



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

OPTIMIZACIÓN SISTEMA AIREACION PILAS SULFUROS CON SAL
PARA AUMENTAR RECUPERACIÓN DE COBRE

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

CRISTIAN ANDRÉS CONCHA BRANTE

PROFESOR GUÍA:
LUIS ZAVIEZO SCHWARTZMAN

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
LORETO BURGOS RODRIGUEZ
GERARDO DÍAZ RODENAS

SANTIAGO DE CHILE
2019

RESUMEN

RESUMEN DE LA TESIS PARA
OPTAR AL GRADO DE: Magister en
Gestión y Dirección de empresas
POR: Cristian Andrés Concha Brante
FECHA: Julio 2019
PROFESOR GUÍA: Luis Zaviezo S.

La industria minera del cobre atraviesa el constante desafío de continuar siendo competitiva, en un contexto de disminución paulatina de las leyes del mineral y variabilidad de sus precios, por lo que se ha enfocado en mejorar productividad y reducir costos. Esto sin duda representa también un desafío para Minera Spence, buscando estrategias que desafíen variables que anteriormente parecían sin importancia, pero donde hoy se han evidenciado atractivos beneficios.

Es por ello que este trabajo busca proponer a la Compañía una tecnología que permita mejorar el actual proceso de aireación en pilas sulfuro con sal, que genere un beneficio económico a la organización, pero incorporando para alcanzar este logro, las habilidades directivas necesarias y/o estrategia para seducir tanto al equipo gerencial, supervisores y operadores, haciendo un proyecto sustentable en el tiempo.

Para poder lograr los objetivos planteados, lo primero fue dimensionar la condición actual del sistema de aireación de las pilas de Minera Spence, mediante inspecciones y mediciones en terreno con empresas expertas en la materia. Esto se hace con el propósito de detectar con ello los principales factores donde se enfocarán las mejoras, con una propuesta basada en un nuevo diseño de sistema y el control de proceso necesario. Una medición y evaluación del aporte en recuperación de cobre por concepto de inyección de aire de distintas características, bajo una propuesta entregada por la empresa experta. Con ello se lograron evidenciar oportunidades de mejora en el performance, no siendo complicado contar con el apoyo de la línea gerencial para incorporar el proyecto.

La siguiente parte del trabajo y, a nuestro juicio, la más desafiante, consiste en involucrar y hacer parte del proyecto a toda la línea de negocio a través de dos rutinas, como son el comprometer a los involucrados y la gestión del cambio que logre una curva de adaptación rápida a un proyecto que genera beneficios a todos.

Los resultados, aunque todavía en proceso, han evidenciado beneficios similares a los levantados en etapa de pilotaje con aproximadamente 3% de recuperación, siendo clave el involucramiento de los trabajadores quienes son agentes claves en el proceso de cambio.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Viviana quien me apoya con cariño en todas las locuras que emprendo y a mis hijos Emilia, Josefa y Diego por regalarme sus sonrisas. Espero tener mucha vida para retribuirlo.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y hermanos, por fomentar mi curiosidad por la vida y darme las bases para emprender un camino propio que no podría haber sido posible de no ser por su increíble esfuerzo y dedicación.

Quiero agradecer a BHP por entender que las personas son la clave en una organización y que su desarrollo intelectual es fundamental para que las organizaciones y la sociedad puedan progresar.

Al profesor Luis Zaviezo por su excelente trabajo como profesor guía. Muchas gracias por su gran disposición a empujar en base a sus historias o vivencias que hacer, más que en el generar directrices. Creo que es la forma más eficiente de desarrollar. Usted fue un apoyo muy importante durante este camino.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	i
AGRADECIMIENTOS	iii
TABLA DE CONTENIDO	iv
INDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	vi
1 INTRODUCCIÓN	1
2 ESTRATEGIA DE DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN.....	2
2.1 <i>Factibilidad Técnica, definición de alternativas</i>	2
2.2 <i>Evaluación Económica del desarrollo del proyecto, su ejecución y sus diferentes escenarios de beneficios.</i>	2
2.3 <i>Plan de Implementación</i>	2
3 INFORMACIÓN CORPORATIVA BHP PAMPA NORTE	3
3.1 <i>Minera Spence</i>	3
4 ALCANCE.....	5
5 OBJETIVOS.....	6
5.1 <i>Objetivo General</i>	6
5.2 <i>Objetivos Específicos</i>	6
6 DIAGNÓSTICO ACTUAL	7
6.1 <i>Inspección terreno y medición estatus aireación.</i>	7
6.2 <i>Diseño para mejorar uniformidad de aireación.</i>	10
6.3 <i>Control de aireación.</i>	12
6.4 <i>Conclusiones revisión y diseño propuesto.</i>	12
7 EVALUACION RECUPERACIÓN AUMENTO FLUJO DE AIRE	14
7.1 <i>Primeros 80 días (Campaña 9, PAD 01).</i>	14
7.2 <i>Primeros 110 días (Campaña 9, PAD 01).</i>	16
8 METODOLOGÍA DE INTERNALIZACIÓN.....	18
8.1 <i>Comprometer</i>	19
8.1.1 <i>Conversaciones uno a uno</i>	19
8.1.2 <i>Sombra del líder.</i>	21
8.1.3 <i>Enfocarnos en fortalezas</i>	21
8.2 <i>Gestión del cambio</i>	22
CONCLUSIÓN.....	25
BIBLIOGRAFÍA	26

INDICE DE TABLAS

KPI Poblaciones utilizadas para análisis.....	14
<i>Beneficio económico parcelas P1 Y P6 con mejor performance.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabla comparativa incremento recuperación por mayor flujo de aire.....</i>	<i>17</i>

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Minera Spence de BHP Billiton.....	4
Condición línea de aireación sistema óxido.....	8
Puntos de medición de líneas aireación sistema óxido.....	8
Distribución aire en la medida que se aleja líneas de matriz principal.....	9
Velocidad de aire a lo largo de la matriz.....	9
Diseño disminución distancia aireación en pilas.....	10
Tasa de aireación a espaciamiento de líneas.....	11
Diseño línea de aireación a pilas con tramo ciego para evitar pérdidas.....	11
Puntos de medición de líneas aireación sistema óxido.....	12
Recuperación población 1 a 7,5 metros.....	14
Recuperación población 2 a 6 metros.....	15
Incremento recuperación Parcela 11.....	16
Imagen reunión involucramiento personal en proyecto de mejora.....	19
Guía de consulta rápida conversaciones individuales.....	20
Ejemplo enfoque en debilidades o fortalezas.....	21
Detalle de procesos claves para administrar cambios.....	23
Curva emocional del cambio.....	23

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad el grupo BHP a través de sus operaciones alrededor del mundo declararon el compromiso de trabajar en base a los valores de Sostenibilidad, Integridad, Respeto, Desempeño, Simplicidad y Responsabilidad, contenidos en Nuestra Carta.

