIS ESTRATÉGICO.....	10
5. LOS PROCESOS DE AGLOMERACIÓN Y RIEGO.....	12
5.1. Aplicación del sistema de gestión en el Proceso de Aglomeración.....	12
5.1.1. Mapa del proceso Aglomeración.....	12
5.1.2. Riesgos del proceso Aglomeración.....	13
5.1.3. Planes de mitigación y control del proceso Aglomeración.....	14
5.1.4. Ejecución del proceso Aglomeración.....	16
5.1.5. Verificación del proceso Aglomeración.....	16
5.1.6. Aprendizaje del proceso Aglomeración.....	17
5.2. Aplicación del sistema de gestión en el Proceso de Riego.....	17
5.2.1. Mapa del proceso Riego.....	17
5.2.3. Control de riesgos en proceso riego.....	19
6. PLAN DE IMPLEMENTACIÓN.....	21
6.1. Revisión de procesos actuales en terreno.....	21
6.2. Capacitación de personal.....	23
6.3. Identificación de riesgos, controles y planes de acción.....	24

6.4. Implementación de planes de acción en los parámetros claves y verificación.	24
6.5. Aprendizaje de pérdidas.	25
6.6. Análisis estadístico de registros.	26
6.7. Gestión de personas.....	27
7. CARTA GANTT DEL PROYECTO	30
8. EVALUACIÓN ECONÓMICA.	31
8.1. Evaluación económica del sistema de gestión en base a RRHH.	31
8.2. Evaluación económica basado en diferencias en consumo de agua.	32
9. CONCLUSIÓN	34
10. BIBLIOGRAFÍA.....	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla1: Tabla de control de parámetros operacionales del proceso aglomeración en la actualidad utilizados en la Mina Quebrada Blanca.	16
Tabla 2: Control de parámetros de riego en la operación actual de Quebrada Blanca.	20
Tabla 3: Detalle de costo aproximado de contratar a personal especializado durante un año.....	32
Tabla 4: Beneficio de ahorro consumo de agua entre los años 2016 y 2017.....	32

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1: Estructura de diseño para el detalle de los procesos.	4
Figura 2: Estructura de diseño para la identificación de peligros y evaluación de riesgos..	4
Figura 3: Estructura de diseño para la identificación de controles.	5
Figura 4: Diagrama de flujo utilizado en Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, mostrando las 4 etapas del sistema de gestión para optimizar procesos.....	8
Figura 5: Ranking de los países con mayores reservas de cobre en 2017 (en miles de toneladas métricas).....	10
Figura 6: Secuencia ilustrativa del proceso.	12
Figura 7: curva de humedad óptima a partir de ensayo de 4 muestras.....	15
Figura 8: Deslizamiento tipo flujo causado por un incremento en el grado de saturación con aumento del nivel freático.	19
Figura 9: Superficie irregular generada durante la etapa de apilamiento.	19
Figura 10: Anegamientos provocados por exceso de riego, mala calidad del glómero y exceso de finos.	20
Figura 11: Formato para incorporar planes de acción en la matriz de riesgos utilizado en Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi.	25
Figura 12: Gráficos de valores para monitorear el diseño del sistema de Aglomeración elaborados por Gerencia de Plantas Minera Quebrada Blanca.	27
Figura 13: Carta Gantt propuesta para las actividades a desarrollar en la implementación del sistema de gestión.	30

1. INTRODUCCION

El agua dulce es uno de los recursos más escasos en el norte de Chile, por lo que las grandes mineras ya están considerando estrategias para asegurar la disponibilidad de agua que sustente sus proyectos de expansión.

En particular, en la mina Quebrada Blanca, el régimen pluviométrico se caracteriza por la existencia de precipitaciones estivales circunscrita solo al período Enero-Marzo, alta intensidad en cuanto a la radiación solar y adicionalmente, en la zona se presentan condiciones favorables de evaporación con un valor promedio mensual de 122 mm, sumado a que las reservas de agua subterránea provenientes de cuencas volcánicas, salares y glaciares son cada vez más escasas. Una de éstas, el Salar de Michincha, se utiliza para suministrar agua para la operación de Quebrada Blanca.

Este proyecto se centra en implementar un sistema de gestión para uso y consumo del agua en la mina Quebrada Blanca, ubicada a unos 4400 m.s.n.m. en la zona del altiplano andino, y a unos 10 km al oeste de la mina Collahuasi.

Actualmente, las operaciones de la mina Quebrada Blanca se suman a la problemática en general de la industria sobre leyes más bajas con la permanente decisión de optimizar y reducir costos. Así vemos como se tomó la decisión de terminar las operaciones de lixiviación en pilas nuevas, y se combinan lixiviación in situ remanente en el Dump y riego directo en botaderos para obtener provecho de las leyes bajas.

Los elementos ambientales deben ser protegidos de las actividades productivas que puedan generar un impacto negativo tanto por las acciones y procesos como la mala gestión que se haga en el manejo de agua y los costos de operación.

El uso eficiente del agua implica la realización de una función, tarea, proceso o resultado con la mínima cantidad de agua posible (m^3 /unidad de producto) y la productividad del agua relaciona el volumen de beneficio, es decir, la producción, servicio o satisfacción, con la cantidad de agua utilizada en el proceso de producción (unidad de producto/ m^3)

El sistema de gestión propuesto en esta tesis, se basa en cuatro pilares fundamentales como la planificación, la ejecución, la verificación y el aprendizaje que se vinculan entre sí como un ciclo virtuoso que direcciona todas las iniciativas de optimización de procesos.

La oportunidad de este proyecto está en implementar un sistema de gestión para optimizar el uso de agua en los procesos operacionales de aglomeración y riego de lixiviación en pilas para reducir el consumo, darle sustentabilidad a los proyectos, aumentar la productividad y reducir el costo operacional. Los dos procesos mencionados son los que consumen más agua y constituyen una buena oportunidad para implementar el sistema de gestión, crear una cultura de eficiencia con calidad y aplicarlo al resto de los procesos.

Para la implementación del sistema de gestión se seleccionó dos procesos que consumen agua fresca y cuya optimización causaría un favorable impacto tanto en la

eficiencia del uso del agua como en el control y optimización de este escaso recurso.

Los procesos seleccionados son Aglomeración y Riego, como una forma de probar la metodología de gestión y en el futuro poder aplicarlo a más áreas operativas dentro de la cadena de valor minera de Teck.

Actualmente, las actividades pertenecientes a los procesos seleccionados ocurren en la operación de lixiviación en pilas de la Superintendencia de Plantas, y se pretende que el trabajo de investigación y puesta en marcha del sistema de gestión propuesto en el presente informe, tenga una duración de seis meses.

La puesta en marcha del proyecto implica recolección de información, datos históricos, investigación en terreno y adicionalmente, trabajo en conjunto con personal de supervisión y ejecución de las tareas que se van a evaluar, de manera que se instale una cultura de cómo trabajar gestionando eficientemente los procesos.

Teniendo en cuenta que está en carpeta de Teck Resources, dueño de la mina Quebrada Blanca, construir una nueva operación de sulfuros en la zona con planta concentradora, puerto y planta desalinizadora, la gestión eficiente sobre los principales insumos de la minería debe estar presente desde el inicio del proyecto a través de la definición correcta de los procesos para la factibilidad de los proyectos.

2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1. Objetivo general:

Desarrollar un sistema de gestión sobre el consumo del agua en los procesos internos de Quebrada Blanca, que permita optimizar su uso garantizando la sustentabilidad del negocio en toda la cadena de valor.

2.2. Objetivos específicos:

- Construir procesos robustos que abarquen todas las actividades que se requiera gestionar.
- Recolectar los datos necesarios para la implementación del sistema de gestión.
- Identificar los riesgos y controles de las actividades de los procesos de Aglomeración y Riego.
- Identificar los factores e indicadores que influyen en el consumo del agua fresca.
- Implementar un sistema de gestión sistemático que controle y optimice los procesos de Aglomeración y Riego.
- Reducir el uso del agua en los procesos de Aglomeración y Riego.
- Evaluar económicamente los costos y beneficios sobre el ahorro de agua fresca.
- Crear conciencia y una cultura de trabajo eficiente entre las personas involucradas en los procesos de Aglomeración y Riego.
- Aumento de productividad centrado en las personas

2.3. Metodología.

2.3.1. Recolección de datos.

Se recolectarán todos los datos necesarios de los procesos de Aglomeración y Riego para construir ambos procesos.

La información será proporcionada por el Gerente de Plantas recorriendo las instalaciones con los procedimientos en mano diferenciando en un paso a paso los componentes claves, con los registros actuales e históricos con énfasis en las tareas que involucren adición de agua fresca, recuperación y recirculación.

2.3.2. Construcción del Mapa de proceso.

Para construir el mapa de proceso se debe tomar conocimiento detallado de los inputs, actividades y productos involucrados mediante un esquema simple.

Implica conocer el proceso en profundidad, sus objetivos, el eslabón anterior y posterior de la cadena de valor, de quién recibe información y a quién la entrega. A continuación se

presenta un esquema utilizado en la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi para construir un proceso y que se tomará como referencia.

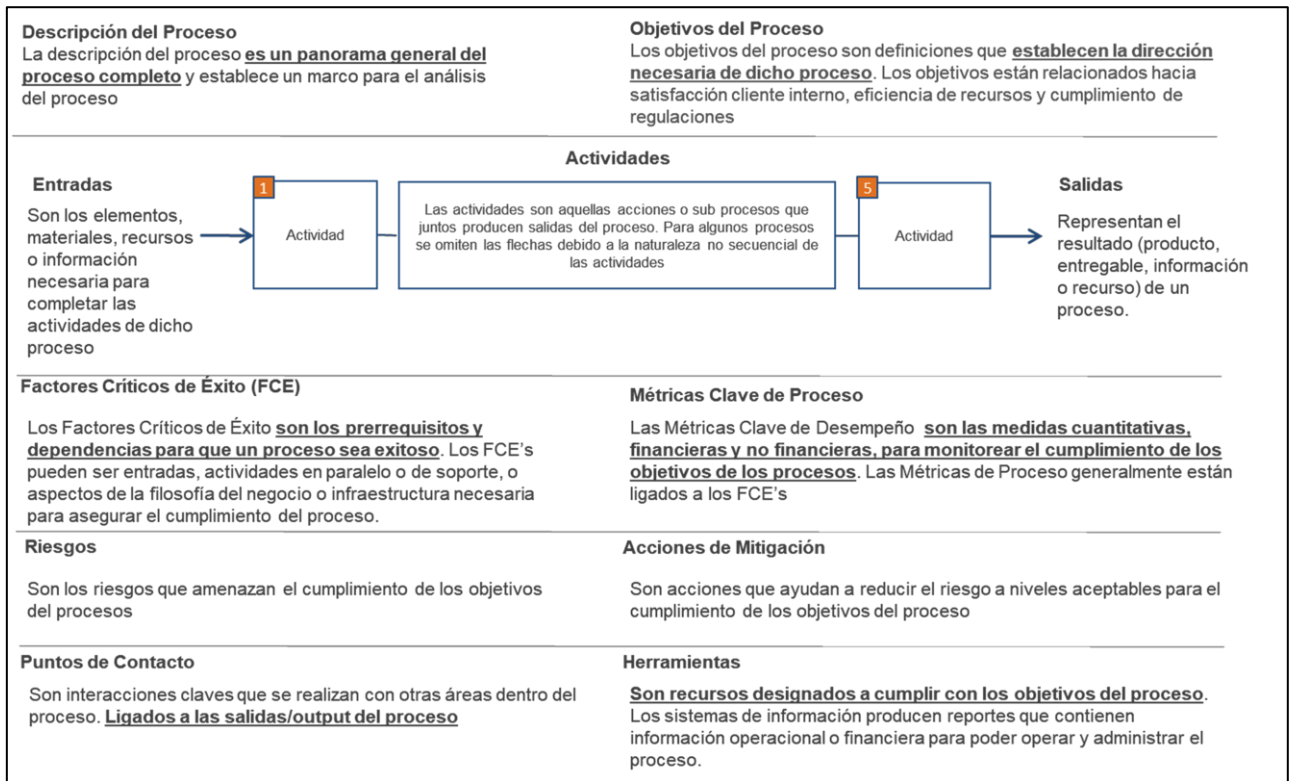


Figura 1: Estructura de diseño para el detalle de los procesos.

