



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

**APLICACIÓN DE MODELO DE GESTIÓN DE CAMBIO PARA LA  
OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS CON APLICACIONES DE CONTROL  
AVANZADO EN EL ÁREA DE MOLIENDA SECUNDARIA EN  
COMPAÑÍA MINERA DOÑA INÉS DE COLLAHUASI**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN  
GESTIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS**

**ARTURO ALEX ARDILES ALFARO**

**PROFESOR GUÍA**

**LUIS ZAVIEZO SCHWARTZMAN**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN**

**GERARDO DÍAZ RODENA**

**DALIBOR DRAGICEVIC PIZARRO**

**SANTIAGO DE CHILE**

**2017**

## RESUMEN

La presente tesis tiene por finalidad establecer estrategias de mejoras de productividad, en Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi. La cual desde el año 2013 se ve enfrentada a un gran cambio, está focalizada en la estandarización de los procesos y tiene como objetivo fundamental mejorar la productividad de la compañía.

Como caso de estudio, se desarrolla específicamente el análisis en el proceso de molienda en la planta concentradora con el fin de responder al desafío planteado por la vicepresidencia de procesos, de examinar oportunidades de mejoras para lograr la continuidad de marcha por las líneas de molienda y lograr un tratamiento de 155ktpd en estabilidad y control.

Para realizar este trabajo se efectúa un análisis utilizando la herramienta de gestión de cambio de los ocho pasos definidos por John Kotter, que definen como alcanzar la transformación de una organización o de un proceso para que estos sean exitosos.

La estandarización de los procesos en CMDIC abarca a toda la compañía sin excepción.

De esta forma, se valida la metodología de aplicada de John Kotter, a través de la implementación de un proyecto operacional “Optimización de la Molienda SAG línea 3, por medio de un sistema de control avanzado”.

Al finalizar este trabajo se logra:

1.- Generar un proceso que muestra cómo gestionar un cambio exitoso en una línea productiva, y que permita estabilizar la operación de las líneas de molienda:

- ❖ Se cumple una reducción de variabilidad promedio de un 52.4% para la presión de operación de las baterías de hidrociclones en la molienda secundaria de la Línea 3.
- ❖ Si bien no se puede asegurar con absoluta certeza (pues pueden existir otros factores no considerados en el presente análisis), sí es razonable suponer que los aumentos observados en la recuperación de Cu de la etapa rougher ABC (+2.3%) y en la recuperación global de Cu (+0.36%) se deben en alguna medida a una disminución en su variabilidad, lo cual está directamente relacionado con la mejora en la estabilidad de las presiones de alimentación a las baterías de hidrociclones.

2.- Se forman equipos de trabajo que sean capaces de gestionar y entender los cambios desde los resultados de sus áreas de trabajo.

Adicionalmente, dados los buenos resultados obtenidos para la aplicación ACE implementada en la Línea 3, se decide replicar este desarrollo en las etapas de molienda secundaria de las líneas 1 y 2, con el fin de generar mayor beneficio.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi agradecimiento es para Compañía Minera Collahuasi por la oportunidad brindada de participar en el programa de MBA versión industria minera, agradezco la confianza depositada en mis capacidades y en el desarrollo de mi carrera profesional.

Agradezco la fuerza que me dan mis hijas Martina y Fernanda, y el apoyo incondicional de Carolina Jara.

## ABREVIACIONES

<b>Sigla</b>	<b>Detalle</b>
CMDIC	Compañía Doña Inés de Collahuasi.
m.s.n.m	Metros sobre nivel del mar.
SOP	Superintendente de operaciones plantas.
SIAC	Superintendente de instrumentación, automatización y control.
CEO	Presidente de la compañía.
ACE	Andritz control expert.
APC	Aplicaciones de control avanzado.
BHC	Batería de hidrociclones.
DCS	Distributed control system.
CEIM	Centro entrenamiento industrial minero.

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

		<b>Página</b>
<b>Ilustración 1</b>	Detalla el proceso de la línea 3 de molienda.	4
<b>Ilustración 2</b>	Secuencia de los 8 pasos de Kotter.	8
<b>Ilustración 3</b>	Proceso de crecimiento de Collahuasi.	9
<b>Ilustración 4</b>	Focos estratégicos de la vicepresidencia de procesos.	10
<b>Ilustración 5</b>	Etapas de la línea de molienda con sus respectivos objetivos específico para lograr optimizar.	12
<b>Ilustración 6</b>	Estrategia de confiabilidad de la vicepresidencia de procesos.	13
<b>Ilustración 7</b>	Esquema organizacional para apoyar al proceso.	14
<b>Ilustración 8</b>	Esquemas representativos de los sistemas de control.	15
<b>Ilustración 9</b>	Esquema del sistema de control de la molienda secundaria.	16
<b>Ilustración10</b>	Secuencia cronológica de implementación de los sistemas de control 2010-2015.	17
<b>Ilustración 11</b>	Plan estratégico de estabilización de la minera.	18
<b>Ilustración 12</b>	Esquema de los puntos de control en la molienda secundaria.	19
<b>Ilustración 13</b>	Procedimiento para capacitar a los grupos de trabajo.	22
<b>Ilustración 14</b>	Módulo de capacitación del programa.	24
<b>Ilustración 15</b>	Gestión de cambio para aplicar el sistema de control avanzado a las otras líneas de molienda.	32
<b>Ilustración 16</b>	Tablas que muestran el incremento de los indicadores de la línea 3.	33
<b>Ilustración 17</b>	Estrategia para seguir avanzando en el desarrollo de la minera.	34

## ÍNDICE DE TABLAS

		<b>Página</b>
<b>TABLA 1</b>	Plan de mantención de equipos de la línea 3 de molienda.	20
<b>TABLA 2</b>	Presenta un análisis estadísticos de las variables de la presión de las BHCs, % sólido, P80, factor m, la recuperación rougher ABC, con su respecto KPI de reducción de variabilidad.	25
<b>TABLA 3</b>	Resumen de la utilización del control avanzado en un periodo de 4 meses.	26
<b>TABLA 4</b>	Datos estadísticos del control de presión del sistema ACE en on/off para la batería BHC CS 1011.	27
<b>TABLA 5</b>	Datos estadísticos del control de presión del sistema ACE en on/off para la batería BHC CS 1014.	28
<b>TABLA 6</b>	Resumen de la recuperación global de la planta.	29
<b>TABLA 7</b>	Plan tentativo puesta en marcha ACE molienda secundaria Línea 1.	31
<b>TABLA 8</b>	Plan tentativo puesta en marcha ACE molienda secundaria Línea 2.	31

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

		<b>Página</b>
<b>GRÁFICO 1</b>	Utilización de las líneas de molienda periodo 2010 -2014.	11
<b>GRÁFICO 2</b>	Control de presión de la batería BHC CS 1011.	27
<b>GRÁFICO 3</b>	Control de presión de la batería BHC CS 1014.	28

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES</b>	<b>3</b>
<b>3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y JUSTIFICACIÓN</b>	<b>5</b>
<b>4. OBJETIVOS</b>	<b>6</b>
<b>5. METODOLOGÍA</b>	<b>7</b>
<b>6. ESTUDIO DE CASO: “OPTIMIZACIÓN DE LA MOLIENDA SAG LÍNEA 3, POR MEDIO DE UN SISTEMA DE CONTROL AVANZADO”</b>	<b>9</b>
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>35</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>37</b>



# 1. INTRODUCCIÓN

Los mayores desafíos para la industria minera son: mantener la productividad y al mismo tiempo ser competitiva, este escenario se vuelve aún más complejo debido a las actuales condiciones de mercado y precio de los metales. Para lograr mayor productividad, es primordial buscar la optimización de los procesos y así poder garantizar el cumplimiento de las metas mediante un adecuado control de las variables de operación, esto permite llevar a los procesos a su máxima capacidad de operación.

El gran cambio nace por la necesidad de estabilizar las operaciones de la minera.

Según Heráclito el cambio es la única constante, lo que era cierto hace más de 2000 años, es muy cierto hoy en día. Las nuevas iniciativas, el trabajo basado en proyectos, mejoras en la tecnología, son claros ejemplos de las situaciones que impulsan los cambios.

Ya sea, si estamos considerando un pequeño cambio en uno o dos procesos o si se desea realizar un gran cambio organizacional en toda la empresa.

Como factor de cambio, el uso de las diversas tecnologías en el procesamiento de minerales y la capacidad de utilizarlas con idoneidad, es la base de la ventaja comparativa para que las empresas mineras puedan optimizar los procesos de recuperación de minerales, con satisfactorios márgenes de productividad en todos y cada uno de los procesos que comprenden las operaciones de beneficio en las plantas metalúrgicas.

En este trabajo se analiza cómo caso de estudio a Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi S.M.C. (CMDIC), la cual desde el año 2013 se ve enfrentada a un gran cambio, que está focalizado en la estandarización de los procesos y tiene como objetivo fundamental mejorar la productividad de la compañía.

La estandarización de los procesos en CMDIC abarca a toda la compañía sin excepción. Dentro de la cadena del valor se encuentra el proceso de reducción de tamaño, denominada área de molienda, ubicada en la planta concentradora en Ujina; cuyo objetivo principal es procesar el mineral proveniente desde el área mina, mediante los equipos de molienda llamados molinos SAG y molinos secundarios.

En particular, la planta concentradora posee tres líneas de molienda SAG, las cuales se han convertido en una limitante en la operación por ende en la maximización de producto final, por lo que la estandarización, optimización de estas líneas de operación toma un rol relevante para el cumplimiento de las metas de producción establecidas con el accionista, el cumplimiento de la promesa de valor de la compañía.

Para alcanzar la optimización de las líneas de molienda SAG y molienda secundaria, se identifican los siguientes pasos a seguir:

- ❖ Estabilizar la operación de los molinos.
- ❖ Optimizar la operación y buscar mayor productividad.
- ❖ Buscar el crecimiento de la compañía.

John Kotter indica, que todos los cambios que no son acompañados de una visión poderosa y una red de sponsor, que crean en esta visión están destinados al fracaso.

Basándose en lo anterior, la vicepresidencia de procesos se propone el desafío de mejorar las líneas de producción. Con el fin de apoyar el proceso, se realiza un análisis de detección de los principales problemas de las líneas de molienda, en conjunto se desarrolla un programa de comunicación a los grupos de trabajo, para que aporten con ideas que mejoren los procesos, como a su vez se generan programas de capacitación para entender cómo se operan estos procesos y así poder asimilar los cambios propuestos de manera más efectiva.

La presente tesis tiene por finalidad establecer estrategias de mejoras de productividad, específicamente en el proceso de molienda en la planta concentradora de Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi. Para identificarlas es que se realiza un análisis utilizando la herramienta de gestión de cambio de los ocho pasos definidos por John Kotter, que permiten alcanzar la transformación de una organización o de un proceso para que estos sean exitosos.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM (CMDIC) es una empresa productora de concentrados de cobre y concentrados de molibdeno, cuya operación se basa en la explotación a rajo abierto de tres depósitos de minerales ubicados en la zona altiplánica del extremo norte de Chile.