La diversificada cartera de BHP continúa siendo el atributo que nos define. Lo que nos distingue de nuestros pares es la calidad de nuestra gente, nuestra cartera de activos y nuestra estrategia invariable de poseer y operar activos primarios de gran tamaño, larga vida, bajo costo, con potencial de crecimiento y diversificados según producto, ubicación geográfica y mercado. Lo anterior, junto con nuestra capacidad y compromiso de invertir a través de los ciclos y entregar los proyectos dentro de presupuesto y cronograma.

Dada la estrategia del grupo y la situación actual de las compañías del mismo, se detectó un problema transversal tanto en escondida, Cerro Colorado y Spence, donde teniendo en cuenta que una de las variables relevantes para el aumento de la utilidad del negocio es el aumento de producción, es que se evidencia que existen variables claves en el proceso de lixiviación como son la aireación en pilas que benefician la recuperación de cobre para procesos hidro metalúrgicos que no son llevadas con un nivel de control y operatividad óptima. Todavía evidenciándose oportunidades de beneficio por dicho ámbito.

Esta situación y las oportunidades detalladas anteriormente es la que motiva la presente tesis, debido a que para maximizar el valor de la compañía para los accionistas y tener una alta rentabilidad, es necesario tener resultados sólidos con la menor variabilidad posible que permitan sostener y darle continuidad a estos objetivos y un punto clave para ello es generar acciones que puedan ser en un futuro previa evaluación oportunidad para maximizar los niveles de producción.

El tratamiento metodológico con que se abordará esta tesis y con el cual buscamos asegurar el cumplimiento de los objetivos anteriormente definidos será el siguiente:

Análisis del estado del arte de las prácticas de aireación en pilas de lixiviación de SPENCE

Realizar un análisis detallado de las prácticas actuales de cómo se revisará el proceso de aireación llevado actualmente en pilas de lixiviación en el asset de Pampa Norte anteriormente nombrado con la finalidad de detectar las principales falencias que propician la pérdida de control y la baja sistematización del proceso realizando una propuesta de alternativa para mejorar la condición y evaluar con ello los beneficios de dicha propuesta

Aunque hay una solución técnica en la propuesta, el enfoque estará en la estrategia de seducir tanto al equipo gerencial en apoyar y facilitar los recursos necesarios para su ejecución y posteriormente a el equipo de supervisión y trabajadores, involucrando en un proyecto que busca un beneficio transversal, utilizando para ello una estrategia en fortalecer las capacidades de los distintos stakeholders en comprometerse con el proyecto disminuyendo los tiempos de adaptación a un cambio en sus rutinas o formas de hacer normalmente su trabajo buscando la sustentabilidad en la mejora.

2 ESTRATEGIA DE DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN

2.1 Factibilidad Técnica, definición de alternativas

Desarrollo de alternativas técnicas para implementar la solución requerida. Realizada en base a las oportunidades o mayores desviaciones detectadas en la medición de línea base a través de la actual condición de aireación de pilas. Para ello se concertará reuniones con potenciales proveedores o desarrolladores de las alternativas que aseguren una óptima ejecución y control de dicho proceso.

2.2 Evaluación Económica del desarrollo del proyecto, su ejecución y sus diferentes escenarios de beneficios.

Consolidación de los beneficios estimados del proyecto que midan el beneficio y con ello entregar las herramientas de decisión necesaria a la compañía para evaluar una posible inclusión a nivel industrial, incluyendo en ello el potencial ahorro en mano de obra, insumos, entre otros, comparado con la operación actual y la línea base que se medirá a inicios del proyecto.

2.3 Plan de Implementación

Definición de plan tentativo de implementación del proyecto, incluyendo etapa de pilotaje y una estrategia adecuada de gestión del cambio e involucramiento del personal para su internalización en Minera Spence.

3 INFORMACIÓN CORPORATIVA BHP PAMPA NORTE

BHP es una compañía global de recursos naturales. Su objetivo corporativo es crear valor a largo plazo para sus accionistas a través del descubrimiento, adquisición, desarrollo y comercialización de recursos naturales. BHP Billiton se instaló en Chile en 1984, a través de la adquisición de Utah, que era el principal socio de Minera Escondida. En 2000, Billiton adquirió Rio Algom, que tenía entre sus activos Spence y Cerro Colorado. El año 2001 se produjo la fusión de BHP y Billiton; y en 2004, dada la gran concentración de operaciones de cobre en Chile, la compañía decidió instalar en Santiago las oficinas de su entonces División Metales Base, hoy Minerals Americas. La unidad de negocios BHP Billiton Pampa norte, 100% propiedad de BHP Billiton, está integrada por dos operaciones a rajo abierto: Compañía Minera Cerro Colorado y Minera Spence. Ambas faenas producen cátodos de alta calidad mediante el procesamiento de óxidos y sulfuros de cobre a través de lixiviación, extracción por solventes y electro obtención.

3.1 Minera Spence

Minera Spence (en adelante Spence) se ubica sobre 1750 msnm en la comuna de Sierra Gorda en la Provincia de Antofagasta, Región de Antofagasta a aproximadamente 50 km al suroeste de Calama y 150 km al noreste de Antofagasta. Esta faena inició sus operaciones en diciembre de 2006. El año 2017 la producción de cobre fino fue 198.039 tmf. Spence, es un yacimiento de pórfidos de cobre con cuatro zonas mineralizadas: mineral oxidado, mineral de sulfuro enriquecido, mineral mezclado y mineral de sulfuro hipógeno. El proceso se inicia con la extracción del mineral, en un proceso de extracción a rajo abierto convencional. La mina fue diseñada para extraer 50.000 t/d de uno u otro mineral, óxido o sulfuro en diferentes fracciones al día. Minerales de óxidos y sulfuros son alimentados en campañas separadas a la unidad de chancado primario, lo que requiere acopiar el mineral por separado. Dependiendo de la campaña, el mineral oxidado o sulfurado se envía alternadamente a una planta de chancado en 3 etapas (primario, secundario y terciario). Posteriormente, el mineral de la campaña en cuestión, es alimentado desde un silo mediante alimentadores y correas transportadoras a tambores aglomeradores donde se acondiciona con ácido sulfúrico concentrado. A continuación, se listan los procesos involucrados en las operaciones de Spence: Mina. Chancado Primario. Chancado Secundario y Terciario. Aglomeración. Lixiviación. SX, Extracción por Solvente. EW, Electro obtención

Desde el año 2012 el proceso sufrió algunas modificaciones siendo explicado de la siguiente manera. El mineral aglomerado se transporta a través de correas hacia las pilas donde será lixiviado. Se utiliza el sistema de pilas dinámicas entre 6 y 7,5 metros de altura, sobre canchas impermeables. Allí el mineral es regado por goteo con una solución acidulada y con alto contenido de cloruro durante 12 meses dependiendo de las propiedades del mineral.

La solución rica en cloruro favorece las reacciones óxido-reducción de ion ferroso a ion férrico y del ion cúprico a ion cuproso, permitiendo la liberación del cobre insoluble asociado

principalmente a Calcosina y del cobre soluble asociado a Atacamita, transformándolos en Sulfato de Cobre disuelto en solución.