2.3.3. Identificación de Riesgos.

Para la construcción de la Matriz de Riesgos, se parte con las actividades y tareas claves identificadas y que componen el proceso definido en la etapa anterior para Aglomerado y Riego. Luego se identifican y evalúan los riesgos a las personas, equipos, negocio y medioambiente para cada una de las actividades.

Es importante diferenciar la definición de peligro y riesgo para tener claridad absoluta de lo que se está evaluando.

Peligro: Fuente de generación de una situación que puede provocar un incidente. (Ej: tormenta eléctrica, caída de rocas, superficie resbaladiza.)

Riesgo: Es la interacción de la fuente de peligro con una persona, equipo, negocio o medioambiente. (Ej: Electrocución, golpe en la cabeza por caída de rocas, torcedura por caída en superficie resbaladiza, etc.)

Para lo anterior se utiliza un formato de matriz implementado en Cía Minera Doña Inés de Collahuasi como el que muestra la siguiente figura.

PROCESO	SUBPROCESO	ACTIVIDAD	TAREA	OCUPACION	RUTINARIA (R) NO RUTINARIA (NR)	I. IDENTIFICACION PELIGROS SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL EN LA ACTIVIDAD		II. EVALUACION RIESGO PURO S&SO					
						PELIGROS SEGURIDAD / SALUD / NEGOCIO / MEDIOAMBIENTE	Evaluación del Riesgos CONSECUENCIA	Probabilidad # de Severidad (E)	Nivel de Exposición (PMS)	Nivel de Criticidad	EVALUACION GLOBAL RIESGO PURO	EF: Aplicable	
													PELIGRO PARA LA SEGURIDAD

Figura 2: Estructura de diseño para la identificación de peligros y evaluación de riesgos.

Una vez identificados los riesgos se procede a elaborar un plan de acción para cada uno.

III. CONTROLES				IV. EVALUACION RIESGO RESIDUAL S&SO				EVALUACION GLOBAL RESIDUAL
CONTROLES ADMINISTRATIVOS / BLANDOS (según Resultados de Evaluación del Riesgo)		CONTROLES DUROS / INGENIERIA (según Resultados de Evaluación del Riesgo)		Probabilidad (P)	Severidad (S)	MIR (PXS)	Nivel de Criticidad	
FAMILIA	CONTROLES ESPECÍFICOS	FAMILIA	CONTROLES ESPECÍFICOS					

Figura 3: Estructura de diseño para la identificación de controles.

Es importante que en el proceso de construcción del mapa de proceso y matriz de riesgo participe el personal que va a ejecutar la actividad. De esta manera se crea una cultura de trabajo eficiente entre las personas involucradas en los procesos de Aglomeración y Riego. A medida que se realiza la actualización de los procesos, el personal se capacita para adquirir los conocimientos y poder traspasarlos de manera que se transforme en una metodología sistemática.

3. MARCO CONCEPTUAL

Según un trabajo elaborado en la Dirección de Estudios y Políticas públicas sobre la proyección de consumo de agua en la minería del cobre 2017-2018 y publicado en diciembre 2017, el proceso que más utiliza agua en la minería es la concentración, la cual aumentaría su consumo de agua total aún más al 2028 (casi un 75%). Respecto a la condición de los proyectos, el mismo estudio titulado proyección de consumo de agua en la minería del cobre 2017-2018, destaca que los proyectos que explicarían casi la mitad del consumo de agua de mar al 2028, son probables, potenciales o posibles, es decir, tienen un grado de incertidumbre en su materialización y que si bien el uso de agua de mar soluciona el problema de escasez de agua en la zona del norte grande de Chile, no soluciona el problema de la calidad del agua por los residuos mineros, por lo que es necesaria una buena gestión y eficiencia en el uso de agua, independiente de su origen.

Esta necesidad, ha llevado a la industria minera a buscar soluciones, adoptando mejores prácticas e introduciendo nuevas tecnologías para optimizar la gestión del recurso hídrico. Además, se han buscado nuevas fuentes para enfrentar el escenario de déficit.

Según las proyecciones de Cochilco sobre el consumo del agua en la minería hasta el año 2028, hay un fuerte aumento del uso de agua de mar en los procesos mineros, sobre todo para los procesos de concentración. Al 2028 el uso de agua de mar aumentaría en un 289,9%, mientras el uso de agua continental decrece en un 6,3%. Se puede ver que la mayoría del agua de este origen se consumirá en la región de Antofagasta, la cual reducirá drásticamente su consumo de agua continental (en un 55%). Considerando que el año 2016 Antofagasta era la región que más consumía agua continental (de manera absoluta, no ponderada), esta reducción seguramente marcará una diferencia en la región, que dejaría de consumir 2,56 m³/seg.

De manera general, el proceso de concentración es el que más aumentaría su consumo de agua total (continental y de mar), y lo hace en un 74,7% en el periodo del 2016 al 2028. En el mismo período, el proceso hidrometalúrgico disminuiría su consumo de agua total en un 51,7%. Esto último es, definitivamente, de gran ayuda para la disponibilidad de agua para otros usos (cantidad de agua).

Sin embargo, el uso de agua de mar no resuelve el problema de la calidad del agua para la minería, la cual, luego de ser usada queda cargada de metales, reactivos propios de la concentración, ácidos y otros químicos. Se reitera que el nivel de recirculación que tiene la minería Chilena es alto y, para evitar un aumento de problemas por calidad de agua, esta tasa de recirculación debe mantenerse o aumentar.

Si bien el uso de agua de mar aparece como una solución estratégica a la escasez hídrica existente en el país, se deben también considerar los potenciales impactos al medio ambiente marino, por lo que es necesario tener una mirada integral que siga otras fuentes de reciclaje de agua, tal como uso de aguas grises o de descarte de tratamiento de aguas servidas, además de nuevas técnicas que reduzcan ese potencial impacto.

Ahora bien, cómo lo han hecho otros países donde la escasez de agua es aún mayor y no para abastecer la minería, sino lo que es más grave, para satisfacer las necesidades de la

población.

Esto nos introduce a la importancia de la gestión del agua en el futuro cercano.

El caso Israel:

De la mano de la tecnología y la innovación las cooperativas de granjeros que hoy viven en el desierto pueden sembrar y cosechar frutas y verduras que se exportan a Europa y Asia. No sacaron el agua de las piedras, la obtuvieron de las aguas residuales. Se trata de aguas que se utilizan en la cocina, baños, ducha, plantas industriales y comercios. Inmensas tuberías de más de dos metros de diámetro recolectan las aguas residuales de las ciudades de todo el país y las conectan con distintas plantas de tratamiento. Las de Tel Aviv y el área metropolitana, que juntas suman más de 120 kilómetros, recolectan los residuos de unos 2,5 millones de personas, desembocan en la planta de tratamiento más grande de Medio Oriente, Shafdan.

El 91% del agua residual de todo Israel se reutiliza. Después de pasar por procesos de filtrados y limpieza, pasa por un último paso: es inyectada en un acuífero natural para la última filtración. De allí es extraída y distribuida principalmente hacia poblaciones en el sur, hacia el desierto de Neguev. Los residuos orgánicos también se convierten en fertilizantes gratuitos para los agricultores y, el gas que produce en el proceso abastecerá a toda la planta de energía para el año próximo.

Es que el agua es uno de los problemas centrales que Israel debe resolver diariamente. Shafdan fue construida en 1987, pero se sumaron otras que permiten proveer a los agricultores. Casi el 60% del líquido que se usa en el país está destinado a la actividad.

"Cada año se deciden qué obras son necesarias. Se tienen en cuenta los escenarios de cambio climático y se invierte en la sensorización de las tuberías. Es necesario que detectemos las pérdidas de agua para poder repararlas rápidamente", indica Oded Fixler, director general de la Autoridad de Agua israelí. Según los datos oficiales, la pérdida de agua en la distribución alcanza el 5%.

Pérdida de agua en la red de distribución en Chile comparado con el caso anterior.

En Chile, la industria sanitaria presenta elevados porcentajes de pérdida de agua potable en redes. El porcentaje de agua no facturada de las 27 empresas principales fue del 33,65% con un valor máximo del 46,30%. Según la propia SISS, del orden de un 74% del agua no facturada corresponde a pérdidas físicas. Numerosas ciudades en el mundo presentan valores de agua no facturada inferiores al 10%. En base a la producción de agua potable de cada empresa sanitaria así como su porcentaje de pérdidas, se estima que el 2014 en Chile se perdieron aproximadamente 270.250.000 de m³ de agua. En este sentido, planes de desalinización consideran una capacidad de 1.000 l/s, es decir, 31.536.000 de m³/año. Por lo tanto, el volumen de agua perdida en las redes de distribución en Chile es 8,5 veces el volumen de agua que las futuras plantas desalinizadoras generarán.

Con una mirada a los dos ejemplos, se hace relevante pensar que un buen sistema de gestión y optimización del uso del agua implementado desde la minería, se puede aplicar a cualquier proceso e industria que requiera reducir pérdidas.

Descripción del Sistema de gestión:

El sistema de gestión de riesgos y optimización de procesos es utilizado en la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi y se trata de un conjunto de acciones, técnicas y procedimientos que tienen por objeto optimizar procesos a través de cuatro etapas que se relacionan entre sí formando un círculo virtuoso que se alimenta y fortalece con la incorporación del aprendizaje de incidentes a la planificación.