Sus instalaciones industriales y sus yacimientos Rosario, Ujina y Huinquintipa están ubicados en la comuna de Pica, a 185 km al sureste de la ciudad de Iquique, a una altitud promedio de 4.400 metros sobre el nivel del mar. Es lo que se denomina “área cordillera”. En Ujina se ubica la planta concentradora, desde donde nacen dos mineroductos que se extienden a lo largo de 203 km hasta las instalaciones de filtrado y embarque de la compañía, situadas en Punta Patache, a unos 65 km al sur de Iquique, cuya labor es trasladar el concentrado de cobre. En este lugar, denominado “área puerto”, se ubica también la planta de molibdeno y el terminal portuario donde se embarcan los productos procesados con destino a los mercados internacionales.

Compañía Doña Inés de Collahuasi, es parte de una sociedad contractual minera, que está integrada por el grupo de accionistas: Anglo American plc (44%), Glencore (44%) y Japan Collahuasi Resources B.V. (12%), las que están representadas en su Directorio.

La visión de Collahuasi se enmarca dentro de la estrategia global definida para el quinquenio 2015-2019, cuyo foco es el desarrollo sustentable de la Compañía.

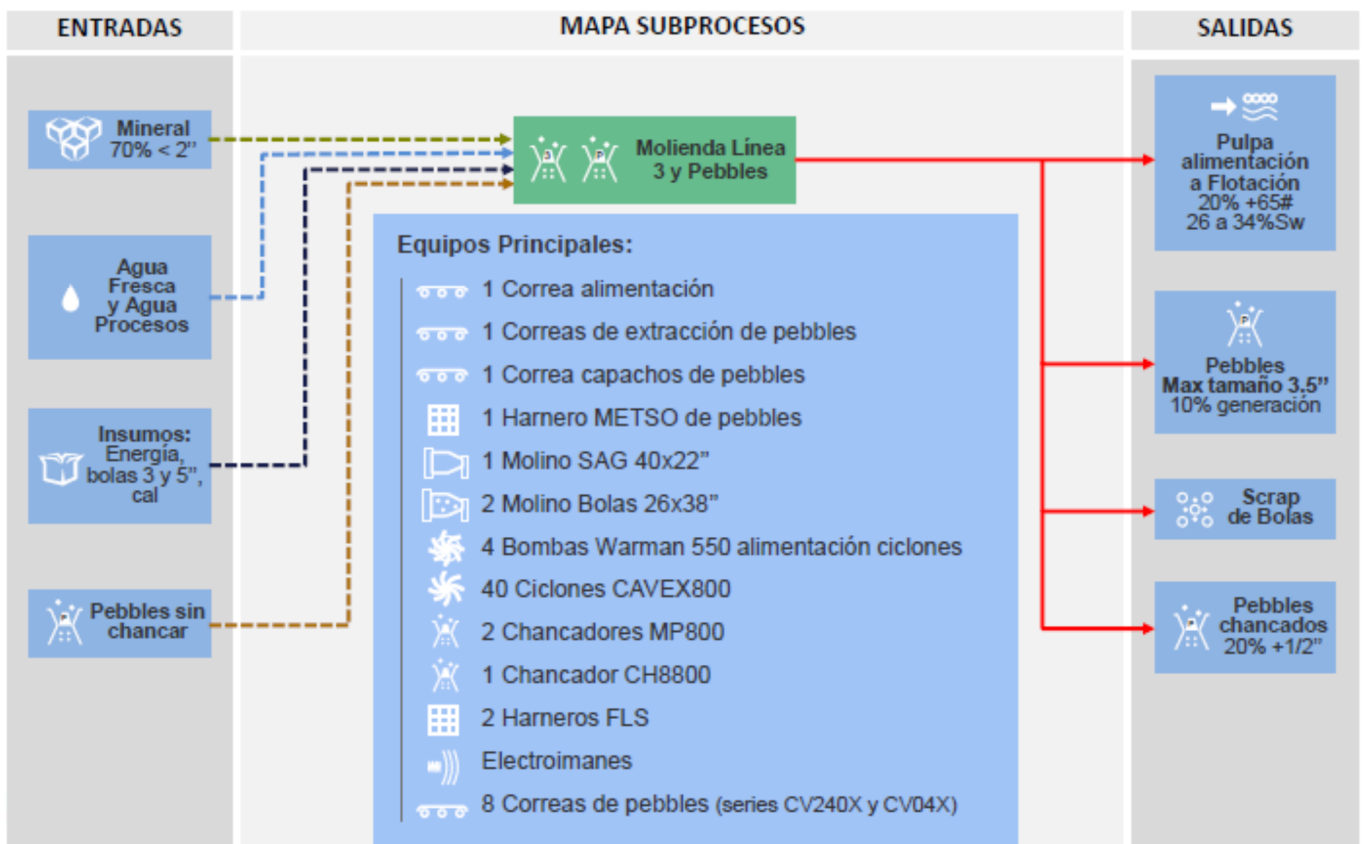
Como organización el propósito establecido es, “*Porque somos mucho más que cobre, lideramos con pasión un negocio de excelencia, para construir una sociedad mejor*”. Este propósito se sustenta por los seis valores que la compañía ha establecido: seguridad, respeto, honestidad, pasión, reconocimiento y responsabilidad.

## 2.2. ANTECEDENTES DEL PROCESO DE MOLIENDA

A continuación, se presenta una breve descripción del proceso productivo de molienda. Proceso en el cual se estudia la aplicabilidad de la herramienta de gestión de cambio propuesta por John Kotter y así responder a la propuesta presentada por la vicepresidencia de procesos.

La línea de molienda principal de la planta concentradora está conformada por un molino SAG de 40x22' y dos molinos de bolas de 26x38'. En los molinos de bolas es donde se implementa un sistema de control avanzado que debe cumplir con el objetivo de optimizar el proceso de molienda.

Esto se detalla en la ilustración 1, donde se muestra el mapa de subproceso de la línea de molienda N°3, con sus respectivas entradas y salidas. Además se indica cuáles son los equipos principales para que esta línea de producción opere.



**Ilustración 1.** Detalla el proceso de la línea 3 de molienda.  
**Fuente:** Presentación de la compañía cierre año 2014.

### **3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y JUSTIFICACIÓN**

Actualmente todas las compañías tratan de convertirse significativamente en mejores competidores. Los esfuerzos se desarrollan bajo diferentes estándares como la gestión de calidad total, reingeniería, reestructuración, cambio cultural. Pero casi en todos los casos, la meta básica es la misma: hacer cambios fundamentales en el cómo se conduce una organización para ayudar a enfrentar un ambiente o escenario económico nuevo y cada vez más desafiante, como es el que vive hoy el mercado del cobre.

Este proyecto se focaliza en establecer estrategias de mejoras de productividad, que cumplan con el desafío propuesto por la vicepresidencia de procesos de la compañía, específicamente en el proceso de molienda en la planta concentradora de Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi.

Por lo tanto la importancia de este punto de vista, está dado en identificar las mejores estrategias para CMDIC, utilizando la herramienta de gestión de cambio de los ocho pasos definidos por John Kotter, que permiten alcanzar la transformación de una organización o de un proceso para que estos sean exitosos.

En este trabajo se busca cumplir con la estrategia de la compañía y demostrar la aplicabilidad de la metodología propuesta es que se utiliza el caso de "Optimización de la Molienda SAG línea 3, por medio de un sistema de control avanzado".

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

Establecer estrategias de mejoras de productividad, específicamente en el proceso de molienda en la planta concentradora de Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi. Estas se identifican utilizando la herramienta de gestión de cambio de los ocho pasos definidos por John Kotter, que permiten alcanzar la transformación de una organización o de un proceso para que estos sean exitosos y que cumplan con el desafío propuesto por la vicepresidencia de procesos de la compañía.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

El objetivo principal es apoyado por los siguientes objetivos específicos:

- ❖ Desarrollo de una estrategia de trabajo que incluya a todos los actores relevantes de un proceso para alcanzar los cambios esperados.
- ❖ Validación mediante la metodología de los ocho pasos definidos por Kotter, que se estudia a través de la implementación de un proyecto operacional “Optimización de la Molienda SAG línea 3, por medio de un sistema de control avanzado”.
- ❖ Evaluación de resultados y generación de proceso de aprendizaje adquirido en la aplicación de la transformación del proceso de molienda.

## 5. METODOLOGÍA

Dr. John Paul Kotter, profesor emérito de la Universidad de Harvard en la escuela de negocios, quien ha logrado definir a través de sus amplias investigaciones cuales son las mejores prácticas para generar un cambio exitoso.

Kotter, define que independiente del tipo de compañía que sea, estas intentan convertirse significativamente en mejores competidores.

En la literatura, la lección más significativa que J. Kotter propone es aprender de los casos más exitosos, que el proceso de cambio siempre atraviesa por una serie de fases, que en total requieren de un intervalo considerable de tiempo. El saltarse pasos sólo crea una ilusión de ir más rápido y nunca produce resultados satisfactorios. Una segunda lección, es que errores críticos en cualquiera de las fases tienen un efecto devastador, desacelerando el ímpetu y anulando logros que por lo general han costado mucho conseguir.

El modelo de John Kotter se describe en ocho pasos, que son definidos para la transformación de una organización o de un proceso para alcanzar el éxito, los cuales se detallan a continuación y son aplicados en este estudio:

- 5.1. Establecer un sentido de urgencia:** las organizaciones que saben manejar el cambio productivamente crean un sentido de urgencia entre la gente más importante. Demuestran que hay una gran necesidad de cambio y motivan a la gente a asumirlo en vez de contentarse con el statu quo.
- 5.2. Crear una coalición de liderazgo:** cualquier cambio necesitará de liderazgo. Dicho liderazgo debe ser ejercido por una mezcla de gente con las habilidades necesarias, conexiones y autoridad. Mientras más fuerte sea este equipo, el cambio se dará con mayor facilidad.
- 5.3. Desarrollar tanto una visión como una estrategia:** con el fin de promover el cambio, el equipo debe articular una visión de cómo será la compañía al final del proceso de cambio. Asimismo, debe desarrollar un conjunto de estrategias para llevar a cabo la visión.
- 5.4. Comunicar la visión:** no se trata sólo de explicar la visión y las estrategias sino de hacer entender el cambio en toda la organización. En este sentido, los hechos son más importantes que las palabras. Los procesos de cambio más exitosos suponen una comunicación directa y repetida sobre los logros alcanzados.
- 5.5. Propiciar que los empleados actúen:** la prioridad es darle suficiente autoridad a la gente como para remover los obstáculos que puedan surgir.

Asimismo, es importante contar con sistemas de información y otros recursos necesarios para actuar en forma distinta en el futuro.