Debido a que las pilas están impermeabilizadas y tienen una inclinación, la solución rica en cobre o PLS es recolectada por efecto de gravedad en canaletas, desde donde luego son conducidas a piscinas desarenadoras.

La adición de Sal al proceso incrementó de manera relevante la recuperación en un 8,5% para materiales sulfuros con NaCl, maximizando la producción de los próximos 5 años.



Minera Spence de BHP Billiton. Fuente: Google earth

4 ALCANCE

El alcance de este trabajo consiste en desarrollar una propuesta de mejora para una de las variables claves en el proceso de lixiviación con sal, pero incorporando para este las habilidades directivas necesarias y/o estrategia para seducir tanto al equipo gerencial, supervisores y operadores haciendo un proyecto sustentable en el tiempo.

5 OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

Proponer a la compañía una tecnología que permita mejorar el actual proceso de aireación en pilas sulfuro con sal que favorezca la permeabilidad del lecho y suministro necesario de oxígeno a dichos materiales.

5.2 Objetivos Específicos

- Definir diseño de construcción que favorezca una aireación homogénea en pila de lixiviación, incluyendo un sistema que evite pérdidas de presión entre los extremos de las líneas de aire. Permitiendo salida de aire solo al interior de la pila.
- Definir tecnología y plan de implementación, el que debiese contar con prueba piloto.
- Definir las herramientas o estrategia de involucramiento de los distintos stakeholders del proyecto.
- Realizar un caso de negocio de la propuesta evidenciando los beneficios de su implementación.

6 DIAGNÓSTICO ACTUAL

La presente sección de la tesis tiene como objetivo poder dimensionar la condición actual que enfrenta el grupo minero Pampa Norte de BHP y detectar los principales factores donde se enfocaran las mejoras, ya sea en el diseño del sistema o el control de proceso necesario que puedan ser parte, entregando la evaluación del aporte en recuperación de Cu por concepto de inyección de aire a las parcelas de lixiviación a distintas alturas y distintos días y una propuesta de mejora a lo actualmente llevado.

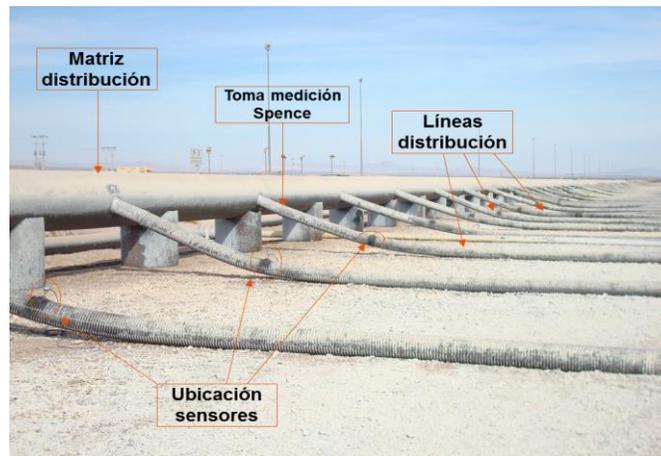
Para ello el análisis se llevará desde 2 puntos, el análisis de data existente, apoyado de bitácora operacional de hechos para validar hipótesis de condiciones ocurridas en la operación que pueden haber influido en la recuperación de pilas.

Inspección de conducción de soplado actualmente llevado en Spence.

6.1 Inspección terreno y medición estatus aireación.

Este análisis se sustenta en las 3 evaluaciones realizadas para el sistema de aireación SPC por diferentes Consultores Técnicos; (1) *Cpy Leach Project*, (2) *JRI Consultores* y (3) *Biohydro*.

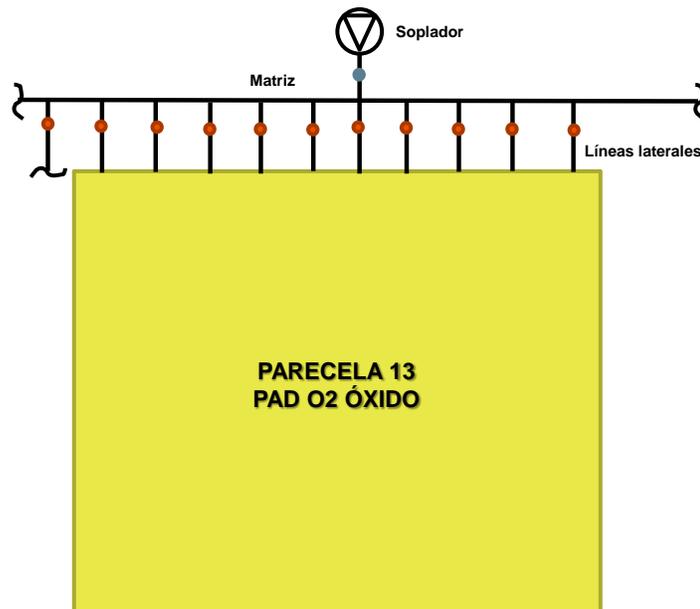
- El espaciamiento de 6 m, provoca que el flujo de aire por las líneas laterales sea un 55% del requerido para alcanzar la tasa de aireación objetivo de 0,48 Nm³/hm².
- Las mediciones de oxígeno en la pila, sugieren un déficit en la distribución a lo largo de las líneas laterales en la medida que se aleja del distribuidor principal.
- Existe un déficit de oxígeno en al menos 2/3 de la zona de la pila alejada desde el cabezal de distribución.
- A 4 m de profundidad en todo el largo de la Parcela se evidenció *ausencia de fase gaseosa*, esto muy probablemente debido a una combinación de nivel freático y compactación del lecho, siendo el primer factor el más probable puesto que no es extraño para la Operación que las líneas laterales de aireación deban ser destapadas en su extremo para evacuar solución.
- Deterioro de laterales por tránsito de camiones.
- Debilidad en el proceso de armado de los laterales, por ejemplo, algunos grupos de perforaciones del tramo inicial quedan visibles.
- Debilidades en el monitoreo de las condiciones de operación de los sopladores y de la integridad del sistema de distribución de aire.



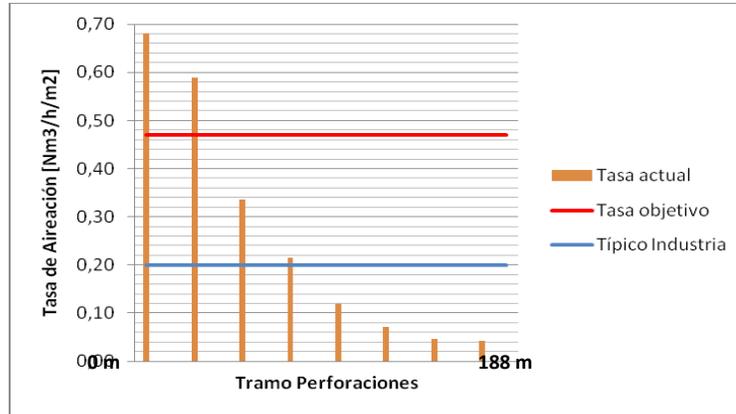
Condición línea de aireación sistema óxido

- Es posible apreciar una clara tendencia a permitir la salida del aire por principio de la tubería en desmedro del final y por tanto se genera una *enorme des uniformidad* en su distribución.