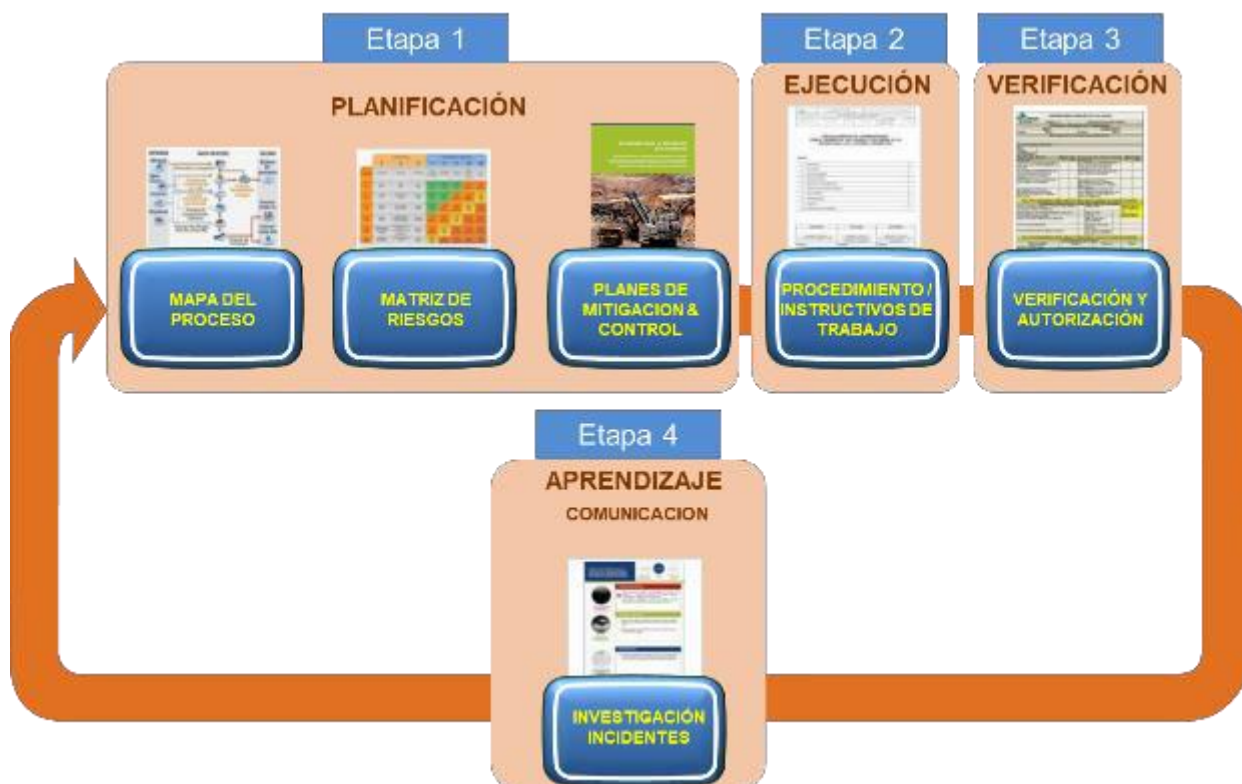


Figura 4: Diagrama de flujo utilizado en Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, mostrando las 4 etapas del sistema de gestión para optimizar procesos.

3.1. Etapa 1: Planificación.

La planificación se compone de tres sub-etapas, Mapa del proceso, Matriz de riesgos y Planes de mitigación & control. La elaboración de un correcto mapeo garantiza el desarrollo de procesos seguros e incorpora todas las actividades, tareas y factores críticos de éxito. A su vez, la matriz de riesgos identifica peligros, evalúa los riesgos a las personas, medioambiente, equipos y negocio del proceso. Finalmente los Planes de mitigación y control garantizan la efectividad de las medidas de control y su cumplimiento. Se verifica que el plan propuesto moviliza a un resultado de negocio y protege a las personas.

Se basa en conocer el proceso que se va a optimizar en profundidad entendiendo por

proceso un conjunto de actividades que se relacionan a partir de un input y que genera un producto, más adelante serán descritos en detalle para la aglomeración y el riego. Es en la planificación donde se debe gastar mayor cantidad de tiempo para conocer las actividades principales que componen el proceso.

3.2. Etapa 2: Ejecución.

En esta etapa se garantiza la correcta ejecución de actividades e incentiva a las personas a hacer cambios en instructivos.

Se considera que la ejecución de las actividades del proceso constituido en la etapa anterior debe realizarse con procedimientos que aseguren la calidad de la tarea y con el permiso del supervisor de la misma. Esto parece normal y trivial, pero todos los incidentes de la naturaleza que provengan tienen sus causas básicas en ejecutarse fuera de procedimiento. En esta etapa se asegura que la tarea que se va a realizar cuenta con el permiso del supervisor como última barrera para que se desarrolle con seguridad y calidad.

3.3. Etapa 3: Verificación.

En esta etapa se asegura que las actividades a desarrollar tienen todos los controles aplicados y detiene labores sin controles. La verificación se relaciona con comprobar en terreno que los planes de acción para evitar los riesgos declarados en la matriz, estén implementados e identificar nuevos riesgos no conocidos.

3.4. Etapa 4: Aprendizaje.

En esta etapa se reconoce y refuerza el aprendizaje continuo, se identifican brechas de mejora y se realizan acciones de aprendizaje.

Mediante la incorporación de los aprendizajes de los incidentes que nos van ocurriendo en la ejecución de las actividades de cada proceso, el sistema se va perfeccionando para que los errores no se repitan en el tiempo. Es una etapa importante para asegurar el aprendizaje de los incidentes o que simples errores sean incorporados como control en la matriz y como actividad adicional en la planificación si así se requiere.

4. ANALISIS ESTRATÉGICO

Los recursos más valiosos son aquellos que son cada vez más escasos. Así lo ha demostrado permanentemente la historia, donde la dificultad de acceso a recursos escasos ha desencadenado innumerables conflictos e incluso guerras.

En la actualidad, ha aumentado la conciencia que uno de los recursos más escasos del siglo XXI será el agua dulce, por lo que muchos países ya están llevando a cabo diversas estrategias para asegurar la disponibilidad de largo plazo de este vital recurso.

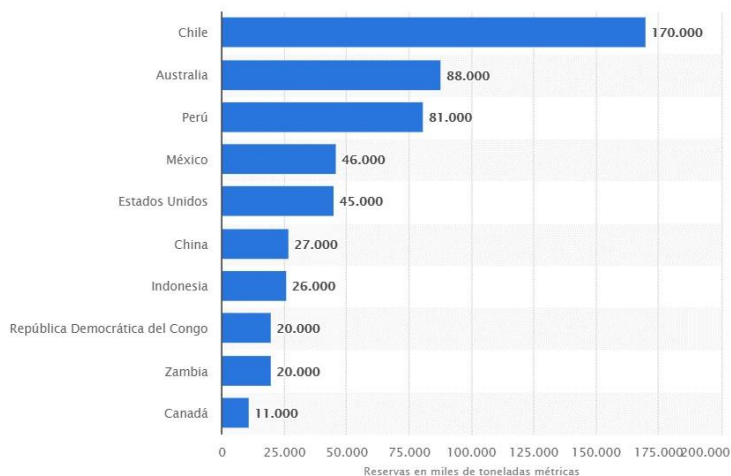


Figura 5: Ranking de los países con mayores reservas de cobre en 2017 (en miles de toneladas métricas)
Fuente Statista, 2018.

La industria minera enfrenta importantes desafíos en los próximos años. En relación con el agua se presentan al menos dos riesgos estratégicos a largo plazo, el de asegurar la cantidad necesaria para abastecer la creciente producción y reducir el consumo del agua, energía y contaminación debido a las demandas sociales.

A diferencia de otros países en América Latina y el mundo, en Chile el agua es considerado uno de sus insumos estratégicos, que se hace más visible y demandante en la zona norte de acuerdo a las restricciones en un área de menor disponibilidad y que compite con el consumo doméstico y de otras industrias.

No solo es un problema de disponibilidad, sino además de calidad. Por ejemplo, en algunos valles de la región de Arica y Parinacota, el agua disponible para la agricultura presenta altos contenidos de salinidad, boro y arsénico, lo que limita las opciones productivas que se pueden implementar.

Otros de los desafíos estratégicos importantes en la industria minera del siglo XXI es cómo enfrentar las decrecientes leyes minerales, sin un aumento importante del costo de operación y baja en la productividad. Es evidente en los últimos años que ha sido un tema de discusión, no solo al interior de las grandes mineras, sino también por organismos sociales y políticos.

La ley decreciente de los yacimientos impacta directamente en el consumo de agua fresca, mientras más ley se tiene, el requerimiento es menor tanto para las operaciones de plantas concentradoras como para procesos hidrometalúrgicos. Por el contrario, cuando la ley es baja hay un aumento de los tonelajes de tratamiento de mineral y mayores cantidades de agua son requeridas para el proceso de extracción.

Este último caso es el que está viviendo las operaciones de Quebrada Blanca para sus procesos de lixiviación en pilas. La baja producción y menor ley obliga a tomar medidas estratégicas distintas a lo que venía haciendo en un ciclo de precios y leyes altas. El enfoque debe ir en buscar alternativas de nuevas fuentes de abastecimiento y a optimizar el consumo.

Plan de desarrollo de Quebrada Blanca:

Quebrada Blanca ha reducido la operación de lixiviación a lo mínimo indispensable mientras desarrolla planes de expansión en profundidad de la mina de óxidos para pasar a desarrollar una planta concentradora de sulfuros con construcción de campamento, planta, tubería de concentrado, puerto y planta desalinizadora, lo que significa la mayor inversión a nivel de proyectos en el país.

En este período de transición entre el cierre de una operación y la construcción para la apertura de otra mina, la gestión del agua y otros insumos estratégicos cobra la mayor relevancia y se proyecta hacia una gestión eficiente de las nuevas operaciones.

El nuevo proyecto considera la construcción de una planta concentradora cercana a la mina, un depósito de relaves, un ducto para el transporte del concentrado de cobre, una planta abastecedora de agua de mar, la que será enviada por un acueducto a la concentradora e instalaciones para la recepción, filtrado y embarque del concentrado en el sector de Patache Norte, al sur de Iquique.

De acuerdo con estudios preliminares, el proyecto permitiría alcanzar una capacidad de producción de aproximadamente 240.000 toneladas de cobre en concentrado y 6.000 toneladas de molibdeno en concentrado por año.

El uso de agua de mar, la inversión en tecnología, las operaciones teledirigidas son los temas que hoy en día está trabajando Teck para su operación de Quebrada Blanca y que implica, adicionalmente un cambio cultural importante para los trabajadores que necesitarán capacitarse para poder estar a la altura de los desafíos tecnológicos que la inversión requiere.

5. LOS PROCESOS DE AGLOMERACIÓN Y RIEGO.

5.1. Aplicación del sistema de gestión en el Proceso de Aglomeración.

En esta etapa se debe conocer bien cada actividad para identificar dónde es conveniente optimizar. A continuación se describen las características principales del aglomerado con énfasis en la adición de agua, los riesgos y definición de controles que completan la etapa de planificación.

5.1.1. Mapa del proceso Aglomeración.

El proceso de aglomeración es el pretratamiento a la etapa de lixiviación en el que se mezclan un mineral, un líquido (agua) y aditivos, que sometidos a un movimiento de rodadura, producen la agregación de las fracciones finas generando partículas de mayor tamaño.