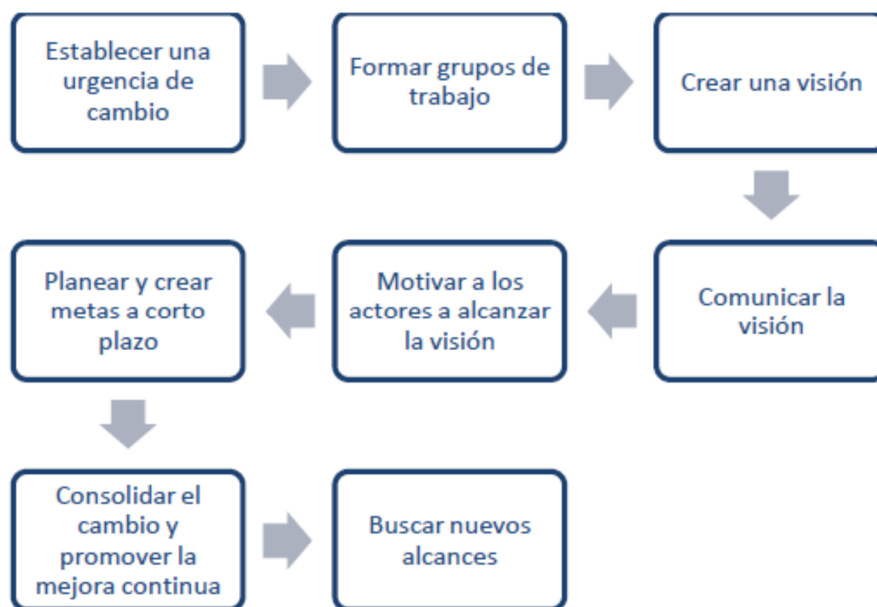
**5.6. Obtener victorias a corto plazo:** esto proveerá credibilidad y validará los cambios. Mientras más exitosos sean los proyectos de cambio a corto plazo, mayor será el impulso que ganará el proyecto de cambio en general, y mayor será el entusiasmo de la gente involucrada con el mismo.

**5.7. Consolidar las ganancias para ganar impulso:** los líderes no deben relajarse después de algunos éxitos. Es importante obtener beneficios constantemente. Esto permitirá que los recursos, la atención y la energía continúen siendo aplicados a largo plazo.

**5.8. Anclar los cambios en la cultura:** los buenos procesos de cambio marcan diferencias permanentes. Con el tiempo, la gente empezará a actuar de una manera proactiva con el programa de cambios.

Lo central en los ocho pasos anteriores, es cambiar el modo de actuar de las personas. Para tal fin, lo mejor es alterar las emociones. Cuando la gente dentro de una organización se siente diferente, está más dispuesta a actuar diferente. Así pues, la clave para implementar cambios es modificar lo que la gente siente, para propiciar nuevos comportamientos en el futuro.

La ilustración 2 se presenta como resumen de los ocho pasos del modelo de Kotter, con el fin de esquematizar dicha secuencia.



**Ilustración 2.** Secuencia de los 8 pasos de Kotter.  
**Fuente:** Tesis de Luis Torres, 2012



## 6. ESTUDIO DE CASO: “OPTIMIZACIÓN DE LA MOLIENDA SAG LÍNEA 3, POR MEDIO DE UN SISTEMA DE CONTROL AVANZADO”.

Con el fin validar mediante la metodología de los ocho pasos definidos por Kotter, es que se estudia a través de la implementación de un proyecto operacional “Optimización de la Molienda SAG línea 3, por medio de un sistema de control avanzado”.

### A. APLICABILIDAD DE METODOLOGIA CASO DE ESTUDIO

#### 6.1. ESTABLECER UN SENTIDO DE URGENCIA

##### 6.1.1. Análisis de la situación de minera Collahuasi.

Minera Collahuasi es una empresa productora de Concentrado de cobre y molibdeno con dos yacimientos denominados Ujina y Rosario ubicada a 4.400 [m] sobre el nivel del mar, en la cordillera de los Andes, comuna de Pica, región de Tarapacá, en el norte de Chile.

En el año 2013, Collahuasi comienza un plan para el mejoramiento de sus operaciones, el cual se basa en tres etapas:

- ❖ Estabilización.
- ❖ Optimización.
- ❖ Crecimiento.

En la ilustración 3, se ejemplifica el proceso de crecimiento de CMDIC que debe conocer la organización.

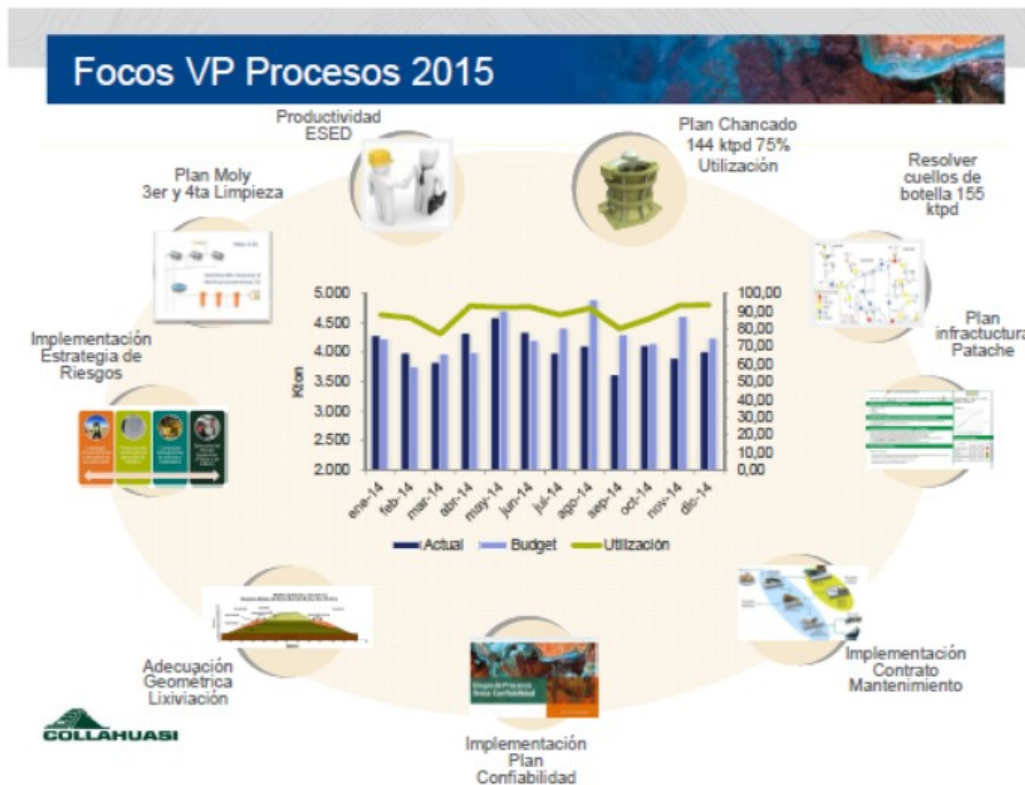


**Ilustración 3.** Proceso de crecimiento de Collahuasi.  
**Fuente:** Presentación compañía CMDIC, 2015.

Collahuasi se encuentra actualmente en la etapa de optimización, en la que se decide como compañía realizar un análisis de las potenciales amenazas que afectan a los procesos y en del desarrollo de escenarios que nos indiquen que ocurrirá en el futuro.

Se comienza a examinar las oportunidades de mejora que deben ser explotadas, una de estas oportunidades, es buscar la continuidad de marcha de las líneas de molienda para lograr el tratamiento de 155Ktpd, ya que, la planta concentradora no ha logrado la estabilidad en la operación de los molinos. Esta inestabilidad generó un efecto negativo en toda la compañía porque no se lograba maximizar las operaciones de la mina y las de puerto. La estabilidad operacional de las líneas de molienda fue identificada como un foco de la Vicepresidencia de procesos que afecta la cadena de valor de la compañía.

En la ilustración 4 se presenta los focos estratégicos de la vicepresidencia de procesos de CMDIC.

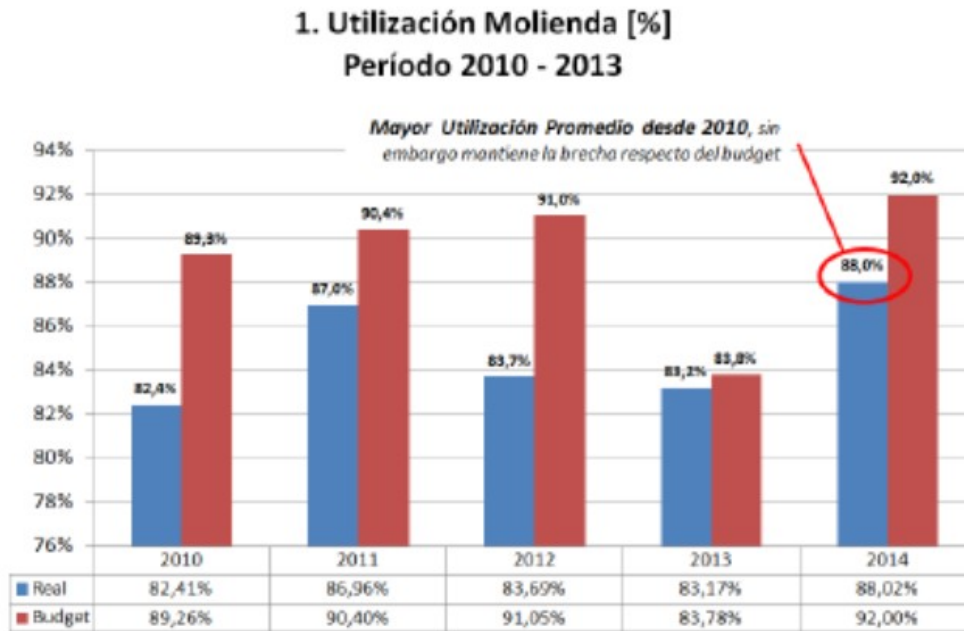


**Ilustración 4.** Focos estratégicos de la vicepresidencia de procesos.

**Fuente:** Presentación compañía CMDIC, 2015.

Cuando se detecta que el principal problema se encuentra en el área de molienda, se establece la necesidad de generar un cambio en el proceso y se

realiza un análisis de la utilización de la molienda. A continuación se muestra en él un gráfico 1 la utilización de la molienda desde el año 2010 al 2014.



**Gráfico 1:** Utilización de las líneas de molienda periodo 2010 -2014.  
**Fuente:** Presentación compañía CMDIC, 2014.

### 6.1.2. Aumentar el sentido de urgencia.

Cuando se identifica el problema y se establece el sentido de urgencia se debe contar con datos que muestren a toda la organización la realidad actual del proceso y que produzcan la sensibilización para entender el cambio. Para lograr resultados se debe trabajar con todas las áreas involucradas y a la vez se recomienda solicitar el apoyo de expertos de la industria para poder alcanzar el cambio esperado.

Sobre la base de la estrategia de la compañía de estabilizar y optimizar sus procesos, se establece como uno de los focos principales de la superintendencia de operaciones (SOP) y de la superintendencia de automatización, instrumentación y control (SAIC), la necesidad de proporcionar herramientas de control avanzado para los procesos críticos de la vicepresidencia de proceso, las cuales tienen como finalidad mejorar la estabilización de los procesos, optimizar las variables relevantes y estandarizar los métodos de operación. Bajo dicha premisa se lleva a cabo la implementación del sistema ACE (Andritz control expert) para el control experto de la molienda secundaria de la Línea 3 (“ACE molino de bolas L3”), cuya evaluación de desempeño es analizado en el presente documento.

El proyecto de implementación de un sistema de control avanzado en la molienda secundaria se necesita de la ejecución de varias difusiones para que fuera asimilado por los distintos actores de la organización.