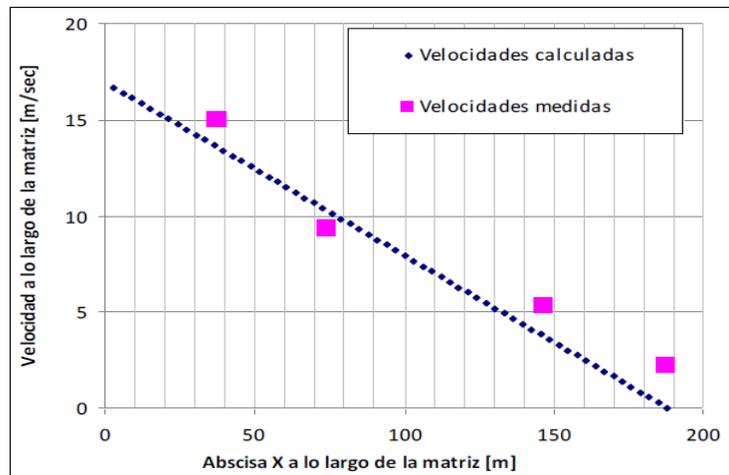
Para realizar la medición de aireación la empresa BioHydro definió 11 puntos de medición en las líneas donde se inyecta el aire (1 por cada línea lateral) más 1 en la matriz principal, tal como se muestra en el siguiente esquema:



Puntos de medición de líneas aireación sistema óxido



Distribución aire en la medida que se aleja líneas de matriz principal



Velocidad de aire a lo largo de la matriz

A partir del primer gráfico de distribución se desprende:

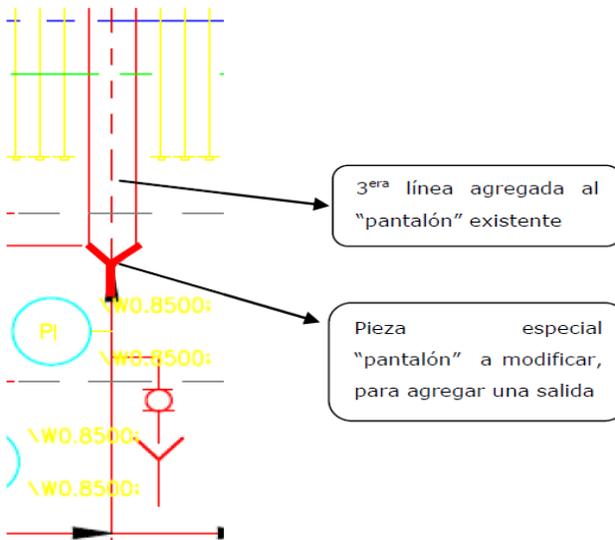
- Sólo 2 tramos alcanzan, e incluso exceden, el valor objetivo declarado por Spence (0,47 Nm3/h/m2).
- Sólo 2 más alcanzan siquiera un valor típico de la industria (0,2 Nm3/h/m2)
- Los 4 tramos restantes, que corresponden a la segunda mitad de la lateral, se encuentran hasta 11 veces por debajo del valor objetivo y 5 veces bajo el valor típico de la industria.
- Lo anterior es corroborado por la medición de velocidad a lo largo de la matriz, la cual parte en 15 m/s y termina en torno a 3 m/s.

6.2 Diseño para mejorar uniformidad de aireación.

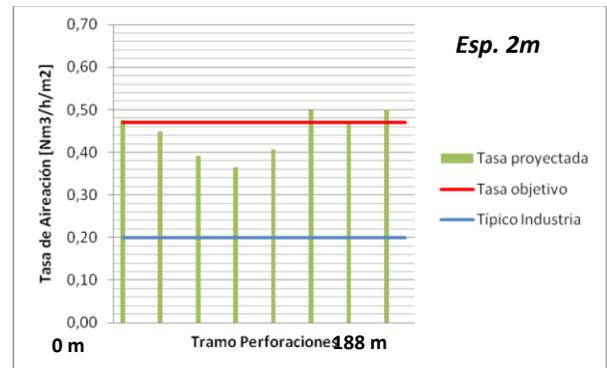
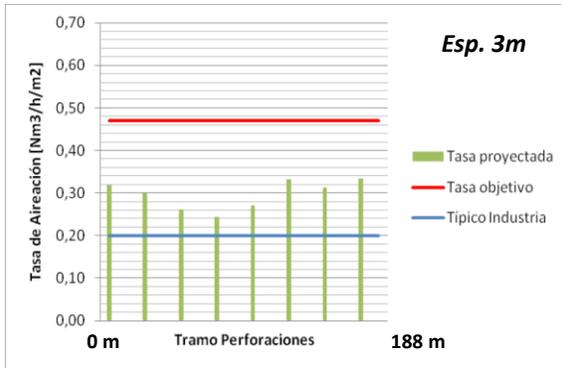
- Para determinar un nuevo patrón de perforaciones que permitiera distribuir uniformemente el flujo de aire a lo largo de la lateral de aireación, Biohydro realizó numerosas pruebas en sus instalaciones. Estas pruebas concluyeron finalmente con un nuevo diseño recomendado para la situación de Spence.
- En los gráficos, se aprecia que adoptar este nuevo diseño de perforaciones y reducir el espaciamiento a 2m permite aproximarse razonablemente bien a la tasa objetivo declarada por Spence. No obstante, bastaría con reducir el espaciamiento a 3m para alcanzar niveles de aireación altas (sobre el valor típico de la industria).

Alternativa para implementar un espaciamiento menor a 6m:

Inserción 3^{era} línea en pantalón existente



Diseño disminución distancia aireación en pilas.



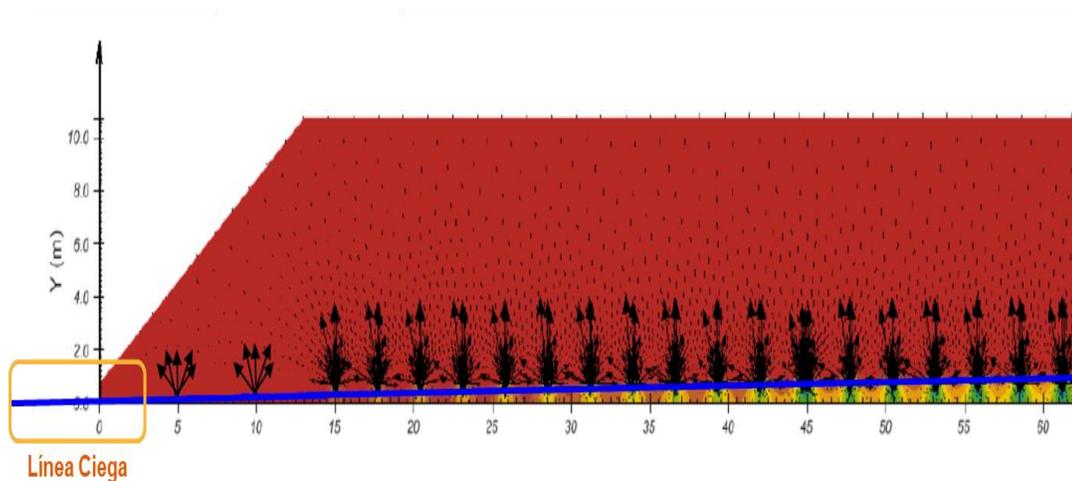
Tasa de aireación a espaciamiento de líneas de 3 y 2 metros respectivamente.