El propósito de este proceso es aumentar la permeabilidad de la pila para el proceso de lixiviación. Durante la aglomeración el mineral es mojado hasta alcanzar una humedad de un 10 %, usando para esto ácido sulfúrico y agua. Aproximadamente se necesitan 5 Kg de ácido sulfúrico por tonelada de mineral seco, generalmente el ácido es diluido con agua sobrecalentada para aumentar la temperatura final de la aglomeración a 17°C, lo que permite aumentar la porosidad, oxigenación, permeabilidad y escurrimiento de la solución para facilitar la extracción de cobre.

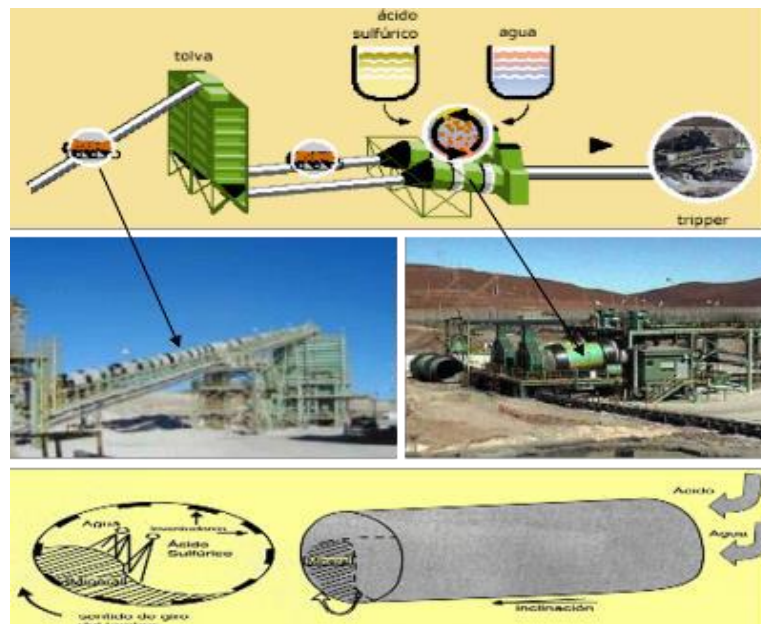


Figura 6: Secuencia ilustrativa del proceso.

Es importante tener claro los objetivos del proceso para identificar las actividades que realmente agregan valor.

Los objetivos principales que justifican la aglomeración son:

- Conseguir una mayor permeabilidad en el lecho de la pila.
- Conseguir una distribución homogénea de la solución lixiviante en el lecho de la pila.
- Proporcionar una estructura física de la pila estable aumentar la cinética de extracción de la especie útil.

Con esto se identifican las variables que condicionan la calidad del glómero:

- Humedad de aglomeración,
- Características del material que se aglomera,
- Características tambor (diseño).
- Condiciones de operación del tambor
- Aplicación de aditivos ligantes.

Otra actividad importante en el proceso es la de curado ácido que consiste en agregar ácido concentrado durante el proceso de aglomeración. Es un pretratamiento químico que mejora la respuesta cinética de disolución del cobre, inhibe la disolución de sílice y también actúa como elemento ligante entre las partículas.

Siguiendo con la etapa de planificación, luego de entender y conocer el proceso en detalle se analizan los riesgos asociados a las actividades más importantes identificadas durante la construcción del mapa de procesos. (Figura 1)

5.1.2. Riesgos del proceso Aglomeración.

La etapa de identificación de riesgos tiene como objetivo asegurar que cada una de las actividades que componen el proceso Aglomeración tenga un control adecuado. De esta manera se evitan interrupciones o cuellos de botellas que afectan el proceso completo.

Con la colaboración del equipo de la gerencia de Planta de la mina Quebrada Blanca se analizan los principales riesgos encontrados para las actividades del proceso definido en la etapa anterior.

A continuación se exponen los riesgos que serán sometidos a controles y planes de acción para que se cumplan los objetivos principales que justifican la aglomeración, mencionados anteriormente.



Formación de una costra al interior del tambor:

- Reduce el diámetro del tambor, y con ello, su capacidad
- Genera una sobre exigencia al sistema estructural y motriz
- Afecta la calidad del movimiento de rodadura al interior de la carga
- Requiere aseo permanente



El exceso de agua:

- Formación de barro
- Mala calidad del glómero
- Mala permeabilidad líquida
- Mala porosidad
- Canalizaciones en las pilas (Derrumbes)
- Problemas en el transporte (Atollos)



La falta de agua:

- Mala calidad del glómero
- Falta de humedad
- Segregación del material
- Destrucción del glómero. Mala resistencia mecánica
- Mala permeabilidad, porosidad, canalización

5.1.3. Planes de mitigación y control del proceso Aglomeración.

Para definir los planes de control relacionados con los riesgos mencionados en la etapa anterior, se reúnen los requisitos necesarios para lograr los estándares de calidad óptima que va a regir nuestro objetivo de gestión.

Para esto cabe hacer la pregunta ¿Qué queremos lograr ?.



- Buena calidad
- Humedad óptima**
- Buena resistencia mecánica
- Óptima permeabilidad líquida
- Óptima porosidad
- Óptima Recuperación

Dentro de los estándares que se pueden gestionar se considera la humedad óptima que es un parámetro relevante en el control y adición de agua para la formación del glómero. Esta variable puede ser determinada de manera experimental y operacional como se indica a continuación:

La humedad óptima de aglomeración está dada por:

$H_2O_{\text{Aglomerado}} = (H_2O_{\text{mineral}} + H_2O_{\text{agreg}} + H_2O_{\text{H}} + \text{agreg})$
donde,

H2O agreg.: Agua agregada tambor.

H2O H+agreg: Agua equivalente por ácido agregado tambor.

La humedad óptima es función, principalmente, de la distribución granulométrica del material alimentado, como lo muestra Figura 7 realizada por personal de la gerencia de Planta de Minera Quebrada Blanca.

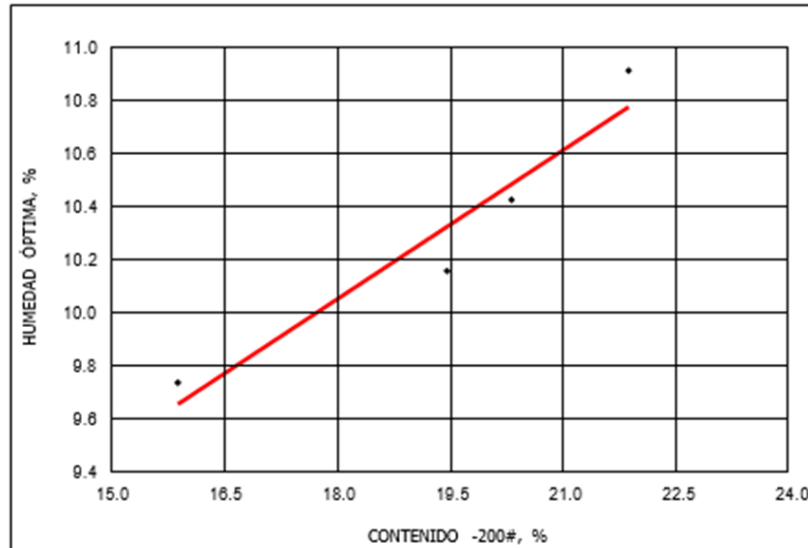


Figura 7: curva de humedad óptima a partir de ensayo de 4 muestras

Otro aspecto importante a tener en cuenta en los planes de mitigación y control del proceso de Aglomeración es considerar el concepto de que Cantidad vs Calidad se contraponen, una alta calidad del producto aglomerado implica un bajo flujo de carga alimentada al tambor y viceversa.

Existe una solución de compromiso, entre la cantidad de material a procesar y el rendimiento metalúrgico a obtener, que maximiza el retorno económico.

Para el control del proceso es necesario definir los parámetros relevantes para ser gestionados.

La Tabla 1 muestra los parámetros que se controlan operacionalmente.

Humedad del mineral	3,9 %
Humedad del mineral aglomerado	5,3 %
Dosificación de agua	20 L/t seca
Dosificación de ácido	5,5 kg/t secas
Pureza del H ₂ SO ₄	96%
Densidad del H ₂ SO ₄	1,84 g/cc
Temperatura de trabajo	77 ° C
Capacidad de diseño	525 t secas/h por tambor
Capacidad actual	562 t secas/h por tambor
Inclinación de los tambores	7°
Velocidad de giro	6 RPM
Tiempo de residencia	55 a 60 s (actualmente 30 s)
Dimensiones	3 diámetro x 9 largo

Tabla1: Tabla de control de parámetros operacionales del proceso aglomeración en la actualidad utilizados en la Mina Quebrada Blanca.

5.1.4. Ejecución del proceso Aglomeración.

Los procedimientos para llevar a cabo las actividades definidas en los procesos son revisados uno por uno estableciendo documentos claros, con fotos ilustrativas, riesgos asociados y protocolos “paso a paso” resaltando los que, de no cumplirse, pueden significar incidentes mayores.

Esta etapa es importante dado que los procedimientos, si se cumplen, asegura que se realiza la tarea con calidad y siguiendo el estándar planteado. Es cumplir con el principio de Aseguramiento de Calidad.

5.1.5. Verificación del proceso Aglomeración.

Se requiere inspección visual de la implementación de los controles declarados en la matriz de riesgos y se revisa el análisis de los riesgos asociados a la tarea. Puede suceder que en la verificación y firma de los permisos asociados con la tarea que se va a ejecutar se identifiquen nuevos riesgos asociados con el entorno, medioambientales o de negocio que no hayan sido considerados en la teoría por lo que se implementan. Esta revisión puede resultar obligatoria según el impacto que genera la información obtenida de la tarea. Para el caso del proceso Aglomeración deben verificarse las siguientes tareas y actividades:

- Control características material
- Control humedad aglomeración
- Continuidad operacional

- Diseño apropiado del equipo
- Flujo de carga
- Flujo de agua y ácido
- Ángulo de inclinación
- Velocidad de giro
- Calidad de alimentación y producto.
- Granulometría.
- Densidad aparente.
- Adecuado sistema de control
- Capacitación del personal

5.1.6. Aprendizaje del proceso Aglomeración.

Mediante la incorporación de los aprendizajes de los incidentes que nos van ocurriendo en la ejecución de las actividades del proceso de Aglomeración, el sistema se va perfeccionando para que los errores no se repitan en el tiempo. Hemos visto en los puntos anteriores que existen riesgos asociados que, muchos de ellos, se determinaron a partir de lo sucedido con la consecuente pérdida de valor.

Para asegurar que los incidentes no se repitan, las causas raíces provenientes de la investigación de incidentes deben incorporarse en la primera etapa de planificación como por ejemplo, actividades, riesgos y controles adicionales que no existían y fueron indicados como relevantes de implementarse según las conclusiones de investigación. Es una práctica común que cuando ocurren incidentes, se adicionan controles excesivos.