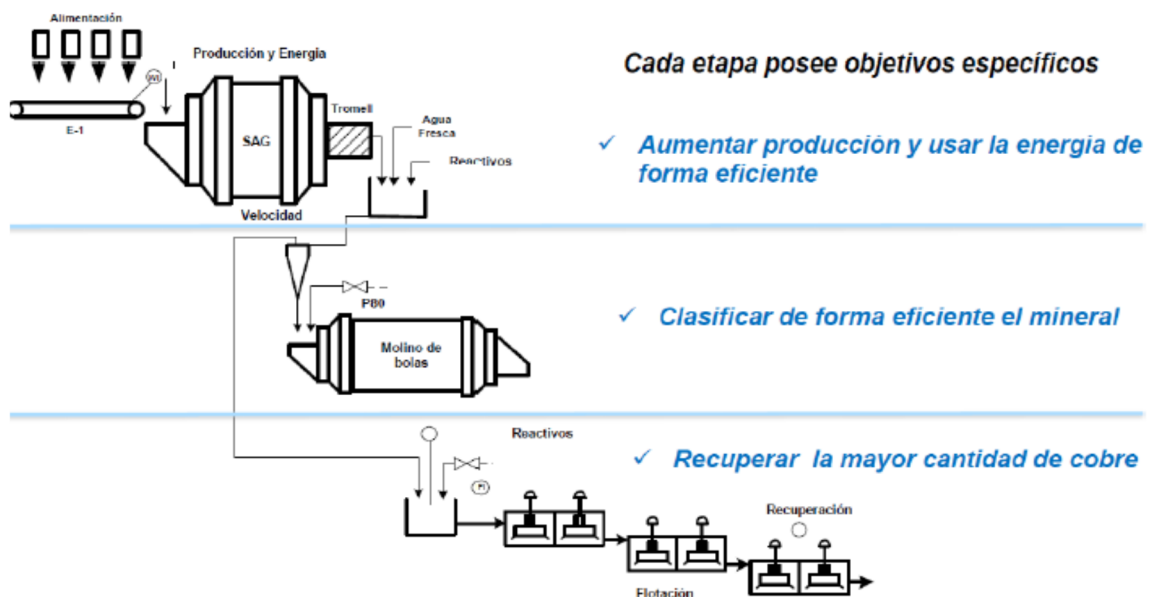
Se establecen las difusiones específicas para entender el sentido de urgencia del proyecto, las cuales son:

- I. Presentación de los objetivos.
- II. Definición del equipo de trabajo.
- III. Cómo afectará al proceso
- IV. Pruebas que se realizarán mientras se ejecuta el proyecto.
- V. Plan de entrenamiento.
- VI. Etapas del proyecto.
- VII. Programa de comunicación de resultados.

Se realiza un análisis para evaluar si los sistemas de control que existen cumplen a cabalidad la función de optimizar y controlar los procesos de molienda.

El objetivo principal del proyecto es utilizar las aplicaciones de control avanzado (APC) desarrolladas para estabilizar la densidad de alimentación y la presión hacia las BHC (baterías de hidrociclones) con el fin de controlar la distribución del tamaño de partículas y maximizar la tasa de mineral procesado.

Los desafíos propuestos esquemáticamente se detallan en la ilustración 5, donde se muestra por cada etapa de la línea de molienda el objetivo específico a alcanzar, para que en conjunto se logre optimizar la línea de producción.



**Ilustración 5.** Etapas de la línea de molienda con sus respectivos objetivos específico para lograr optimizar.

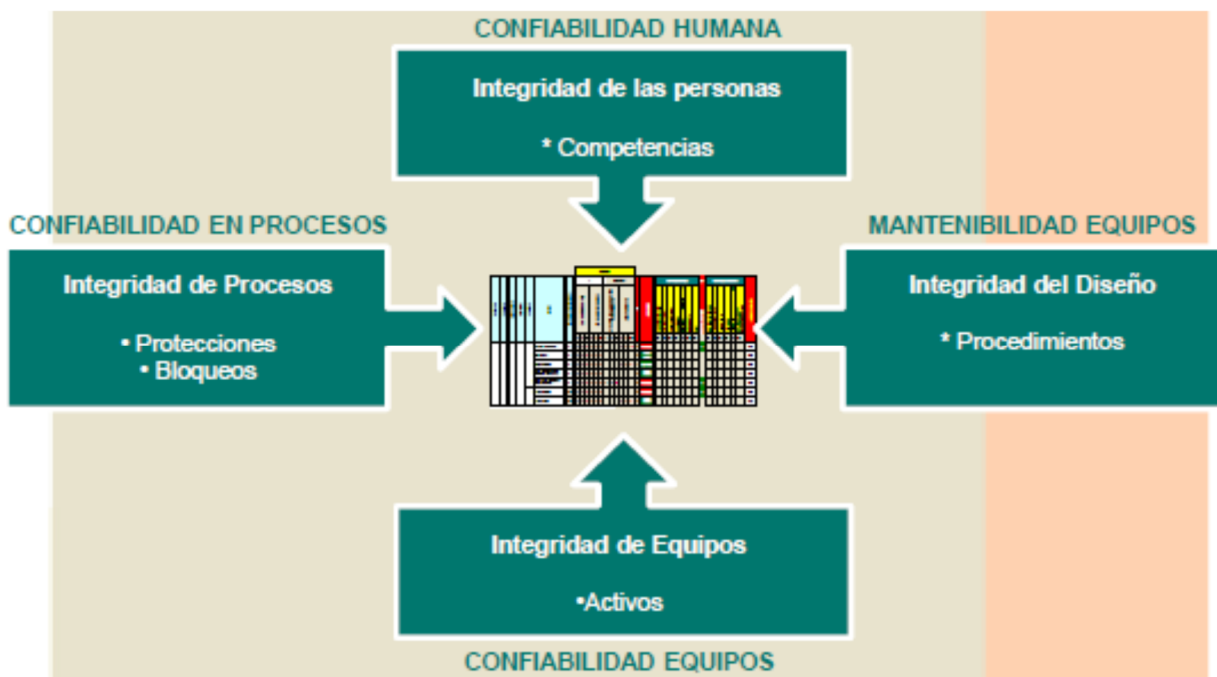
**Fuente:** Presentación de CMDIC, 2015.

## 6.2. CREAR UNA COALICIÓN DE LIDERAZGO

Convencer a los integrantes de un proceso productivo de que el cambio es necesario. Por lo general, implica un fuerte liderazgo y soporte por parte de gente clave dentro de la organización; gestionar el cambio no es suficiente. También debe ser liderado y debe contar con líderes que generen el cambio al interior de la empresa. Para liderar el cambio, se debe reunir a un equipo de personas influyentes cuyo poder proviene de una variedad de fuentes incluyendo los puestos que ocupan, status y experiencia.

Deben tener las habilidades necesarias, conexiones y autoridad. Mientras más fuerte sea el equipo, el cambio se dará con mayor facilidad.

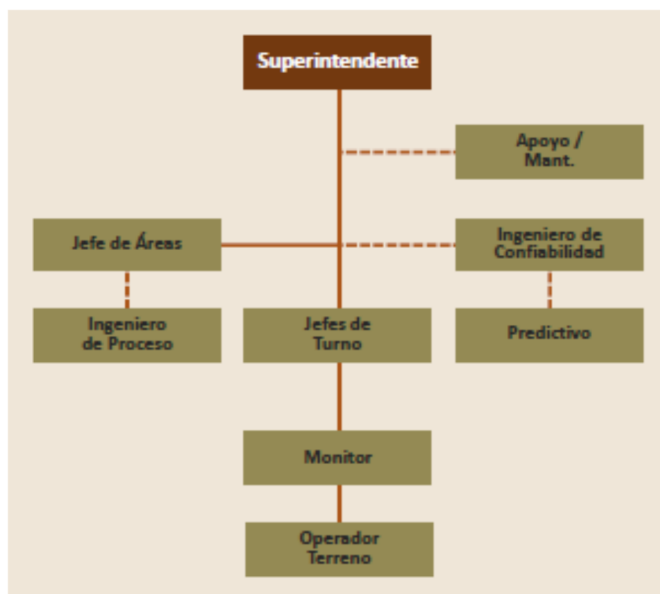
Para lograr éxito en el proyecto de optimización del proceso de molienda, se forma un equipo de trabajo compuesto por profesionales de distintas áreas de la vicepresidencia de procesos. La selección de los integrantes se realiza teniendo como base la estrategia de confiabilidad de CMDIC, la cual comprende: personas, procesos y equipos, como lo muestra la ilustración 6.



**Ilustración 6:** Estrategia de confiabilidad de la vicepresidencia de procesos.

**Fuente:** Presentación de CMDIC, 2014.

La estructura funcional del equipo es liderada por un ejecutivo de la compañía y por ingenieros de distintas especialidades como también por operadores. Como lo muestra en la ilustración 7 que detalla el organigrama para este caso.



**Ilustración 7:** Esquema organizacional para apoyar al proceso.

**Fuente:** Presentación de CMDIC, 2016.

Por lo anterior, se hace un análisis de todos los actores impactados tomando en consideración las siguientes variables:

#### **Segmento:**

1. *Individual* (Persona no reemplazable ejemplo: Ejecutivo).
2. *Técnico* (Grupo de personas que están siendo impactadas por las soluciones técnicas).
3. *General* (Grupos que no son impactados directamente por el proyecto, pero son parte de los grupos de interés).

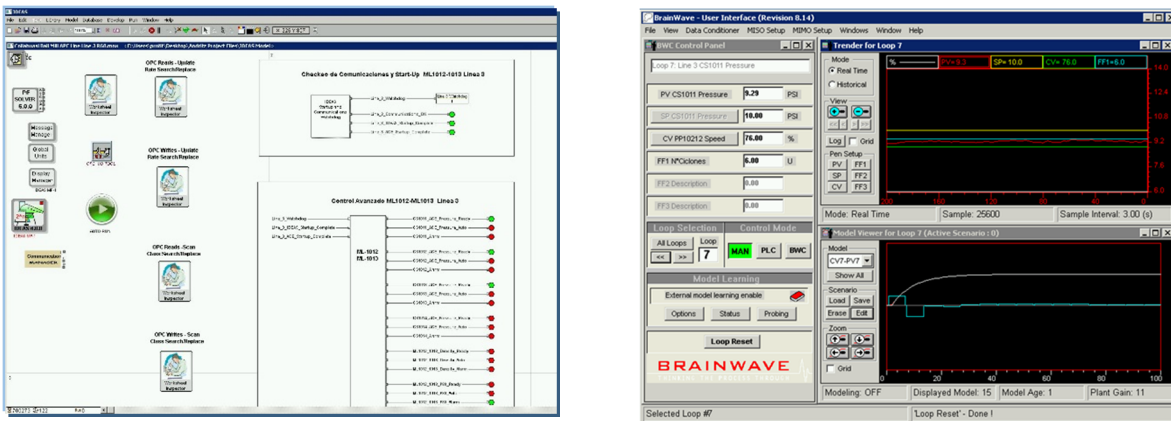
#### **Tipo:**

1. *Sponsor* (Ejecutivo que brinda apoyo a la iniciativa). En este proyecto el vicepresidente de procesos cumple este rol.
2. *Agente de cambio* (Persona que apoya el cambio y que muestra la realidad del cambio a las operaciones y cuenta con información temprana de cada una de las etapas del proyecto). Los agentes de cambio son los superintendentes de operaciones y de automatización y control.
3. *Usuario final* (Persona impactada por el cambio y que debe ser considerada en todos los procesos de recolección de información

para preparar el cambio). Ingenieros de sala de control y del área ingeniería de automatización y control.