Las líneas laterales deben estar constituidas por 2 etapas bien definidas:

Etapa 1: línea ciega que corresponde al tramo entre la matriz principal y hasta 2.5m interior pila.

Etapa 2: línea corrugada y perforada que corresponde al tramo entre 2.5m interior pila hasta los 240m.

Se debe velar que cada línea corrugada sea de 4" y cuente con 140 secciones de orificios, donde cada una de ellas esté compuesta por 16 orificios de 4 mm y una tapa.



Diseño línea de aireación a pilas con tramo ciego para evitar pérdidas.

6.3 Control de aireación.



Puntos de medición de líneas aireación sistema óxido

En estos puntos se medirá el flujo, la presión y la temperatura del aire. Esta tarea debe realizarse todos los días a las 11:00 hrs durante las etapas de:

Reposo, 30 días.

Humectación, 20 días.

Riego continuo, 20 días en principio.

La idea de estas mediciones es observar el comportamiento del flujo de aire a través del proceso de pre-tratamiento y riego de la pila y por ende su contribución en términos de oxígeno en la lixiviación de sulfuros.

6.4 Conclusiones revisión y diseño propuesto.

- El espaciamiento de 6 m, provoca que el flujo de aire por las líneas laterales sea un 55% del requerido para alcanzar la tasa de aireación objetivo de 0,48 Nm³/hm².
- Las mediciones de oxígeno en la pila, sugieren un déficit en la distribución a lo largo de las líneas laterales en la medida que se aleja del distribuidor principal.
- Mediciones en terreno evidencian ausencia de fase gaseosa, esto muy probablemente debido a una combinación de nivel freático y compactación del lecho. Se requiere *constante evacuación de solución* de líneas laterales.
- Debilidad en el proceso de armado de las líneas laterales, por ejemplo, algunos grupos de perforaciones del tramo inicial quedan visibles. Por otra parte, se requiere disminuir el tránsito de vehículos pesados (camiones) para mitigar el deterioro de las líneas.

- Se requiere implementar un constante el *monitoreo y control de calidad* de las condiciones de operación de los sopladores y de la integridad del sistema de distribución de aire.
- Sopladores del sector Oeste de los Pad's (Óxido-Sulfuro) *requieren ser re-evaluados por el área de Ingeniería*, para mejorar su diseño en términos de disposición, ya que estos se ven afectados fuertemente por las soluciones de drenaje de pilas.
- Para mejorar la distribución de aire, se propone *un espaciamiento de 2 ó 3 metros* entre líneas laterales.

7 EVALUACION RECUPERACIÓN AUMENTO FLUJO DE AIRE

7.1 Primeros 80 días (Campaña 9, PAD 01)

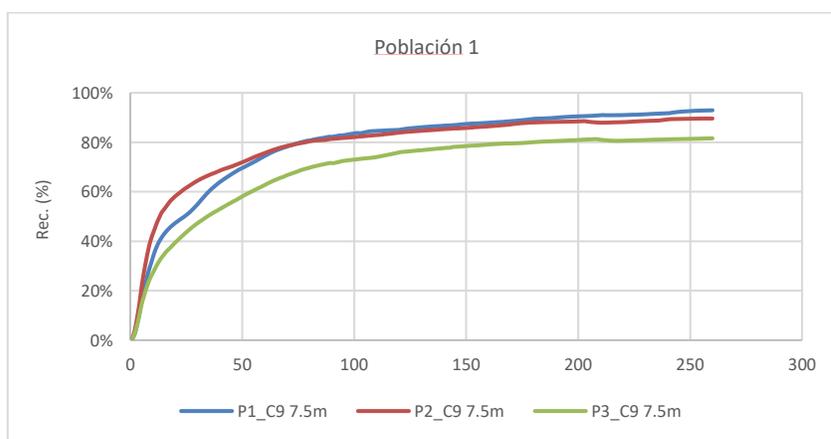
Para la evaluación de la influencia del aire en el proceso de sulfatación. Se agrupan 2 poblaciones de parcelas que fueron cargadas bajo similares condiciones Geo Metalúrgicas y dosis de reactivos.

Las características de las poblaciones son las siguientes:

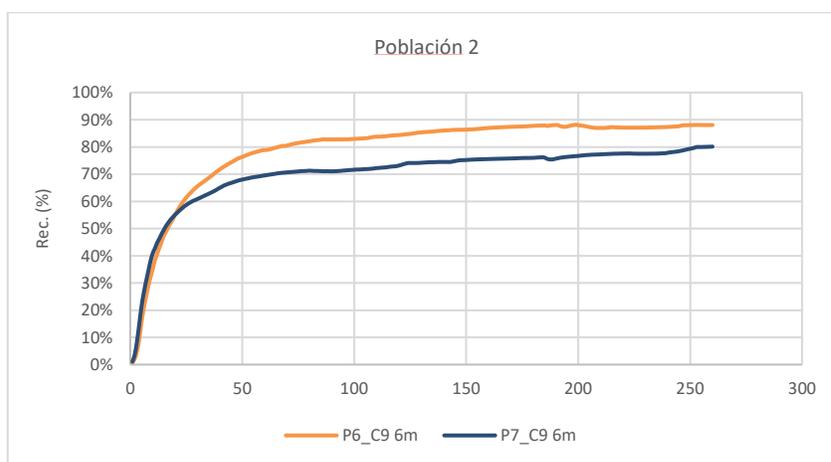
Parámetro	Unidad	Población 1			Población 2	
		P1	P2	P3	P6	P7
CuT	%	1,31	1,20	1,30	0,99	0,98
RS		0,51	0,70	0,61	0,14	0,07
Mena		Mixto	Mixto	Mixto	Sulfuro	Sulfuro
Clays	%	12,3	10,5	11,3	11,6	10,3
Dosis Ácido	kg/t	20,6	20,9	21,0	17,9	17,9
Dosis Sal	kg/t	10,5	10,5	10,5	15,0	15,8
Tiempo Reposo	días	30 días	30 días	30 días	30 días	30 días
Tiempo Humectación	días	20 días	20 días	20 días	20 días	20 días
Altura	m	7,5	7,5	7,5	6	6
Cu fino	ton	2.592	2.467	2.552	1.758	1.554

KPI Poblaciones utilizadas para análisis.