5.2. Aplicación del sistema de gestión en el Proceso de Riego.

Como el sistema de gestión se detalló anteriormente por etapas, se asume el entendimiento de la aplicación del sistema de gestión en el proceso y para el caso del proceso de riego, las etapas se indicarán de manera más general y resumida.

5.2.1. Mapa del proceso Riego.

El proceso de riego es la aplicación oportuna y uniforme de agua/solución a un lecho de lixiviación a objeto de producir la máxima recuperación de cobre. Para efectos de uso industrial en la lixiviación en pilas, los métodos más importantes son el riego por aspersión y goteo que se describen a continuación.



Sprinklers

Riego por Aspersión:

La superficie de la pila recibe la solución en forma de lluvia.

Sus principales desventajas es el aumento de la evaporación como la pérdida de calor.



Riego por Goteo:

Los sistemas aplican solución (≤ 16 l/h) por puntos individuales de emisión.

5.2.2. Riesgos del proceso Riego

A continuación se enumeran riesgos asociados al proceso riego identificados para que, a partir de ellos se pueda estudiar los planes de acción, controles y por ende la verificación en terreno de la implementación de los planes definidos. Entre los principales se encuentran:

- Deslizamiento tipo flujo cuando se combinan el incremento del grado de saturación con un aumento del nivel freático. (Figura 8).
- Descarga de soluciones contaminadas.
- Generación de drenaje ácido.
- Infiltración de soluciones ácidas con contenido metálico en las aguas subterráneas.
- Tasa de riego muy alta.
- Exceso de finos.
- Mala calidad del glómero.
- Exceso extracción de agua fresca en salar de Michincha
- Modificación de hábitat.
- Contaminación de napas subterráneas
- Contaminación de cursos superficiales.
- Reducción del acuífero de Michincha.



Figura 8: Deslizamiento tipo flujo causado por un incremento en el grado de saturación con aumento del nivel freático.

5.2.3. Control de riesgos en proceso riego.

En la etapa de apilamiento es muy importante generar una superficie horizontal y pareja. No obstante, ésta puede sufrir deformaciones durante la etapa de asentamiento y consolidación de la pila. Como consecuencia de lo anterior, una superficie irregular y desnivelada, induce una mala distribución de la solución durante el riego, así como también, la generación de apozamientos superficiales (Figura 9 y 10).



Figura 9: Superficie irregular generada durante la etapa de apilamiento.



Figura 10: Anegamientos provocados por exceso de riego, mala calidad del glómero y exceso de finos.

Si se logra una superficie pareja, todos los parámetros de control pueden alinearse de manera óptima y eficiente. Para lo anterior se consideran los siguientes parámetros de control.

Mineral cargado al día	25.000 Toneladas
Altura de la pila	8 Metros
Ley del mineral cargado	1,3 %
Recuperación cobre total/cobre soluble	70 /78 %
Ácido sulfúrico en el refino	5,5 g/l
Superficie módulo de riego	3.300 m ²
Flujo a pila	4.400 m ³ /h
Volumen solución rica PLS	33.000 m ³ (80%)
Volumen solución refino grande	33.000 m ³ (95%)
Volumen solución refino emergencia	18.000 m ³ (85%)

Tipo de lixiviación	Pila – Bacteriana
Tipo de Pila	Dinámicas
Nº de Avances	23
Tamaño de módulos	80 x 40 metros
Tipo de irrigación	Goteo
1º ciclo (tasa de riego/Nº días)/Presión de trabajo	0,20 l/min/m ² (menor a 100 días)/55psi
2º ciclo (tasa de riego/Nº días)/Presión de trabajo	0,15 l/min/m ² (mayor a 100 días)/45psi
3º ciclo (tasa de riego/Nº días)/Presión de trabajo	0,03 l/min/m ² (mayor a 250 días)/10psi
Tiempo de irrigación	500 días
Temperatura de riego	26° C

Tabla 2: Control de parámetros de riego en la operación actual de Quebrada Blanca.

6. PLAN DE IMPLEMENTACIÓN

En el siguiente plan de implementación se describen las actividades y las acciones concretas por realizar para que el sistema de gestión opere.

6.1. Revisión de procesos actuales en terreno.

Como primer paso para la revisión de actividades que componen el mapa de procesos actual debe constituirse el equipo de personas que llevará a cabo la implementación del sistema de gestión como se indica en las siguientes acciones.

- *Acción Designación de personal calificado que integrará el SGOP (sistema de gestión de optimización de procesos):*

La designación de personal que llevará a cabo la capacitación, seguimiento y evaluación del sistema de gestión, es importante en la primera fase de la puesta en marcha.

La propuesta considera que el equipo debe estar formado por el autor de este trabajo, el Gerente de Planta, Superintendentes y supervisores senior de los procesos aglomerado y riego, el encargado de seguridad de la planta y dos técnicos de operaciones designados para tal propósito.

En una primera reunión de alineamiento, se darán a conocer los objetivos y una detallada explicación de cada una de las etapas de planificación, ejecución, verificación y aprendizaje del sistema de gestión de manera de alinear los objetivos con la estrategia de implementación.

De acuerdo a las etapas del sistema de gestión, el equipo ejecutivo y el jefe de prevención de riesgos del área lixiviación estarán a cargo de asegurar la implementación en la etapa de planificación que considera revisión de diagrama de procesos, factores críticos de éxito y métricas claves para el control de lo planificado. Además, el jefe de prevención de riesgos de la Gerencia Plantas será el responsable en la definición de riesgos y acciones de mitigación

- *Acción Revisión de procesos actuales en terreno*

Una vez alineado el equipo SGOP para la implementación del sistema de gestión, se visita al personal de áreas involucradas en el proceso de Aglomeración y de Riego, para analizar en conjunto con el personal a cargo, paso a paso las actividades para construir el proceso con entradas, actividades y salidas. La revisión implica, no solamente un repaso por las actividades sino establecer una estructura de diseño para el detalle de los procesos.

Esta revisión debe ser liderada por el Gerente de Planta para asegurar que todas las actividades del proceso están alineadas con la estrategia operacional y constituyen una agregación de valor, por el contrario las actividades y tareas que

no agregan valor deben eliminarse del proceso.

A continuación se enumera el contenido de los temas a analizar en las visitas a terreno.

- Diagrama de proceso: El Gerente de planta y los supervisores a cargo de los procesos definen las actividades a realizar eliminando las ya existentes que no agregan valor e incorporando u optimizando las que realmente son claves para el proceso. También analizan los incidentes ocurridos para constatar si es necesario agregar o corregir alguna actividad propuesta en los planes de mitigación de incidentes que eviten que las pérdidas vuelvan a ocurrir. De esta manera se incorpora el aprendizaje de los incidentes a la planificación.
- Factores Críticos de éxito: Junto con el análisis de las actividades que agregan valor, el personal ejecutivo a cargo determina los factores críticos de éxito que aseguran que esas actividades se cumplan, por ejemplo: recursos asignados y planificación aprobada.
- Métricas Claves del proceso: Los factores críticos de éxito definidos deben ser cuantificables y medibles con métricas que permitan llevar un control diario, semanal y mensual enfocado a asegurar el cumplimiento de lo planificado para el óptimo funcionamiento del proceso. Éstas métricas también deben ser definidas por el equipo ejecutivo y deben estar relacionadas con cada uno de los factores críticos de éxito.

Una vez terminado los pasos anteriores mediante las acciones mencionadas, el jefe de prevención de riesgos lidera la definición de los peligros y riesgos asociados a cada una de las actividades que componen el diagrama de procesos y los cuantifica con una matriz de riesgos. El paso siguiente es definir las acciones de mitigación que van a eliminar, sustituir o administrar los riesgos de manera de controlar la probabilidad que ocurran.

La estructura de diseño del mapa de proceso lo muestra la figura 1.

Se estima que éstas acciones en conjunto se llevan a cabo durante cuatro semanas y apuntan al cumplimiento del objetivo específico de “construir procesos robustos que abarquen todas las actividades que se requiera gestionar”.

- *Acción Recolección de información actual e histórica sobre parámetros y puntos de control*

Los superintendentes del área y supervisores seniors se encargan de recolectar toda la información actual e histórica de los procesos aglomerado y riego para poder comparar el antes y después de la gestión.

La información histórica de los parámetros a recolectar son los enumerados en el capítulo 5 Tabla 1 para el proceso aglomeración y Tabla 2 para el proceso Riego, como una forma de medir en el futuro si realmente el sistema de gestión opera y agrega valor cuantificable

en un ahorro del consumo de agua.

Esta actividad se desarrolla durante los seis meses ya que permite evaluar durante periodos semanales, mensuales, trimestrales la posibilidad de optimizar los procesos y apunta a lograr el objetivo específico de “recolectar los datos necesarios para la implementación del sistema de gestión”.

6.2. Capacitación de personal.

A medida que se realiza la actualización de los procesos, el personal se capacita para adquirir los conocimientos y poder traspasarlos de manera que se transforme en una metodología sistemática.

Esta importante actividad implica la acción concreta denominada “capacitación en cascada” creada por el autor de este proyecto en la puesta en marcha un sistema de gestión en la Compañía Minera Doña Inès de Collahuasi y consiste en la siguiente metodología:

- 1) Se reúne primero el equipo *SGOP* (*sistema de gestión de optimización de procesos*) donde se acuerda la metodología de difusión y capacitación del personal que estará involucrado en la operatividad de los procesos. De esta manera se alinea el mensaje para que todo el personal reciba la misma información y las respuestas a las preguntas sean consistentes con el mensaje.
- 2) El equipo *SGOP* se divide en dos grupos con dos supervisores a los cuales se capacita en la ejecución del sistema de gestión con foco en el objetivo del ciclo de gestión que opera.
- 3) Los supervisores capacitados en el punto anterior, a su vez se dividen para capacitar otros grupos de supervisores u operarios. Así sucesivamente se van creando grupos que se van dividiendo en otros hasta completar la totalidad de personas en todos los turnos.

Esta actividad es permanente debido a la alta rotación que existe en faenas mineras en condiciones extremas de altura y clima adverso.

La capacitación en cascada ayuda, además a entregar mensajes alineados y está relacionada con el objetivo específico de “crear conciencia y una cultura de trabajo eficiente entre las personas involucradas en los procesos de Aglomeración y Riego”.

Otra ventaja de la capacitación en cascada es que no necesita sacar de la operación a los trabajadores y reunirlos multitudinariamente en una sala lo que constituye un método poco efectivo de capacitación, sino que se conversa en terreno de a pocas personas, considerando los temas propios de la actividad que se está visitando y la interacción cercana permite escuchar también la opinión constructiva de las personas con experiencia en la actividad. Asegura y verifica, además, la comprensión del mensaje y propósito que se quiere capacitar.

Su duración es desde que comienza hasta que finalice la implementación con feedbacks semanales y mensuales.

6.3. Identificación de riesgos, controles y planes de acción

La identificación de riesgos es un proceso relevante dentro del sistema de gestión en el cual se identifica el riesgo, su evaluación y plan de acción para controlarlo. Es una actividad donde el personal está bastante familiarizado ya que todos los días evalúa el entorno donde trabaja.