El principal trabajo del equipo, se basa en optimizar el proceso con los sistemas de control avanzado los cuales están conformados por dos softwares, tales son y se muestran en la ilustración 8 :

- ❖ **BrainWave:** Es un controlador predictivo basado en un modelo matemático (MPC).
- ❖ **IDEAS:** Es una plataforma de control experto, que permite programar reglas, condiciones, alarmas y mensajes.



**Ilustración 8.** Esquemas representativos de los sistemas de control  
**Fuente:** Aplicaciones instaladas en computadores CMDIC, 2015.

Los agentes de cambio trabajan directamente en los sistemas de control. El sistema de control ACE está compuesto por el software; IDEAS y BrainWave. En IDEAS se realiza el acondicionamiento de señales, la gestión de alarmas y el control experto de apertura/cierre de válvulas de ciclones en función de nivel del cajón. A la vez este, se comunica con el software BrainWave (Onda cerebral) el cual actúa como un controlador predictivo basado en modelos matemáticos cuya principal ventaja, es que posee ecuaciones matemáticas que caracterizan el comportamiento dinámico de las baterías. Por ejemplo, ACE presión y nivel, considera modelos matemáticos que relacionan velocidad de la bomba versus la presión y además caracteriza los retardos existentes entre ambos. Otra ventaja del sistema de control predictivo es que considera perturbaciones medidas como señales pre - alimentadas. Por ejemplo, la apertura y cierre de ciclones. Esta capacidad permite que el control no actúe de forma reactiva como los PID convencionales, asegurando una disminución de la variabilidad de los parámetros a controlar.

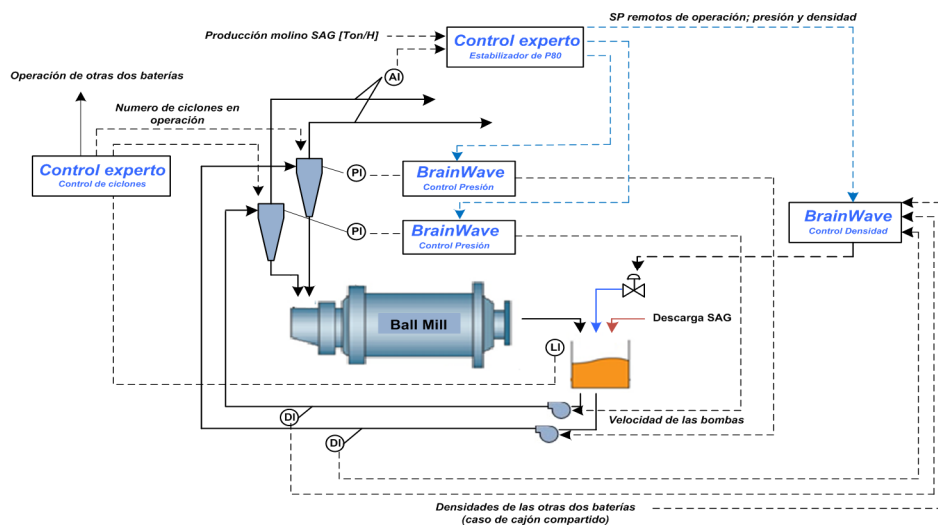
La estrategia del sistema ACE se basa en:

- Control de presión para cada una de las baterías de ciclones, mediante la manipulación de velocidad de las bombas y de la apertura/cierre de ciclones como perturbación medida.
- Control de nivel del cajón distribuidor 141-SU-1021, mediante cambios de set point interno de presión, sólido y de la apertura/cierre de ciclones para condiciones extremas.
- Control de sólidos en promedio para la línea 3, mediante la adición de 2 flujos de agua al cajón distribuidor (141-HV-11821 y 141-HV-11823).
- Control de tamaño de partícula malla +65, mediante la manipulación de los set point de presión para cada batería y el set point de sólidos global de la línea 3 de molienda.

La filosofía de control está basada en la estabilización del sistema de control regulatorio, que permite una mejora en la controlabilidad del sistema/proceso. Para que reglas de control experto u otro sistema optimizador pueda mejorar un determinado índice objetivo.

ACE molienda secundaria, tiene como objetivo mejorar la estabilidad del tamaño de partículas en la malla +65 (P80), a través de un correcto control de la presión y densidad de pulpa en las baterías de ciclones, cambiando el típico esquema de control de nivel en el cajón distribuidor por una estrategia que privilegia la clasificación.

Lo anterior se muestra esquemáticamente en la ilustración 9.



**Ilustración 9:** Esquema del sistema de control de la molienda secundaria.

**Fuente:** Presentación de CMDIC, 2016.



### 6.3. CREAR UNA VISIÓN PARA EL CAMBIO

Una visión poderosa de un proceso de cambio debe tener como objetivo la visión de la organización y debe ser el camino que se debe seguir para lograr los resultados específicos del proceso, ya que, estos son parte de los resultados generales de la compañía.

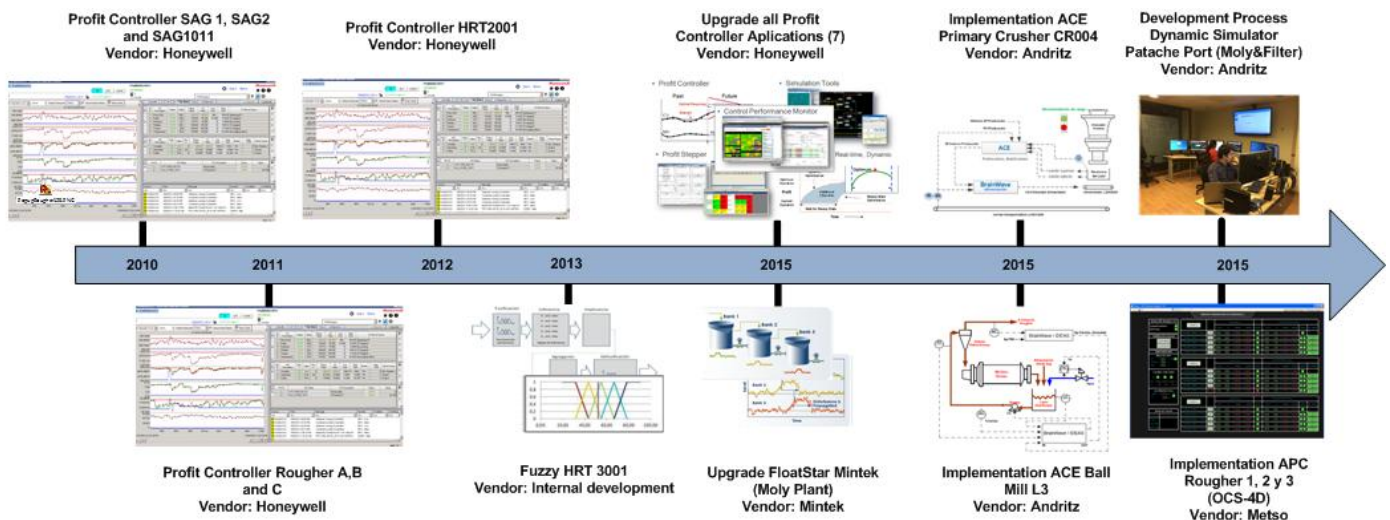
Uno de los principales focos de Minera Collahuasi es lograr el tratamiento de 155Ktpd y para poder lograrlo se trabajó con otros focos comunes que apalancaron la continuidad de marcha de las líneas de molienda, como son: seguridad, desarrollo y sentido de pertenencia.

Para poder cumplir se consideran los siguientes puntos:

1. Estar alineados con la estrategia de la compañía.
2. Ver resultados a mediano y largo plazo.
3. Mostrar los beneficios del cambio en el proceso.

Cualquier cambio en una organización o en un proceso necesita contar con un equipo que sea el responsable de la implementación y de la comunicación a la organización, para que el cambio se entienda y sea exitoso.

Como la optimización de los procesos es la base para estabilizar la compañía, a continuación en la ilustración 10, se detalla la secuencia de la implementación de los sistemas de control en CMDIC.



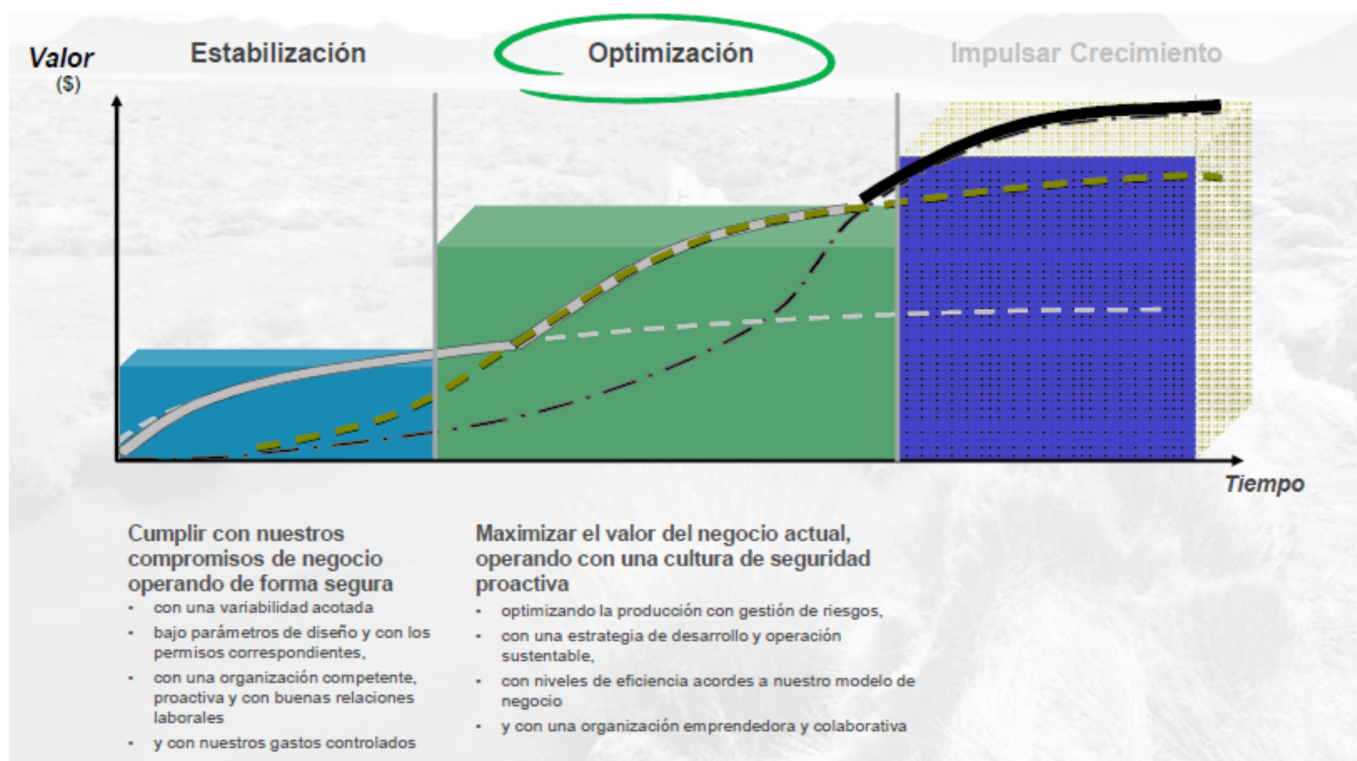
**Ilustración 10:** Secuencia cronológica de implementación de los sistemas de control 2010-2015. **Fuente:** Presentación CMDIC, 2015.