En los gráficos expuestos, se observan diferencias entre 8 a 10% de recuperación en los quiebres de las curvas cinéticas de las parcelas analizadas. Esta diferencia radica principalmente por efecto de aireación.



Recuperación población 1 a 7,5 metros



Recuperación población 2 a 6 metros

Las diferencias radican a causa de la aireación, específicamente por las siguientes razones:

- Activación del sistema de aireación con 10 días de retraso en etapa de reposo.
- Debilidad en el proceso de armado de las líneas laterales, esto es, líneas perforadas comienzan antes de ingresar bajo parcelas.
- Líneas de aireación presentan contenido de solución post humectación.
- Sustentado en los puntos anteriores, existió menor oxígeno ingresando a las parcelas.

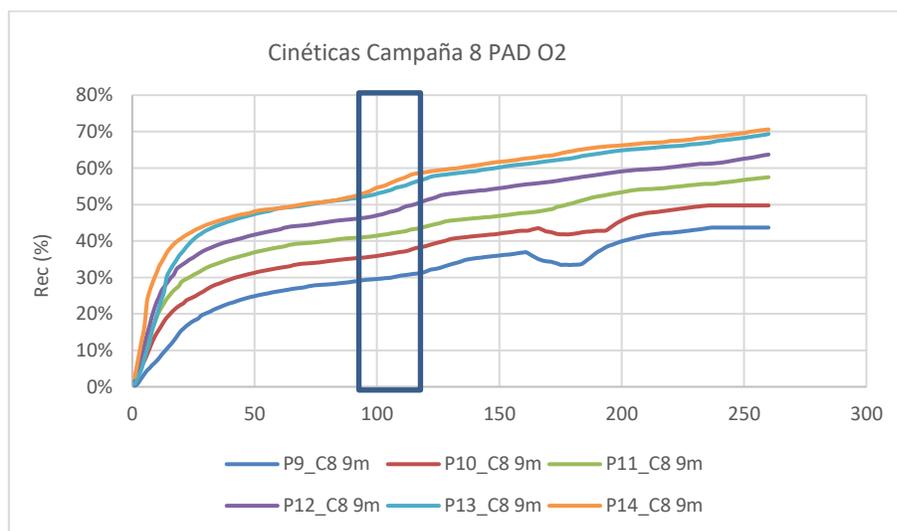
Parámetro	Unidad	Población 1			Población 2	
		P1	P2	P3	P6	P7
Cu fino	ton	2.592	2.467	2.552	1.758	1.554
Recup. Alcanzada 260d	%	92,9%	89,6%	81,6%	88,1%	80,1%
Recup. Referencia	%	92,9%	92,9%	92,9%	88,1%	88,1%
Diferencia	%	0,0%	3,3%	11,3%	0,0%	7,9%
Cu extraído Real	ton	2.409	2.211	2.083	1.548	1.245
Potencial Cu extraído	ton	2.409	2.293	2.372	1.548	1.368
Diferencia Cu extraído	ton	0	82	289	0	123

Beneficio económico parcelas P1 Y P6 con mejor performance.

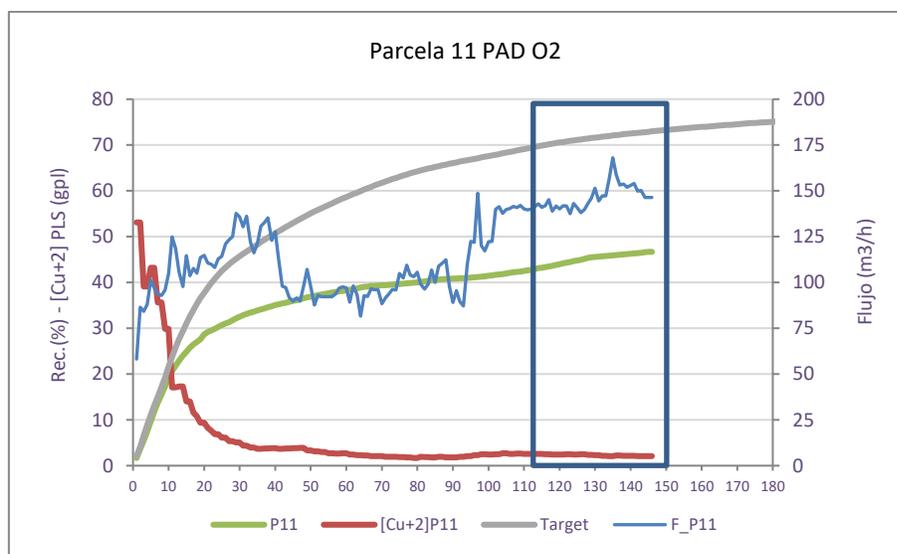
- Considerando como referencia las parcelas de mejor resultado (P1 y P6), y con un pequeño caso de negocio podemos inferir que se perdió la oportunidad global de haber extraído 500 ton más de Cu.
- Considerando un precio de Cu de 2,6 USD/lb, la pérdida de oportunidad corresponde a 2.866 kUSD.

7.2 Primeros 110 días (Campaña 9, PAD 01)

A contar del día 110 del ciclo lixiviación, el soplador existente del PAD O2 de 50 hp, fue cambiado por uno de mayor potencia (200 hp y 0,48 Nm³/hm²), el cual permitió suministrar el oxígeno necesario para incrementar el potencial redox y por ende la recuperación de Cu.



Recuperación población 2 a 6 metros



Incremento recuperación Parcela 11 comparado con el aumento de flujo de aire

En el gráfico de recuperación se exponen las curvas cinéticas de las parcelas en las cuales la influencia de mayor aireación generó un cambio en la pendiente de la curva.

Como ejemplo se expone el caso de la parcela 11 donde, el incremento de recuperación fue de 1,8%. Adicionalmente el potencial incrementó de un promedio de 565 mV a 590 mV. Estos saltos

de potencial se lograron en un periodo de 10 días, esto es, en la mitad del tiempo respecto de lixiviación de un mineral óxido estándar.

En la siguiente tabla adjunta, se muestra que el mayor flujo de aire genera un incremento promedio de 2,1% en la recuperación de cobre.

El beneficio en términos de producción de cátodos equivalente donde el total asciende a 400 ton.

Parcela	Rango de Tiempo días	Flujo Cte. m3/h	Rec. Inicial %	Rec. Final %	Incremento p/p	Cu fino cargado ton	Cu recup. por aire ton
9	13	140	30,5	32,2	1,6	3.100	50
10	13	140	37,0	39,0	2	3.708	74
11	13	140	42,5	44,3	1,8	3.540	64
12	13	140	49,0	51,6	2,6	3.086	80
13	13	140	54,9	57,6	2,7	2.969	80
14	13	140	57,1	59,1	2,1	2.591	54
Total Cu recup.							402

Tabla comparativa incremento recuperación por mayor flujo de aire

Para las 400 ton cátodos y considerando un precio de Cu al 17 de agosto de 2018, 2,6 USD/lb, el beneficio corresponde a 2.306 kUSD.