Esta acción está liderada por el jefe de seguridad de la Gerencia de Planta quien, en una primera etapa relaciona los riesgos que tienen las actividades que componen los procesos. La secuencia lógica de evaluación para ambos procesos se describe a través de un ejemplo para cada proceso de la siguiente manera:

Proceso: Riego → Actividad: Riego en superficie de pila → Peligro: Incremento grado de saturación con aumento de nivel freático. → Riesgo: Deslizamiento tipo flujo → Plan de acción: Control periódico a través de rondas observando la geometría de las pilas con fotos para dimensionar cambios y medición de saturación de agua para tener controlados su nivel máximo de saturación.

Proceso: Aglomerado. → Actividad: Adición de agua al tambor de aglomeración. → Peligro: Exceso de agua. → Riesgos: Mala calidad del glómero, formación de barro, mala porosidad. Plan de acción: Control de parámetro operacional que regula la adición de agua mediante una alarma sonora que se activo con el máximo de adición permitido.

El jefe de seguridad capacita “en cascada” a personal sobre la secuencia lógica de identificar riesgos y planes de acción descrita anteriormente para cada uno de los riesgos identificados en el punto punto 5.1.2 para el proceso Riego y 5.2.2. para el proceso Aglomerado.

Esta actividad comienza una vez finalizado el diagrama de proceso y la definición de actividades. Su duración es de dos semanas y está directamente relacionada con el objetivo específico de “Identificar los riesgos y controles de las actividades de los procesos de Aglomeración y Riego”.

6.4. Implementación de planes de acción en los parámetros claves y verificación.

La implementación de los planes de acción definidos en el punto anterior es liderada por el jefe de seguridad y los supervisores a cargo de la actividad que se requiere controlar y que fueron capacitados previamente para tal efecto.

La acción concreta es la de llevar a cabo inspecciones diarias en terreno con foco directo en verificar la implementación del plan de acción que minimice los riesgos de la actividad y asegure la efectividad de los controles.

Antes de la inspección el personal a cargo debe informarse del procedimiento de la actividad, riesgos asociados a las personas, medioambiente, equipos y negocio consultando el formato como lo muestra la figura 13 para poder aportar positivamente a identificar y hacer notar cuando no se está realizando la actividad de acuerdo al procedimiento y no se ha implementado el plan de acción o no se está realizando la gestión correcta para obtener el resultado óptimo. En este caso, se debe detener la actividad hasta que todos los planes estén debidamente implementados.

Lo anterior es una instancia para mejorar continuamente el proceso y crear conciencia en el personal ejecutante sobre la importancia de hacer la actividad de manera adecuada en términos de agregación de valor.

Esta es una actividad que requiere también de visitas periódicas, tiene una duración de cuatro semanas y está relacionada con el objetivo específico de “Implementar un sistema de gestión sistemático que controle y optimice los procesos de Aglomeración y Riego”.



Figura 11: Formato para incorporar planes de acción en la matriz de riesgos utilizado en Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi.

6.5. Aprendizaje de pérdidas.

El aprendizaje de los hallazgos que se encuentren durante el desarrollo del proyecto deben incorporarse en el proceso como una actividad que antes no estaba y como producto del incidente se genera una nueva actividad para ser controlada. Este procedimiento asegura que cada vez que ocurran desviaciones se implementen ciertos controles pero no son efectivos por cuanto no se tienen en cuenta desde la planificación.

Esta actividad es muy importante por cuanto cierra el ciclo en el sistema de gestión que comienza con la planificación como lo muestra la figura 4 del capítulo 3 y debe realizarse cada vez que ocurra un incidente de cualquier índole y gravedad.

Como acción concreta, el equipo formado para la implementación del SGOP (sistema de gestión de optimización de procesos) será el encargado de reunir todos los antecedentes de incidentes históricos y actuales como primera medida.

Tanto de los incidentes como de los hallazgos en las inspecciones de verificación, se rescatan las causas básicas enumeradas en los informes de investigación y se revisa nuevamente el diagrama de proceso para incorporar, si se requiere, una nueva actividad que capture el aprendizaje de los incidentes recopilados. De esta manera se asegura que la planificación incorpore y actualice su matriz de riesgo. Este es un proceso continuo en la implementación del sistema de gestión que el equipo revisa y actualiza en el período que se requiera.

Es común que cuando ocurre un incidente las medidas se enfoquen a cambiar procedimientos en la etapa de ejecución sin pasar por la etapa de planificación que es donde realmente se evita la repetición de las pérdidas.

El aprendizaje y su incorporación desde la planificación es un proceso continuo que los equipos deben asimilar como cultura de trabajo.

Esta actividad está directamente relacionada con el objetivo específico de “crear conciencia y una cultura de trabajo eficiente entre las personas involucradas en los procesos de Aglomeración y Riego”.

6.6. Análisis estadístico de registros.

Los datos que se registran diariamente son recolectados por los supervisores de área quienes actualizan gráficos de los parámetros de control mencionados en el capítulo 5 para los procesos de aglomeración y riego. La estadística es una parte importante para la interpretación de datos históricos, actuales y futuros. Mediante los gráficos se obtienen curvas de desempeño óptimo y valores de indicadores claves para ser monitoreados y asegurar la calidad del trabajo y optimización del proceso.

Los gráficos permiten visualizar valores que se escapan de los rangos normales de variabilidad y cuando constituyen sesgos permiten tomar acción rápidamente para revertir el comportamiento no deseado y estabilizar la operación hacia una operación eficiente y optimizada.

Lo anterior representa una acción concreta diaria de monitoreo que el supervisor del área reporta hacia arriba en niveles de responsabilidad.

La aplicación del sistema de gestión implica el análisis e interpretación de los datos y gráficos diariamente. Si bien puede parecer una metodología reactiva por cuanto cuando se conocen los números ya ocurrió el proceso, permite llevar una estadística semanal para predecir las próximas semanas y cumplir con lo planificado mensual. Por otra parte, la estadística no constituye un método de control por sí misma ya que advierte sobre tendencias perjudiciales para los procesos. Por lo anterior es necesario contar con supervisores comprometidos que paren los procesos y alerten a la supervisión sobre las desviaciones observadas al momento en que ocurren.

Una inversión en personal de control turno día y noche que asegure la observación del comportamiento de las variables claves que impactan el consumo de agua constituye una muy buena medida concreta para que el ciclo del sistema de gestión opere de manera

práctica y efectiva.

A continuación se exponen ejemplos de gráficos de control para el monitoreo de parámetros claves en el proceso de aglomeración.

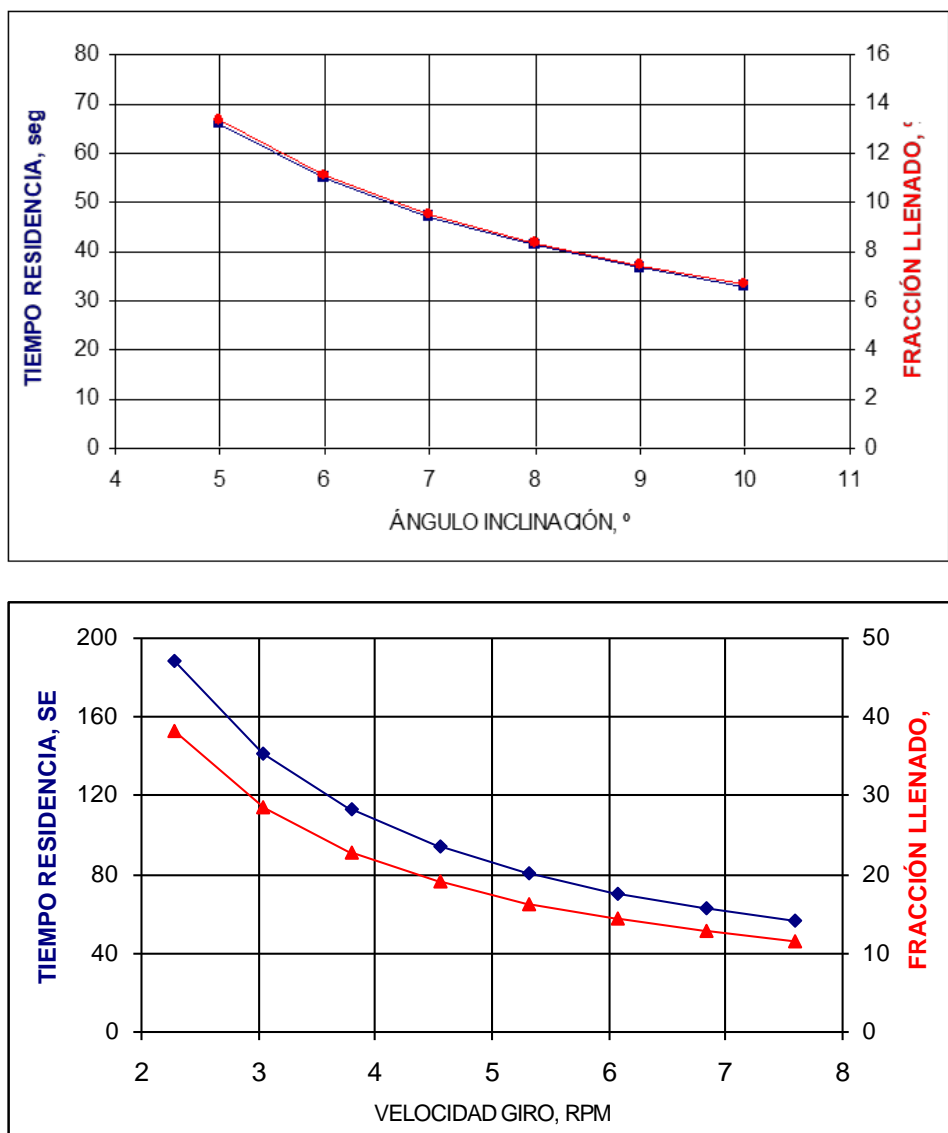


Figura 12: Gráficos de valores para monitorear el diseño del sistema de Aglomeración elaborados por Gerencia de Plantas Minera Quebrada Blanca.

6.7. Gestión de personas.

Para la gestión del cambio se proponen dos acciones desde el punto de vista práctico y conceptual que tienen que ver con el cambio cultural en general y gestión de personas en lo particular.

La primera acción tiene que ver con una revisión interna de las tareas paso a paso que realiza el trabajador en su puesto habitual, que implica la revisión de reportabilidad, reuniones cotidianas y acción personal de innovación y mejoramiento continuo.

La revisión tiene el enfoque particular de continuar con las actividades que, según la evaluación, agregan valor al proceso y las que se determina que no aportan a la eficiencia y eficacia del resultado, tienen que dejar de hacerse o reemplazarse por otra de real aporte a cumplir con los objetivos y la estrategia propuesta.

A continuación se enumeran los principales temas para concientizar el cambio de cultura.