## 6.4. COMUNICACIÓN DEL CAMBIO

La estructura organizacional de minera Collahuasi es liderada por el CEO de la compañía. El CEO es el responsable de determinar la dirección estratégica de la minera y debe asegurarse de que se implemente a través de medidas funcionales. También tiene como objetivo la creación de la cultura de la organización.

Minera Collahuasi establece un plan estratégico, el cual contempla todos los aspectos técnicos, operativos, ambientales, etc. Dando los lineamientos mediante los cuales minera Collahuasi alcanzara los objetivos establecidos para lograr la estabilización, optimización y crecimiento de la compañía.

De manera simultánea se establece una estrategia de comunicación interna para que toda la organización se encuentre en conocimiento de los focos del negocio para que el plan estratégico de estabilización, optimización y crecimiento se convierta en “tarea de todos”. Esto se detalla en la ilustración 11.



**Ilustración 11.** Plan estratégico de estabilización de la minera.

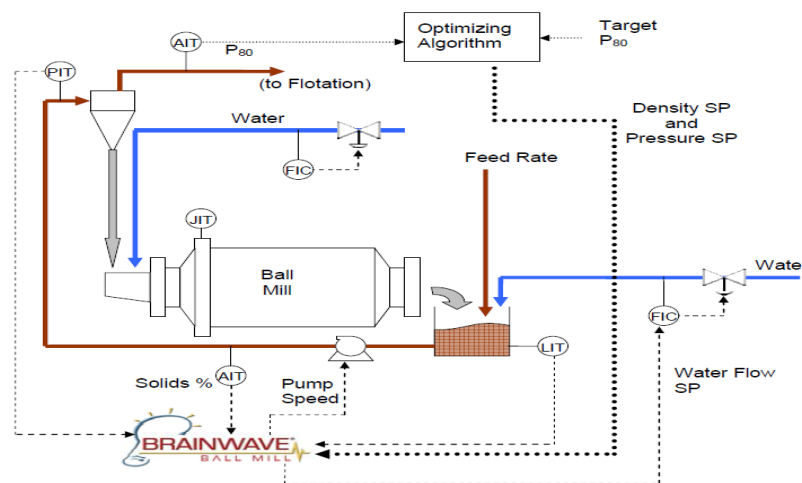
**Fuente:** Presentación de CMDIC, 2015.

La estrategia de la compañía se convierte en una poderosa guía para entender porque se deben optimizar los procesos productivos y nos entrega herramientas para comprender por qué se realizan cambios en los procesos.

Todo plan comunicacional debe transmitir los objetivos en un lenguaje sencillo y directo, cuando un proceso es sometido a una gestión del cambio deben estar muy bien definido el objetivo principal y los objetivos específicos. En el proyecto de optimización de la molienda secundaria los objetivos específicos son:

- ❖ Minimizar los contra-tiempos causados por los cambios en la producción.
- ❖ Controlar la densidad o porcentaje de sólidos enviados a las BHCs.
- ❖ Controlar la presión hacia las BHCs.
- ❖ Mantener el nivel de los sumideros de los molinos de bolas en un rango seguro.
- ❖ Proteger el nivel de sobre-carga de las bombas bajo molino para evitar afectar la disponibilidad de éstas.
- ❖ Controlar automáticamente el número de ciclones operando, para compensar los requerimientos operacionales, tanto del control de la presión de los ciclones, como el manejo del nivel de los sumideros de los molinos.
- ❖ Proporcionar una rotación de operación automática de ciclones para evitar que estos sufran un desgaste prematuro.

Lo anterior se difunde al personal que debe interactuar directamente en este cambio. En la ilustración 12 se muestra el esquema de control utilizado en molienda secundaria.



**Ilustración 12:** Esquema de los puntos de control en la molienda secundaria.

**Fuente:** Presentación de CMDIC, 2015.

## 6.5. ELIMINE LOS OBSTACULOS

Cuando se decide realizar el proyecto de optimización de los sistemas de control de la molienda secundaria, se encuentran grupos pertenecientes a las áreas de la vicepresidencia de procesos que presentaron resistencia al cambio. Se identifica como un grupo resistente al cambio, al área de mantenimiento mecánica de la planta concentradora, principalmente por el trabajo adicional que necesita el proyecto. El trabajo adicional consiste en la mantención de las baterías de ciclones. La tarea solicitada es dejar todos los ciclones operativos. Otro grupo que presenta resistencia al cambio son los grupos de operaciones específicamente los ingenieros y controladores de la sala de control.

La estrategia que se utiliza con el equipo de mantención mecánica es explicar el propósito del proyecto y como este proyecto se alinea con la estrategia de la compañía; de estabilizar y optimizar sus procesos productivos. Una vez explicada la estrategia, se realiza un plan de mantención de equipos con el objetivo de lograr tener todos los equipos disponibles al momento de realizar las pruebas del sistema de control ACE de optimización de la molienda secundaria.

El plan contemplado se lleva a cabo con las mejoras mencionadas anteriormente, el cual se presenta a continuación en la tabla 1.

**Tabla 1:** Plan de mantención de equipos de la línea 3 de molienda.

	Actividad	Responsable	dic-15				ene-16			
			Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4
1	Presentación de propuesta mejoras control de sólidos	F. Gómez								
2	Implementación de mejoras en forma remota	F. Gómez								
3	Cambio de chute alimentación ML1013	C. Muñoz								
4	Carga de mejoras ACE durante MML3	F. Gómez								
5	Seguimiento y soporte remoto	F. Gómez								

Dados los buenos resultados que se han obtienen con la aplicación ACE de la Línea 3, es que se decide replicar a la brevedad este desarrollo para el control de la molienda secundaria de las Líneas 1 y 2.

Actualmente, existe un avance considerable para lograr el objetivo anteriormente mencionado, pues a nivel de software las aplicaciones se encuentran casi totalmente implementadas, quedando pendiente sólo algunas verificaciones menores en el DCS.

Existen aún temas pendientes a nivel de instrumentación que se deben abordar previamente a la puesta en servicio del sistema. Para ello se elabora un plan de acción en conjunto con los responsables de dichos pendientes.

Otra parte importante es la capacitación de los grupos de producción específicamente los ingenieros de sala y los controladores de procesos de la compañía.

La capacitación se realiza en el CEIM centro de entrenamiento industrial minero perteneciente a la fundación educacional escondida. En la capacitación se imparten cursos específicos para el grupo, que denominamos usuario final (Persona impactada por el cambio y que debe ser considerada en todos los procesos de recolección de información para preparar el cambio). Este grupo está compuesto por ingenieros y controladores de la sala de control de la planta concentradora, ambos cargos se consideran como cargos claves para dar continuidad operacional a la planta concentradora, su propósito está enfocado en disminuir las brechas de conocimiento en las operaciones en la sala de control para estabilizar y optimizar los procesos.

Se detalla a continuación del temario abordado en la capacitación, que le permite tener una visión acabada del cambio del cual son partícipe:

1. Introducción.
2. Instrumentación de procesos.
3. Control automático.
4. Sistema de control y comunicaciones.
5. Control financiero de la operación.
6. Sistema de control avanzado.
7. Manejo de emergencias y análisis de alarmas.
8. Simulación y evaluación.

A través del área de recursos humanos, específicamente el departamento de capacitación se establece el rol fundamental de la coordinación y desarrollo de los cursos. Como área externa a las áreas productivas, se logra entender el sentido de urgencia del proyecto y a partir de esto se eliminan las barreras de conocimiento de los sistemas de control en los grupos de producción.

En la ilustración 13, se muestra la creación del programa de capacitación del proyecto.



#### PROGRAMA DEL CURSO

### Curso: PROGRAMA DE CAPACITACIÓN A OPERADORES DE SALAS DE CONTROL

Duración: 8 a 16 Horas/Mes durante 6 a 8 meses al año

## 1. IDENTIFICACIÓN DE LA COMPETENCIA

De acuerdo a los requerimientos de cada cargo, la Gerencia de la Planta Concentradora ha detectado como cargo clave para dar continuidad operacional a la Planta Concentradora a los operadores de Sala de Control, cuyo propósito es disminuir las brechas de conocimiento en las operaciones en la Sala de Control.

### OBJETIVO DE LA COMPETENCIAS ASOCIADA

Se busca una mejor operación en Salas de control; que el personal pueda entender la información disponible, logrando una mayor comprensión de esta, y que pueda interpretar todas las variables que se manejan en las diferentes salas, de forma que logre tomar la mejor decisión para el proceso de producción.

El curso incluye simulaciones de eventos y operaciones en Planta Concentradora y considera evaluaciones post programa de capacitación, de forma que se evalúe y refuerce constantemente la capacidad del personal.

### CARGOS CLAVE

El curso está dirigido a personal clave de la Gerencia Concentradora que opera o tiene influencia dentro de las salas de control.

- 7 supervisores (jefes de turno)
- 4 ingenieros de control
- 16 operadores de sala: molienda, flotación, espesamiento y mineroducto.

### UNIDADES DE COMPETENCIA ASOCIADA

- Lógicas de Control de Procesos (instrumentación, control automático, control avanzado, simulaciones).
- Manejo de emergencias y análisis de alarmas.

## 2. LINEAMIENTOS GENERALES DEL PROGRAMA

### PROGRAMA PRELIMINAR

1. Introducción.
2. Instrumentación de procesos.
3. Control automático.
4. Sistema de control y comunicaciones.
5. Control financiero de la operación.
6. Sistema de control avanzado.
7. Manejo de emergencias y análisis de alarmas.
8. Simulación y evaluación.

**Ilustración 13:** Procedimiento para capacitar a los grupos de trabajo.

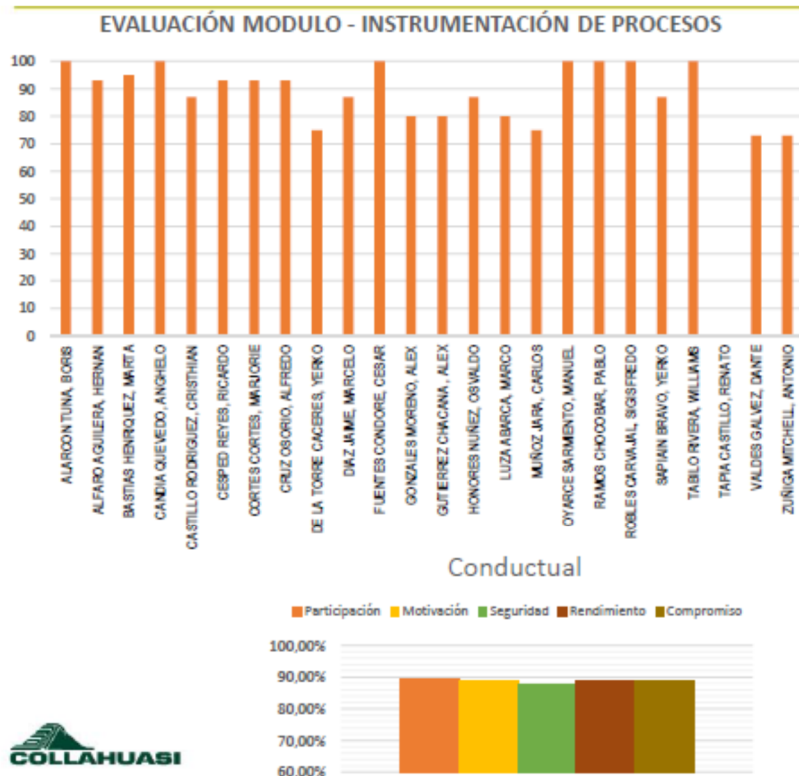
**Fuente:** Documentos internos de CMDIC, administrada por área de recursos humanos.