Sustentado en la data real e Industrial analizada se desprende:

Durante la etapa de pre-tratamiento, la influencia del aire en proceso de sulfatación puede generar incrementos de recuperación entre 8 a 10 puntos porcentuales.

Mejoramiento en la inyección de aire después de 100 días de ciclo, generan incrementos de 2 puntos porcentuales.

En ambos casos analizados el aporte adicional de Cu asciende a 400-500 ton cátodos.

El beneficio económico por esta producción corresponde a un rango entre [2.300 – 2.800] kUSD.

Se recomienda dar a este insumo (Oxígeno), la misma importancia en términos de control y optimización que se da al Ácido y Sal.

8 METODOLOGÍA DE INTERNALIZACIÓN

Las condiciones descritas en los capítulos 5 y 6 evidencia las oportunidades de mejorar el performance de aireación en pilas, con ello no resulta complicado demostrar el potencial económico demostrado anteriormente solo con casos de negocio.

Aunque parece un proyecto netamente técnico, los resultados del levantamiento de la línea base evidencia oportunidades tanto en acciones, control que evidencian falta de compromiso desde Gerentes hasta operadores, quienes no conocen la importancia de la variable en cuestión, que indirectamente también genera pérdidas en bonos de todas las líneas organizacionales por mejor utilidad.

Lo anterior descrito queda en evidencia al generar conversaciones con empleados del área de lixiviación los cuales no entienden el propósito de sus acciones o el beneficio del negocio en éstas. Es por ello que la mejora o propuesta comenzará con el involucramiento de toda la línea del negocio en ello, a través de una explicación clara en oficina (teórica) y terreno de los beneficios tanto a la organización como a ellos. Con esa identificación, las actitudes y comportamientos asumidos por los empleados ayudarán a facilitar el logro de objetivos, además, los esfuerzos por implementar cambios en los sistemas y procesos de trabajo se verán disminuidos.

Emplear una gestión de personal adecuada creemos servirá para que el proyecto de mejora, aunque parece pequeño, trascienda en el tiempo. Sabemos que guiar al personal es todo un arte.

Se pueden alcanzar buenos resultados si al momento de guiar a los empleados consideramos aspectos que los involucrará y comprometerá en los mismos.

Se define que los empleados claves a involucrar son los de las áreas de apilamiento y lixiviación, los primeros por ser responsables de la instalación de las líneas para el sistema de aireación y los segundos en el control y operatividad del sistema.



Imagen reunión involucramiento personal en proyecto de mejora.

Lo que se busca es que, ante esta situación, el papel del líder es esencial para realizar un plan de acción y organización donde el equipo de trabajo sepa cuál es el proyecto y el propósito de este. La productividad y eficiencia de la organización está muy enlazada con los involucrados que estén en las actividades que realizan.

Nosotros como supervisores además de un feedback inmediato adicionalmente involucramos al equipo que identifiquen situaciones que estén funcionando y destaquen, y otras que consideran menos efectivas y podrían mejorar. Para ello en la reunión descrita anteriormente y visualizada en imagen, se realizó un módulo explicando los resultados de capítulos 5 y 6 para continuar con un proceso denominado “lluvia de ideas” Invitando a los trabajadores a que establezcan sus propias metas en las distintas áreas de trabajo a las que pertenecen para que estén involucrados en las mismas siempre asociado al proyecto de aireación para este caso. Estas metas incluiremos una gestión a la vista para comprobar su cumplimiento.

Las 2 estrategias utilizadas serán la habilidad de comprometer, asociada a programa cultural Leading Step Up llevada en BHP aunque no internalizada y una estrategia que incluya una gestión del cambio robusta manteniendo estados de ánimo saludables en el proceso en un proceso que a priori nunca es fácil.

8.1 Comprometer

8.1.1 Conversaciones uno a uno

La primera habilidad a fortalecer tanto en el equipo de liderazgo como en nuestros trabajadores, y detallado en reunión descrita en imagen anterior es Comprometer (*Engage*) una de las rutinas claves de liderazgo, especialmente dando importancia a las conversaciones individuales (*one-on-one*). Enfocados como un espacio crítico donde generamos la capacidad de Comprometer.

Las investigaciones realizadas en BHP Billiton nos demuestran que los supervisores y superintendentes con más alto desempeño, sostienen más conversaciones individuales (las poblaciones con un alto desempeño enfatizaron la importancia de las conversaciones individuales 17 veces más en promedio que las poblaciones con un desempeño promedio), además de que planifican las conversaciones individuales con mayor rigurosidad. Definen un plan para lo que quieren lograr con la conversación y de qué manera necesitan comprometer, (no es sólo una lista de acciones que desean comunicar); La intención de enseñar a través de las rutinas de liderazgo es generar nuevas habilidades en las cosas que se hacen diariamente para poder crear un campo de práctica repetitivo. Comprometer tal como fue descrito en la clase de profesor Burr (Profesor asignatura Habilidades directivas), es la capacidad transversal a todas las rutinas de liderazgo.

Al conectar esta capacidad de alto impacto con esta rutina de alto impacto, creemos que será un gran inicio para lograr el cambio que aspiramos, en este caso, incorporar mejorar el performance de sistema de aireación.

De manera de facilitar el proceso se incluirá el uso inicial de guía rápida, éstas definen las competencias específicas de liderazgo consideradas como las más importantes para cambiar la cultura en una rutina específica, y reforzarán las expectativas de un líder. Son elementos que aparecerán en las Guías de Observación.



Guía de consulta rápida conversaciones individuales

Las GCR (guía de consulta rápida) tendrá un impacto mayor si se personalizan – agregar notas personales, ideas adicionales, replantear el contenido en el lenguaje propio.

8.1.2 Sombra del líder

Otro punto que facilita cualquier proyecto es que nuestros mensajes o compromisos sean consistentes con nuestras acciones, la gente nos mira como líderes y nos usa de ejemplo. Recuerden que cuando pensamos acerca de nuestras conversaciones individuales, incluso si no estamos completamente preparados para enfrentar una situación, siempre estamos atentos: en terreno, pilas de lixiviación, en el casino, en la cafetería, etc.

Nos juzgamos a nosotros mismos en base a nuestras intenciones, sin embargo, los otros nos juzgan por el impacto que tenemos en ellos. Cada líder proyecta una sombra, le guste o no. Nuestras sombras son proyectadas por lo consistentes que somos en qué/cómo decimos, actuamos, reconocemos y priorizamos. Lo que no decimos, hacemos, reconocemos, etc., también proyecta una sombra. Las personas observarán nuestra sombra como una señal de lo que valoramos y de cómo ellos deberían comportarse.

Nosotros no podemos proyectar sólo una parte de ‘la sombra’ – basta sólo que algo sea inconsistente, para que nosotros, como líderes, defraudemos a los demás.

Un elemento clave de la estrategia de internalización del proyecto se refiere a tomar las decisiones correctas y ser resueltos y consistentes en proyectar una sombra de liderazgo que logre que las personas se sientan incluidas, valoradas y escuchadas. Es decir, si damos importancia a ciertos controles, ser consistentes con el control y la acción inmediata en caso de desviación.