- *Revisión de reportabilidad.*

Uno de los primeros hallazgos en temas de reportabilidad es notar que no se leen, son extensos, muy técnicos, llenos de tablas que invitan a interpretarse de manera personal y no se obtiene retroalimentación del receptor a quien está dirigido. El área o actividad siguiente del proceso no usa el reporte como un indicador de gestión y por consiguiente es una pérdida de tiempo. En ese sentido la agregación de valor consiste en acordar con el área usuaria un reporte simple que apunte directamente a entregar lo que el “cliente” necesita para hacer una gestión eficiente.

En este paso el trabajador siente que su trabajo es valorado y optimiza su propio tiempo en la gestión de su propio proceso.

- *Revisión de reuniones.*

Otro hallazgo en conversación con los trabajadores es la asistencia a reuniones cotidianas que no necesitan de su presencia o simplemente no son resolutivas. En este caso debe hacerse un análisis de reducir el tiempo o no asistir a reuniones de costumbre que significan una pérdida de tiempo.

- *Innovación y mejoramiento continuo.*

En la revisión exhaustiva paso a paso de las tareas que se realizan cabe la pregunta sobre si la acción que se ejecuta, realmente aporta valor a mi gestión, a optimizar el proceso, al cliente interno y a la estrategia de negocio? Es una pregunta que invita al planteamiento legítimo de mejorar continuamente. Esta acción implica un cambio cultural de cuestionarse y ser cuestionado.

Para incentivar la innovación, la responsabilidad es del nivel ejecutivo de crear espacios para que los trabajadores sientan la posibilidad de aportar creativamente a mejorar el proceso, para lo cual hay diferentes herramientas. Una de ellas es la de implementar una plataforma de comunicación donde el trabajador presente un proyecto de innovación que será evaluado y premiado por el nivel ejecutivo de la empresa.

Finalmente, las acciones antes descritas, constituyen un cambio en la forma de hacer un trabajo directamente relacionado con la manera de proceder facilitando la comunicación efectiva en partes de un mismo proceso donde cada trabajador se hace parte en la optimización de su propia gestión y se siente empoderado de cambiar lo que históricamente se hace por inercia del puesto de trabajo y del sistema que opera.

El ejercicio de las acciones propuestas genera un ambiente de valoración y buen clima laboral donde se espera un buen resultado en la aceptación del cambio de metodología y un incremento en la productividad en términos de optimización de tiempo, costo y producción. Este aumento de productividad está directamente relacionado con el objetivo

principal de la empresa de maximizar el valor de la misma no solo en términos físicos y financieros, sino a través de la sustentabilidad como compromiso real con la mano de obra propia y comunidades cercanas.

Si se considera a las personas como capital humano clave para la mejora de productividad, la gestión de personas estimula las competencias mediante el entrenamiento y la capacitación permanente como estrategia de mejoramiento continuo que se suma al enfoque tradicional basado en la rentabilidad del negocio. De esta manera se espera aumentar la utilidad de la empresa.

La participación en la implementación del sistema de gestión es una oportunidad para poner en práctica las acciones propuestas en el presente capítulo y está relacionada con los objetivos específicos de “crear conciencia y una cultura de trabajo eficiente entre las personas involucradas en los procesos de Aglomeración y Riego” y “aumento de productividad centrado en las personas”.

Si se hace referencia a la fórmula de Maximizar el valor ampliado de una empresa minera que propone Enrique Jofré Rojas, en su presentación de diciembre 2014 página 56, se obtiene:

$$\text{Máx. } \pi_{Cu} = P_{Cu} * Q_{Cu} - (w * L + P_{Mp} * X_{Mp} + P_{Sum} * X_{Sum} + P_{Serv} * X_{Serv} + P_{Soc} * X_{Soc} + r * K)$$

Donde

(w*L) Incrementa Productividad de las Personas:

- *Aumento de la Productividad (Disminución de ausentismo, capacitación, incentivos, beneficios por desempeño, automatización)*
- *Ambiente laboral grato*
- *Relaciones armónicas de ganar-ganar.*
- *Políticas de captación y retención de personas competentes, comprometidas y motivadas.*

Donde además,

(P_{Sum}*X_{Sum}) Incrementa la productividad de Suministros

- *Mejora en la eficiencia de las operaciones.*
- *Mejora en la gestión de suministros: Inventarios, almacenamiento, tiempos de suministro (Lead Time), calidad y transporte*
- *Mejora en la eficiencia de las operaciones.*

Por lo tanto se concluye que un los aumentos en productividad de las personas y de suministros maximiza el valor de la empresa.

7. CARTA GANTT DEL PROYECTO

El plan de implementación tiene una duración de seis meses. Como es un ciclo que se retroalimenta de aprendizajes puede repetirse cuantas veces sea necesario.

A continuación se presenta la carta Gantt con la distribución de actividades y duración de cada una ellas acorde a como fueron mencionadas y detalladas en el presente estudio.

ACTIVIDAD	ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO			
	Sem.1	Sem.2	Sem.3	Sem.4	Sem.1	Sem.2	Sem.3	Sem.4	Sem.1	Sem.2	Sem.3	Sem.4	Sem.1	Sem.2	Sem.3	Sem.4	Sem.1	Sem.2	Sem.3	Sem.4	Sem.1	Sem.2	Sem.3	Sem.4	Sem.1	Sem.2	Sem.3	Sem.4
Revisión de procesos actuales																												
Revisión de procesos	■	■																										
Diagrama de proceso		■	■	■																								
Factores críticos de éxito			■	■																								
Métricas claves del proceso			■	■																								
Recolección de información actual e histórica		■	■	■																								
Capacitación de personal																												
Reunión equipo SGOP				■																								
Capacitación en cascada				■	■	■	■																					
Evaluación del método				■	■	■	■																					
Identificación de riesgos, controles y planes de acción																												
Evaluación de riesgos de cada actividad proceso Aglomerado				■	■	■	■																					
Definición plan de acción de cada riesgo proceso Aglomerado				■	■	■	■																					
Evaluación de riesgos de cada actividad proceso Riego				■	■	■	■																					
Definición plan de acción de cada riesgo proceso Riego				■	■	■	■																					
Capacitación en cascada difusión matriz de riesgos				■	■	■	■																					
Implementación de planes de acción en los parámetros claves y verificación																												
Inspecciones diarias de verificación												■	■	■	■													
Análisis de hallazgos												■	■	■	■													
Aprendizaje de pérdidas																												
Análisis de aplicación de incidentes históricos												■	■	■	■													
Incorporación de incidentes a Diagrama de proceso y matriz de riesgo												■	■	■	■													
Incorporación de nuevos planes de acción																												
Difusión de cambios en diagrama de proceso y matriz de riesgos																												
Análisis estadístico de registros																												
Actualización base de datos de parámetros claves												■	■	■	■													
Interpretación de registros												■	■	■	■													
Modificación de actividades con pérdidas en los procesos												■	■	■	■													
Gestión del cambio																												
Gestión de personas																												
Evaluación cambio cultural																												

Figura 13: Carta Gantt propuesta para las actividades a desarrollar en la implementación del sistema de gestión.

8. EVALUACIÓN ECONÓMICA.

Para evaluar económicamente la implementación del sistema de gestión en los dos procesos estudiados se analiza el costo estimado en Horas Trabajadas del personal seleccionado para tal efecto y por otro lado un ejercicio de cálculo de beneficios en función de los datos de consumo de agua fresca para los años 2016 y 2017.

8.1. Evaluación económica del sistema de gestión en base a RRHH.

El costo de operar el sistema se basa prácticamente en HH de gerente, superintendente, supervisores y jefe de seguridad y salud ocupacional y operarios.

El cálculo está basado bajo el supuesto que se tiene que contratar al personal mencionado o su equivalente en asignar las HH de personal ya contratado a un Centro de Costo elaborado y aprobado fuera del presupuesto anual de gastos de capital (CAPEX) como proyecto de optimización.

Las actividades analizadas son las enumeradas en la carta Gantt del proyecto en el capítulo anterior y el personal involucrado se menciona en el capítulo 6 con la designación de un equipo formado con personal calificado que integrará el SGOP (sistema de gestión de optimización de procesos). A continuación se enumeran las actividades y el personal involucrado.

- Revisión de procesos actuales: Gerente de Planta, Superintendente y supervisores senior de los procesos aglomerado & riego, el encargado de seguridad de la planta y dos técnicos de operaciones designados para tal propósito.
- Capacitación de personal: Gerente de Planta, Superintendente y supervisores senior de los procesos aglomerado & riego, el jefe de Seguridad de la planta y dos técnicos de operaciones designados para tal propósito.
- Identificación de riesgos, controles y planes de acción: Gerente de Planta, Superintendente y jefe de seguridad y salud ocupacional.
- Implementación de planes de acción en los parámetros claves y verificación: Jefe de Seguridad y Salud ocupacional y los supervisores a cargo de la actividad.
- Aprendizaje de pérdidas: Gerente de Planta, Superintendente y supervisores senior de los procesos aglomerado & riego, el Jefe de Seguridad de la planta y dos técnicos de operaciones designados para tal propósito.
- Análisis estadístico de registros: Superintendente, supervisores senior de los procesos aglomerado & riego turno día y noche.
- Gestión de personas: Gerente de Planta, Superintendente y supervisores senior de los procesos aglomerado & riego, el encargado de seguridad de la planta y dos técnicos de operaciones designados para tal propósito.

El cálculo de remuneraciones está basado en cifras y cargos referenciales que incluye además, todos los gastos administrativos en un año. En la siguiente tabla se deduce que el personal a cargo de la implementación tendría un costo aproximado de 1 millón de dólares al cabo de 1 año.

	USD	Costo/mes c\$	T.Cambio
1 Gerente	23.464	15.556.816	663
1 Superintendente	15.614	10.351.905	
Jefe Seguridad&Salud	12.846	8.517.012	
2 Supervisor	18.198	12.065.191	
4 Asistente Técnico	14.731	9.766.583	
	84.853	56.257.508	
12 meses	1.018.235	675.090.099	

Tabla 3: Detalle de costo aproximado de contratar a personal especializado durante un año

8.2. Evaluación económica basado en diferencias en consumo de agua.

Para evaluar los beneficios y compararlos con los costos calculados en el punto anterior, se recopilaron los registros de consumo de agua para los procesos de aglomerado y riego durante los años 2016 y 2017. Esta diferencia significó un ahorro muy importante, cercano a los 42 millones de dólares por reducir en un 5% el consumo de agua de un año a otro, como lo muestra la tabla 4.

		2016	2017	Var.
Consumo de Agua	m3	1.186.523	1.129.218	-57.305
Consumos				
Aglomerado	m3	148.315	141.152	-7.163
Lixiviación	m3	237.305	225.844	-11.461
Dump Leach	m3	800.903	762.222	-38.681
	m3	1.186.523	1.129.218	-57.305 -5%
Aglomerado	MUS\$	109	103	-5
Lixiviación	MUS\$	174	165	-8
Dump Leach	MUS\$	587	558	-28
	MUS\$	869	827	-42 -5%
	cUS\$/m3	73,26	73,26	

costo de produccion 1 m3 agua 2016 es igual a 2017

Tabla 4: Beneficio de ahorro consumo de agua entre los años 2016 y 2017.