Específicamente, al difundir de este programa, se espera que el personal participante entienda cada módulo, para lograr una mayor comprensión de las materias de interés, consiguiendo interpretar todas las variables que se manejan en las diferentes salas de control, con el fin de poder tomar las mejores decisiones en el proceso de producción a través de la aplicación de controles avanzados en las áreas de molienda y flotación.

Como hitos principales del entrenamiento se logra:

- Tener personal capacitado para entender la filosofía del sistema de control avanzado.
- Contar con grupos de producción preparados para la puesta en marcha, la estabilización y optimización de la línea de molienda número 3 de la concentradora.
- Mantener coordinaciones permanentes con la empresa que nos colabora en la implementación del sistema de control avanzado.
- Aumentar el sentido de pertenencia y de logro de los operadores, al incluirlos desde el principio en el proyecto.
- Se detectan las competencias críticas que necesitan los grupos de producción para poder desarrollar un programa de capacitación de largo plazo que implique todas las áreas de la concentradora.

En la ilustración 14 se muestra el módulo de instrumentación de procesos, y el ranking de la evaluación de los participantes del curso.



Modulo que convocó la mayor cantidad de asistentes, respecto de la nomina oficial. Con doce participantes obteniendo sobre 90 puntos, como buena señal. Se aprecia que conductualmente, ningún aspecto superó el 90% en lo global. Siendo este el único modulo donde la seguridad fue evaluada por debajo de los otros parámetros.



**Ilustración 14:** Módulo de capacitación del programa.  
**Fuente:** Presentación post curso de capacitación CMDIC.

## 6.6. GENERACIÓN DE TRIUNFOS A CORTO

Es importante en todo proyecto de cambio mostrar resultados en la fase temprana del proyecto. Dentro de un breve periodo el proyecto de implementación de control avanzado se alcanzan resultados palpables y estos resultados se muestran a los grupos de trabajo y a la organización.

Se definen dos puntos relevantes:

1. Cumplimiento de los hitos o entregables del proyecto.
2. Aprendizaje de las nuevas prácticas en la fase temprana del proyecto, lo anterior busca la incorporación de los nuevos conocimientos al usuario final que en este caso son los grupos de producción.

Se define un mapa de hitos u objetivos que son visibles para la organización, relacionados con la aplicación de los sistemas de control avanzado, uno de estos hitos es:

- Controlar la presión hacia las BHCs.



Para lograr controlar la presión se realiza un análisis de las variables relevantes del sistema de control “ACE molino bolas L3” dentro de un periodo de 7 meses, de los cuales 3.5 meses corresponden al sistema en operación sin ACE (ACE molino bolas L3 = OFF; desde el 01-05-2015 al 17-08-2015) y 3.5 meses de activación de la aplicación (ACE molino bolas = ON; desde el 25-08-2015 al 30-11-2015).

El índice a evaluar es la reducción de variabilidad para la presión de las baterías de hidrociclones CS1011-CS1012-CS1013-CS1014, el sólido promedio de las cuatro baterías, la pendiente del perfil granulométrico, la recuperación de cut para la etapa rougher ABC y el P80 de laboratorio informado por metalurgia. El cálculo para cada caso estará dado por la siguiente expresión:

$$KPI = \frac{(Promedio Variable con ACE = OFF) - (Promedio Variable con ACE = ON)}{(Promedio Variable con ACE = OFF)}$$

En la tabla 2, se presenta un resumen con los resultados obtenidos posterior al análisis, al operar sin y con ACE:

**Tabla 2:** Presenta un análisis estadísticos de las variables de la presión de las BHCs, % sólido, P80, factor m, la recuperación rougher ABC, con su respecto KPI de reducción de variabilidad.

ACE OFF								
Resumen de Resultados	Presión CS1011	Presión CS1012	Presión CS1013	Presión CS1014	Sólido L3	P80 Laboratorio	Pendiente M	Rec. Cu Rougher ABC
<b>Promedio</b>	9.97 PSI	9.97 PSI	10.07 PSI	10.08 PSI	64.74 %	188.98	0.314	87.84 %
<b>Desviación Estándar</b>	0.97	0.90	0.86	0.79	1.34	46.09	0.070	2.98
<b>Variabilidad</b>	9.74%	8.98%	8.5%	7.77%	2.07	25.12	22.517%	3.39%
ACE ON								
Resumen de Resultados	Presión CS1011	Presión CS1012	Presión CS1013	Presión CS1014	Sólido L3	P80 Laboratorio	Pendiente M	Rec. Cu
<b>Promedio</b>	9.49 PSI	9.54 PSI	9.63PSI	9.6 PSI	66.56 %	223.00	0.3366	90.14 %
<b>Desviación Estándar</b>	0.37	0.42	0.42	0.38	0.72	34.41	0.0383	1.97
<b>Variabilidad</b>	3.94%	4.36%	4.41%	4.00%	1.07	15.27%	11.39%	2.19%
Diferencias								
<b>KPI: Reducción de variabilidad</b>	59.55%	50.97%	50.64%	48.43%	48.31%	39.19%	49.43%	36.46%

Se realiza un análisis durante los intervalos de tiempo en que la aplicación ACE estuvo activa para el periodo comprendido entre el 25/08/2015 y el 30/11/2015. Se muestra en la siguiente tabla 3, un resumen del porcentaje de utilización mensual para la aplicación.

**Tabla 3:** Resumen de la utilización del control avanzado en un periodo de 4 meses.

Resumen utilización ACE Control Presión				
	CS1011	CS1012	CS1013	CS1014
Agosto	6.90%	4.57%	5.23%	6.53%
Septiembre	89.85%	61.40%	71.64%	68.74%
Octubre	81.91%	82.32%	82.56%	83.12%
Noviembre	86.02%	86.98%	89.67%	87.08%

Los resultados de la tabla anterior, se obtienen considerando el periodo del tiempo del mes en el cual la aplicación ACE está activa, respecto al tiempo total, por mes, considerando que la batería está disponible y en funcionamiento, lo cual se resume en la siguiente expresión:

$$\% \text{ Utilización ACE} = \frac{\text{Tpo. ACE Activo}}{\text{Tpo. Total BHC Disponible}} \times 100\%$$

Cabe recordar, que el sistema ACE molino bolas línea 3 se habilita en agosto 2015, posterior a la mantención mayor de la línea 3, lo cual explica su baja utilización en dicho periodo.

En la evaluación se consideran los siguientes antecedentes:

- Para los controles de presión, el análisis contempla la mayor cantidad de datos, debido a que estos controles funcionan con una utilización cercana al 80 % luego de su entrega.
- Para el lazo de control de sólidos, solo se obtienen algunas horas de utilización (8,5%), por lo cual el resultado que se entrega en este reporte no es concluyente.
- Para el P80, el análisis se enfoca en la medición de laboratorio entregada por metalurgia, medición disponible por cada día como un resultado promedio de las cuatro baterías de ciclones en operación.
- Para el análisis de la pendiente del perfil granulométrico se utilizan los datos de laboratorio provistos por metalurgia.
- Para el análisis de la recuperación de Cu de la etapa rougher ABC, se utilizan los datos disponibles para esta variable pi system, muestreados cada 30 minutos.

A continuación, se muestra el resultado de la aplicación del sistema de control ACE en una de las baterías de la línea 3 de molienda.

El gráfico 2 muestra los resultados de control de presión BHC CS1011 (7 meses de datos muestreados cada 1 minuto) y la tabla 4 muestra los datos estadísticos de operar con sistema de control ACE en on/off.

**Gráfico 2:** control de presión de la batería BHC CS 1011

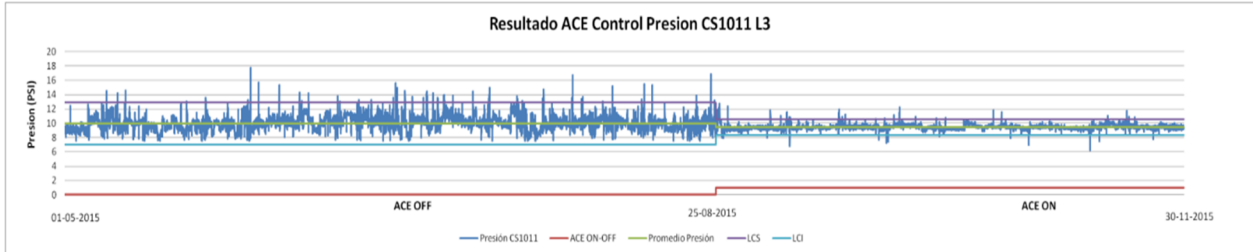


Tabla Resumen	ACE OFF	ACE ON
Promedio	9.87	9.49
Desviación estándar	0.97	0.37
Variabilidad	9.74%	3.94%
Límite Superior	12.88	10.78
Límite Inferior	7.05	8.20

**Tabla 4:** Datos estadísticos del control de presión del sistema ACE en on/off para la batería BHC CS 1011.

Para el análisis de la presión se utilizan 7 meses de datos, muestreados cada 1 minuto.

Se aprecia una reducción en 5.8 puntos porcentuales en la variabilidad de la presión de la batería CS1011, cuando el sistema ACE está activo, lo que equivale a una disminución de un 59.55 % respecto a la operación sin ACE.

Se observa una disminución de 0.38 [PSI] en la presión promedio de operación de la batería CS1011.

A continuación, se muestran los resultados de variabilidad de otra batería de la línea 3 de molienda.

El gráfico 3 muestra los resultados de control de presión BHC CS1014 (7 meses de datos muestreados cada 1 minuto), y la tabla 5 muestra los datos estadísticos de operar con sistema de control ACE en on/off.