Por ejemplo, cuando se incluye un cambio como el instalar líneas de aireación a menor distancia, fortaleciendo los controles, le podría decir a mi equipo que el cambio es realmente importante y que deben implementarlo, pero si no lo controlamos o seguimos la importancia de esta variable, mi sombra es inconsistente. Si no reconocemos ni motivamos a aquellos que están haciendo lo correcto, estamos enviando mensajes contradictorios acerca de lo que consideramos realmente importante.

8.1.3 Enfocarnos en fortalezas



Ejemplo enfoque en debilidades o fortalezas

- Las investigaciones demuestran que si nos concentramos en desarrollar las fortalezas de las personas podremos lograr que mejoren su productividad en un 38%.
- Cuando las personas entienden sus fortalezas, se pueden volver realmente buenos. Concentrarnos en las cosas que hacen bien y transformarlas de buenas a extraordinarias produce lo que se conoce como el ‘efecto halo’. Las personas se dan cuenta de esto y tienden a perdonar mucho más en esas áreas en las que no somos buenos. Las personas con fortalezas extraordinarias también son percibidas como más efectivas.
- Por ejemplo, Kareem Abdul-Jabbar es considerado uno de los más grandes basquetbolistas de todos los tiempos. Fue conocido por su famoso ‘*sky hook*’, un tiro descrito como ‘indefendible’. Desde que era un niño pequeño lo practicaba día y noche y lo mismo hizo a lo largo de toda su carrera; al momento de su retiro fue el líder más grande de la NBA que logró marcar más puntos.
- Las personas generalmente quieren hacer las cosas bien y es nuestra labor como líderes ayudarlos a lograr cosas que agreguen valor.

Crear un ambiente que incentive el desempeño, donde las personas se sientan valoradas, incluidas y escuchadas. Hablamos acerca de la sombra de liderazgo como una manera de pensar y estar conscientes del ambiente que creamos.

La importancia de las conversaciones individuales. Podemos generar el mayor impacto al comprometernos en las conversaciones individuales; es ahí donde se demuestra nuestro liderazgo.

8.2 Gestión del cambio

El cambio es considerado como cualquier alteración, eliminación o introducción de personas, entorno, planta / infraestructura/ equipo, productos/ materiales, sistemas de procesos o sistemas /estándares/ procedimientos de gestión.

Para lo propuesto en esta tesis el concepto que más creo se asemeja, es el pasar de un estado actual a un estado de transición para llegar a un nuevo futuro. El objetivo del cambio es mejorar el rendimiento de una manera significativa, de modo que los niveles de rendimiento en el futuro sean mejores de lo que habían sido en el estado actual.

Para esto creemos que el éxito se caracteriza diseñada de manera efectiva, desarrollado y entregado y que se adopta y es utilizado por los empleados; es por ello que creemos que lo clave que asegura el proyecto es el vincular a todos en un proyecto que genera un beneficio transversal. Lo clave es que principalmente las personas que aseguran el cumplimiento de variables tengan las respuestas para “por qué” están ocurriendo los cambios.

Los tres procesos principales que utilizaremos para gestionar el cambio son:

- Gestión el cambio
- Gestión de cambio organizacional
- Cambio y lanzamiento de tecnología



Detalle de procesos claves para administrar cambios

Si nos enfocamos en nuestros equipos y tenemos en cuenta que el involucramiento de todas las líneas es clave para la sustentabilidad del proyecto es importante que el cambio crea reacciones emocionales. Anticipar las reacciones de las diferentes partes interesadas (e incluso de nosotros mismos) nos puede ayudar a Liderar el cambio en forma efectiva.

La curva del cambio representa las típicas reacciones que las personas tienen al cambio y de qué manera procesan esas reacciones.



Curva emocional del cambio

En la incorporación de mayor robustez al proceso de aireación en pilas; lo primero que debiese presentarse es la negación, la incertidumbre conduce a la evasión y las personas cambian su atención hacia cosas del pasado que les son familiares y que las hacen sentir seguras.

La resistencia se acumula a medida que las personas se dan cuenta que el cambio efectivamente se está produciendo y no hay manera de evitarlo. Sienten ira, dudas y ansiedad y pueden decidir no seguir cooperando.

En la fase de exploración, a medida que la gente comienza a ver los beneficios del cambio, comienzan a volverse parte de él y contribuyen de manera constructiva.

Con el compromiso, se recupera la productividad y la moral y la gente siente que está más en control y comprometida con la nueva realidad con la cual trabajan activamente para alcanzar la nueva meta.

Nuestro trabajo como líderes para este proyecto es lograr que la gente se mueva hacia la derecha de la curva y supere la inevitable 'caída' lo más rápido posible; nuestra sugerencia es que es clave involucrar en todo el proceso del cambio, dando importancia al propósito, asegurar el entendimiento, detallar los beneficios y por supuesto hacerlos parte del proyecto.

CONCLUSIÓN

Primero cabe decir que los resultados, conclusiones y recomendaciones de este trabajo son en base a análisis de distintas empresas que se dedican a mejoras en performance de recuperación; aun así, es una variable que, hasta el día de hoy, tanto en faenas CMCC y MEL no se ha dado la importancia.

La propuesta a pesar de que es técnica, mejorando el actual sistema y robusteciendo los controles. El principal pilar está en asegurar el entendimiento de todos como una variable clave en el proceso de recuperación de cobre en la etapa de lixiviación, influyendo en por lo menos 8% de mejora en relación a pilas donde esta variable no se incluye. E ahí la importancia que para el éxito del proyecto es clave involucrar a todos en un proyecto que genera rentabilidad tanto a los accionistas, pero por el modelo de retorno (bono en base a cumplimiento de objetivos), también un beneficio a los trabajadores.

La habilidad que definimos clave para el éxito y sustentabilidad de esto es un involucramiento que se basa en un compromiso sostenido con algunas prácticas como son las conversaciones uno a uno, y basada en una gestión de cambio que logre que la curva de aceptación donde todos visualicen los beneficios del proyecto, sea lo más rápido posible.

Aunque escapa del alcance de este trabajo, se podría abordar incorporar estas mejoras en otra de los asset de Mineral Americas y por qué no a otras empresas del rubro.

BIBLIOGRAFÍA

Descripción proceso Minera Spence [en línea] < <https://consejominero.cl/wp-content/uploads/2018/04/BHP-Spence.pdf>> [consulta: diciembre 2017]

USGS. Mineral Commodity Summaries. 2017. [en línea]

<<https://minerals.usgs.gov/>> [consulta: febrero 2018]

Precio metales [En línea]

<<https://www.cochilco.cl/Paginas/Estadisticas/Bases%20de%20Datos/Precio-de-los-Metales.aspx>> [consulta: Agosto 2018]

Guía entendimiento programa leading step up Minerals Americas

<LSU Day 1 Slides vfinal BHP Billiton > [consulta: Agosto 2018]