Los datos de la tabla 4 fueron proporcionados por la Gerencia de Planta y calculados por el autor de este trabajo y constituyen cifras referenciales por cuanto el ahorro en el consumo de agua desde el año 2016 hasta el año 2017 se debe principalmente al retiro de circulación de un área de lixiviación en la planta y no por la aplicación del sistema de gestión cuya implementación está en proceso de evaluación.

No obstante la aclaración anterior, las cifras obtenidas dan cuenta del beneficio de optimizar y reducir el consumo de agua, no solo en términos económicos sino también en optimización y productividad, por lo que la implementación del sistema de gestión es altamente beneficioso para Quebrada blanca.

El beneficio económico de reducir el consumo de agua se ve reflejado directamente en la reducción del costo de producción (C1) y contribuye a disminuir los costos totales, lo que hace la operación más rentable al obtener mayor margen de ganancias.

9. CONCLUSIÓN

El sistema de gestión de riesgos, si bien requiere de una implementación teórica y práctica es simple y de rápida aplicación y comprensión. Comienza con la designación de personal que llevará a cabo la capacitación, seguimiento y evaluación del sistema de gestión. El contenido de los temas que revisa el equipo designado en primera instancia, tiene relación con diagramas de proceso, que elimina las actividades que no agregan valor e incorpora las que realmente son claves para el proceso; factores críticos de éxito, que aseguran que esas actividades se cumplan mediante recursos asignados y planificación aprobada y las métricas claves del proceso definidos para ser cuantificables y medibles que permitan llevar un control diario, semanal y mensual enfocado a asegurar el cumplimiento de lo planificado para el óptimo funcionamiento del proceso.

La Recolección de información sobre parámetros y puntos de control se realiza, de la misma manera, para poder comparar el antes y después de la gestión. Los superintendentes del área y supervisores seniors se encargan de recolectar toda la información actual e histórica de los procesos aglomerado y riego para poder comparar el antes y después de la gestión, como una forma de medir en el futuro si realmente el sistema de gestión opera y agrega valor cuantificable en un ahorro del consumo de agua.

La identificación de riesgos es una actividad relevante dentro del sistema de gestión en el cual se identifica el riesgo, su evaluación y plan de acción para controlarlo. Esta acción está liderada por el jefe de seguridad de la Gerencia de Planta quien, en una primera etapa relaciona los riesgos que tienen las actividades que componen los procesos. A su vez, lidera la definición de los peligros y riesgos asociados a cada una de las actividades que componen el diagrama de procesos y los cuantifica con una matriz de riesgos. El paso siguiente es definir las acciones de mitigación que van a eliminar, sustituir o administrar los riesgos de manera de controlar la probabilidad que ocurran. Esta actividad comienza una vez finalizado el diagrama de proceso y está directamente relacionada con el objetivo específico de “Identificar los riesgos y controles de las actividades de los procesos de Aglomeración y Riego”.

Se estima que las acciones anteriores en conjunto se llevan a cabo durante cuatro semanas y apuntan al cumplimiento del objetivo específico de “construir procesos robustos que abarquen todas las actividades que se requiera gestionar”.

Para la capacitación de personal se propone una metodología denominada “capacitación en cascada” creada por el autor de este proyecto en la puesta en marcha un sistema de gestión y descrita en detalle en el desarrollo de este trabajo, permite entregar mensajes alineados y está relacionada con el objetivo específico de “crear conciencia y una cultura de trabajo eficiente entre las personas involucradas en los procesos de Aglomeración y Riego”. Otra ventaja de esta metodología es que se capacita en terreno de a pocas personas, considerando los temas propios de la actividad que se está visitando y la interacción cercana permite escuchar también la opinión constructiva de las personas con experiencia en la actividad.

La implementación de los planes de acción definidos en el punto anterior es liderada por el jefe de seguridad y los supervisores a cargo de la actividad que se requiere controlar y que

fueron capacitados previamente para tal efecto. La acción concreta es la de llevar a cabo inspecciones diarias en terreno con foco directo en verificar la implementación del plan de acción que minimice los riesgos de la actividad y asegure la efectividad de los controles. También constituye una instancia para mejorar continuamente el proceso y crear conciencia en el personal ejecutante sobre la importancia de hacer la actividad de manera adecuada en términos de agregación de valor. Esta es una actividad está relacionada con el objetivo específico de “Implementar un sistema de gestión sistemático que controle y optimice los procesos de Aglomeración y Riego”.

En el proceso de Aglomeración, se identifica que la gestión se debe enfocar en los parámetros que inciden en la correcta formación del glómero. Con esto se logra una mayor permeabilidad y distribución homogénea de la solución lixiviante en el lecho de la pila junto con proporcionar una estructura física de la pila estable para aumentar la cinética de extracción del cobre. La humedad óptima es un parámetro relevante en el control y adición de agua para la formación del glómero y puede ser determinada experimental y operacionalmente.

En el proceso de apilamiento, una rápida revisión del proceso, riesgos y controles nos lleva a concluir que los parámetros operacionales, proporcionan una alarma reactiva respecto de prevenir incidentes que produzcan pérdidas de agua dulce. Es, más bien en la etapa de preparación donde se debe trabajar en dejar una superficie horizontal y pareja en la pila de lixiviación. Por el contrario, una superficie irregular y desnivelada, induce una mala distribución de la solución durante el riego, así como también, la generación de apozamientos superficiales. Como consecuencia de lo anterior, si se logra una superficie pareja, todos los parámetros de control pueden alinearse de manera óptima y eficiente.

El aprendizaje de los hallazgos que se encuentren durante el desarrollo del proyecto deben incorporarse en el proceso como una actividad que antes no estaba y como producto del incidente se genera un nueva actividad para ser controlada. Este procedimiento asegura que cada vez que ocurran desviaciones se implementen ciertos controles pero no son efectivos por cuanto no se tienen en cuenta desde la planificación.

El aprendizaje y su incorporación desde la planificación es un proceso continuo que los equipos deben asimilar como cultura de trabajo. Esta actividad está directamente relacionada con el objetivo específico de “crear conciencia y una cultura de trabajo eficiente entre las personas involucradas en los procesos de Aglomeración y Riego”.

La estadística es una parte importante para la interpretación de datos históricos, actuales y futuros. Mediante los gráficos se obtienen curvas de desempeño óptimo y valores de indicadores claves para ser monitoreados y asegurar la calidad del trabajo y optimización del proceso.

Los gráficos permiten visualizar valores que se escapan de los rangos normales de variabilidad y cuando constituyen sesgos permiten tomar acción rápidamente para revertir el comportamiento no deseado y estabilizar la operación hacia una operación eficiente y optimizada.

Lo anterior representa una acción concreta diaria de monitoreo que el supervisor del área reporta hacia arriba en niveles de responsabilidad.

La aplicación del sistema de gestión implica el análisis e interpretación de los datos y gráficos

diariamente. Es necesario contar con supervisores comprometidos que detengan los procesos y alerten a la supervisión sobre las desviaciones observadas al momento en que ocurren.

Una inversión en personal de control turno día y noche que asegure la observación del comportamiento de las variables claves que impactan el consumo de agua constituye una muy buena medida concreta para que el ciclo del sistema de gestión opere de manera práctica y efectiva.

El sistema de gestión implica una dedicación importante a la gestión de personas. La primera acción tiene que ver con una revisión interna de las tareas paso a paso que realiza el trabajador en su puesto habitual, que implica la revisión de reportabilidad, reuniones cotidianas y acción personal de innovación y mejoramiento continuo. La gestión de personas estimula las competencias mediante el entrenamiento y la capacitación permanente como estrategia de mejoramiento continuo. De esta manera se espera aumentar la utilidad de la empresa.

En ese sentido la agregación de valor consiste en acordar con el área usuaria un reporte simple que apunte directamente a entregar lo que el “cliente” necesita para hacer una gestión eficiente. En este paso el trabajador siente que su trabajo es valorado y optimiza su propio tiempo en la gestión de su propio proceso.

Haciendo referencia a los cuatro pilares que sustentan el sistema de gestión para optimizar el consumo de agua, la planificación garantiza el desarrollo de procesos con las actividades que realmente agregan valor e impactan en los procesos anteriores y posteriores en la cadena de valor, además protege a las personas, activos y medioambiente con la matriz de riesgos como herramienta para el seguimiento y control. En la ejecución y verificación se asegura que las actividades a desarrollar tienen todos los controles aplicados definidos en la etapa anterior y detiene labores sin controles evitando las pérdidas por incidentes. El aprendizaje como pilar de conexión con la planificación que cierra e impulsa el ciclo de gestión, refuerza el aprendizaje continuo, se identifican brechas de mejora, se realizan acciones de optimización y mejoramiento continuo o innovación incremental en la operación.

Finalmente, para desarrollar un sistema de gestión sobre el consumo del agua en los procesos internos de Quebrada Blanca, que permita optimizar su uso garantizando la sustentabilidad del negocio en toda la cadena de valor, es necesario evaluar, además de la efectividad de la metodología empleada, los costos y beneficios que la implementación conlleva.

La evaluación económica del proyecto, expresada en cifras referenciales según datos obtenidos entre los años 2016 y 2017, da cuenta de que un ahorro de un 5 % anual en consumo de agua produce un ahorro monetario de 42 millones de dólares a un costo de realización del proyecto, principalmente en remuneraciones de personal dedicado exclusivamente a la implementación del sistema de gestión, cercano al millón de dólares.

Este ahorro significativo se ve reflejado directamente en la reducción del costo de producción (C1) y contribuye a disminuir los costos totales, lo que hace la operación más rentable al obtener mayor margen de ganancias.

La implementación del sistema de gestión no solo daría beneficios económicos sino también al medioambiente y comunidades al optimizar el consumo de agua fresca lo que aporta significativamente a la sustentabilidad del negocio minero respecto al futuro de la mina Quebrada Blanca.

10. BIBLIOGRAFÍA

AA. VV. (2005). Gestionando conflictos por el agua y cooperación. Barcelona. Icaria. Centro de Investigación para la Paz.

Izquierdo Brichs, F. (1995). El agua en la cuenca del río Jordán: la lucha por un recurso escaso. PAPERS, 46, Universidad Autónoma de Barcelona.

Fontana Lázaro, J. (2011). Los usos de la Historia: una reflexión sobre el agua. Vínculos de Historia, 1, pp. 115-25.

Rico, M. (2010). Agua en Oriente Medio: la necesidad de cooperación. Anuario IEMed de Mediterraneo. Barcelona. Icaria. pp. 204-8.

Hoekstra, D. (2016). Strategies for sustainable water management for mining, American Institute of Chemical Engineers.

<https://www.cochilco.cl/Paginas/Inicio.aspx>.

<http://www.cochilco.cl:4040/boletin-web/>

Varela, N. (2008) Descripción del proceso. Presentación no publicada, Compañía Minera Quebrada Blanca S.A

Unidad de Medio Ambiente de Compañía Minera Quebrada Blanca S.A, 2003. Informe de Plan de Monitoreo Ambiental.

Jofré Rojas, E. (2014). Productividad en la Minería. Presentación no publicada.