**Gráfico 3:** control de presión de la batería BHC CS 1014.

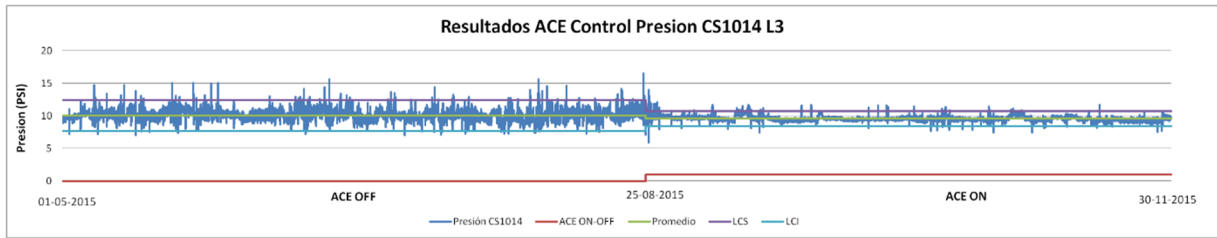


Tabla Resumen	ACE OFF	ACE ON
Promedio	10.08	9.60
Desviación estándar	0.79	0.38
Variabilidad	7.81%	4.00%
Límite Superior	12.45	10.86
Límite Inferior	7.72	8.43

**Tabla 5:** Datos estadísticos del control de presión del sistema ACE en on/off para la batería BHC CS 1014.

Para el análisis de la presión, se utilizan 7 meses de datos, muestreados cada 1 minuto.

Se observa una reducción en 3,81 puntos porcentuales en la variabilidad de la presión de la batería CS1014 cuando el sistema ACE está activo, lo que equivale a una disminución de un 59.55 % respecto a la operación sin ACE.

Se observa una disminución de 0.38 [PSI] en la presión promedio de operación de la batería CS1014.

La estabilización de la presión de las baterías por la aplicación del sistema de control avanzado ACE es un gran logro porque se logra estabilizar la operación de la molienda secundaria de la línea 3 y además se pudo estabilizar el proceso de flotación, la estabilización de la flotación da como resultado un aumento en la recuperación del circuito rougher.

Estabilización de la recuperación metalúrgica de las líneas de flotación que son alimentadas por la línea 3 de molienda.

Inicialmente se presentan los resultados obtenidos para la recuperación de las líneas rougher ABC, que corresponde a la etapa de flotación en donde impacta directamente el uso del sistema ACE de la molienda secundaria L3.

Para el análisis de la recuperación de Cu se utilizan datos de laboratorio correspondientes al valor promedio diario informado por metalurgia, durante los últimos 6 meses.

Se obtiene una reducción 1.01 puntos porcentuales en la variabilidad de la recuperación de Cu cuando la aplicación ACE estuvo activa, lo que equivale a una disminución de un 36.46 % respecto a la operación sin el sistema ACE.

Es razonable pensar entonces, que la disminución en la variabilidad la recuperación de Cu está relacionada con la mejor estabilidad en las presiones de alimentación a las baterías de hidrociclones.

Adicionalmente, se aprecia un incremento de 2.3 % en la recuperación de Cu promedio de la etapa rougher ABC mientras la aplicación ACE está operativa.

El mismo análisis anterior, se realiza para la recuperación global de Cu, cuyos resultados se presentan en la tabla 6:

**Tabla 6:** Resumen de la recuperación global de la planta.

Tabla Resumen Recuperación Cu	ACE OFF	ACE ON
Promedio	86.38	86.74
Desviación estándar	2.11	1.52
Variabilidad	2.44%	1.76%
Límite Superior	92.00	91.91
Límite Inferior	81.28	81.78

Para el análisis de la recuperación de Cu se utilizan datos de laboratorio correspondientes al valor promedio diario informado por metalurgia, durante los últimos 7 meses.

Se aprecia una reducción 0.59 puntos porcentuales en la variabilidad de la recuperación de Cu cuando la aplicación ACE estuvo activa, lo que equivale a una disminución de un 28.1 % respecto a la operación sin el sistema ACE.

Es razonable pensar entonces que la disminución en la variabilidad la recuperación de Cu está relacionada con la mejor estabilidad en las presiones de alimentación a las baterías de hidrociclones.

Adicionalmente, se logra un incremento de 0,36 % en la recuperación de Cu promedio mientras la aplicación ACE está operativa.

## **6.7. CONSOLIDAR EL CAMBIO**

Muchos proyectos de cambio fallan porque se declara una victoria muy temprana, el cambio real sucede profundamente. Las victorias tempranas son sólo el comienzo de lo que se necesita hacer para lograr los cambios en el largo plazo.

Los resultados obtenidos con la aplicación del sistema de control avanzado ACE en la línea de molienda numero 3 son los siguientes:

Se aprecia una reducción de variabilidad promedio de un 52.4% para la presión de operación de las baterías de hidrociclones en la molienda secundaria de la Línea 3, lo cual es beneficioso para la estabilidad del P80.

Es razonable pensar entonces que la disminución en la variabilidad que se aprecia para la pendiente del perfil granulométrico, el P80 y la recuperación de Cu están relacionadas con la mejor estabilidad en las presiones de alimentación a las baterías de hidrociclones, obtenidas gracias a la utilización del sistema ACE.

También es lógico suponer que los aumentos observados en la recuperación de Cu de la etapa rougher ABC (+2.3%) y en la recuperación global de Cu (+0.36%) se deben en alguna medida a una disminución en su variabilidad, lo cual está directamente relacionado con la mejora en la estabilidad de las presiones de alimentación a las baterías de hidrociclones.

Dados los buenos resultados obtenidos para la aplicación ACE implementada en la Línea 3, y para lograr la consolidación del cambio es que se replica este desarrollo en las etapas de molienda secundaria de las líneas 1 y 2.

El plan diseñado para ello se profundiza en: Plan de acción para la habilitación de los sistemas de control ACE en molienda secundaria Líneas 1 y 2.

Actualmente, existe un avance considerable para lograr el objetivo anteriormente mencionado, pues a nivel de software las aplicaciones se encuentran casi totalmente implementadas, quedando pendiente sólo algunas verificaciones menores en el DCS.

Existen eso sí, temas pendientes a nivel de instrumentación que deberán ser abordados previos a la puesta en servicio del sistema. Para ello se ha elaborado un plan de acción en conjunto con los responsables de dichos pendientes, estos se muestran en la tabla 6 y 7:

**Tabla 7:** Plan tentativo puesta en marcha ACE molienda secundaria Línea 1.


	Actividad	Responsable	ene-16				feb-16			
			S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
1	Mantenimiento mecánica/instrumentación BHC CS001	J. Cruz/ M. Hurtado								
2	Mantenimiento mecánica/instrumentación BHC CS002	J. Cruz/ M. Hurtado								
3	Mantenimiento válvulas e instrumentación asociada a SU001	J. Cruz/ M. Hurtado								
4	Certificación densímetro BHC CS001	R. Santibáñez								
5	Certificación densímetro BHC CS002	R. Santibáñez								
6	Implementación de mejoras y verificaciones de lógicas en DCS	F. Gómez								
7	Habilitación y pruebas de Sistema ACE Bolas 3	F. Gómez								

**Tabla 8:** Plan tentativo puesta en marcha ACE molienda secundaria Línea 2.

	Actividad	Responsable	feb-16				mar-16			
			S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
1	Mantenimiento mecánica/instrumentación BHC CS003	J. Cruz/ M. Hurtado								
2	Mantenimiento mecánica/instrumentación BHC CS004	J. Cruz/ M. Hurtado								
3	Mantenimiento válvulas e instrumentación asociada a SU002	J. Cruz/ M. Hurtado								
4	Certificación densímetro BHC CS003	R. Santibáñez								
5	Certificación densímetro BHC CS004	R. Santibáñez								
6	Implementación de mejoras y verificaciones de lógicas en DCS	F. Gómez								
7	Habilitación y pruebas de Sistema ACE Bolas 4	F. Gómez								

La vicepresidencia de procesos al analizar los resultados en la operación que se lograron con el sistema de control avanzado en la línea 3 de molienda, autoriza la aplicación de este proyecto en las líneas 1 y 2 de molienda en la planta concentradora.

Se genera un documento llamado administración del cambio en el cual se informa a la organización la implementación de este proyecto.

		<b>COMPAÑÍA MINERA DOÑA INES DE COLLAHUASI</b>				
		<b>FORMULARIO ADMINISTRACIÓN DEL CAMBIO</b>				
IDENTIFICACIÓN	EMISIÓN	REVISIÓN	VERSIÓN	PRÓXIMA REVISIÓN	RESPONSABLES	PAGINA
GMP-FOR-0015	Julio 2016	Rev.-00	V-01	Julio 2018	Generado: F. Gómez Revisado: M. Jara Aprobado: L. Avalos	1 de 20

### 1. IDENTIFICACIÓN GERENCIA Y N° DE REGISTRO

<b>Superintendencia</b>	Automatización, Control e Instrumentación	<b>SI</b>	Marcelo Jara I.	<b>Registro</b>	<b>N°</b>	008
-------------------------	---	-----------	-----------------	-----------------	-----------	-----

### 2. DEFINICIÓN DEL CAMBIO

#### Descripción del Cambio

Comisionamiento y puesta en servicio de Aplicación de Control Avanzado (APC) ACE (*Advanced Control Expert*) de Andritz, en Molienda Secundaria Línea 1 y Línea 2.

#### Objetivo o Razones del Cambio

Puesta en servicio de sistema ACE Molienda Secundaria Líneas 1 y 2, cuyo objetivo es mejorar la estabilidad del tamaño de partículas Malla +65 (P80), a través de un correcto control de la presión y densidad de pulpa en las BHC, cambiando el típico esquema de control de nivel en el cajón distribuidor por una estrategia que privilegia la clasificación. Para lo anterior, la aplicación ACE efectúa las siguientes acciones:

- Controla la presión para cada una de las baterías de ciclones (CS001 y CS002 en la Línea 1; y CS003 y CS004 en Línea 2), mediante la manipulación de la velocidad de las bombas y la consideración de la apertura/cierre de ciclones como perturbación medida.
- Controla el nivel de los cajones SU001 y SU002 mediante cambios de Set Point (SP) interno de presión y apertura/cierre de ciclones para condiciones extremas.
- Controla los sólidos en promedio para cada una de las líneas, mediante la adición de flujos de agua a los cajones SU001 y SU002.
- Controla la malla +65 (P80), mediante la manipulación de los SP de presión para cada batería y el SP de sólidos de cada línea.

**Ilustración 15:** Gestión de cambio para aplicar el sistema de control avanzado a las otras líneas de molienda.

En estos momentos enero de 2017 las líneas 1 y 2 de molienda se encuentran en las pruebas de implementación del sistema de control avanzado de la molienda secundaria.

## 6.8. ANCLAR LOS CAMBIOS EN LA CULTURA:

Para lograr que cualquier cambio quede arraigado en la organización, este cambio debe ser incorporado al núcleo de la organización. La cultura corporativa de la compañía minera indica que hacer para lograr los objetivos de toda la organización, por lo tanto los valores detrás de la visión de la compañía deben mostrarse día a día.

Se realizan esfuerzos continuos para garantizar que el proyecto presentado en este documento forme parte de la estrategia de la



organización y contribuya a la estrategia general de estabilizar y optimizar los procesos.

Es necesario seguir trabajando en el proyecto de estabilización de la molienda con sistemas de control avanzado y seguir dando fuerza al trabajo en el cambio, reforzando conceptos claves como el trabajo en equipo, la disciplina y en la obtención de resultados.

A continuación se muestra en la ilustración 16 las gráficas resumen del año 2016, donde se detalla el procesamiento, la utilización de las líneas de molienda y se destaca el incremento que se logra en el procesamiento y utilización de la línea número 3.



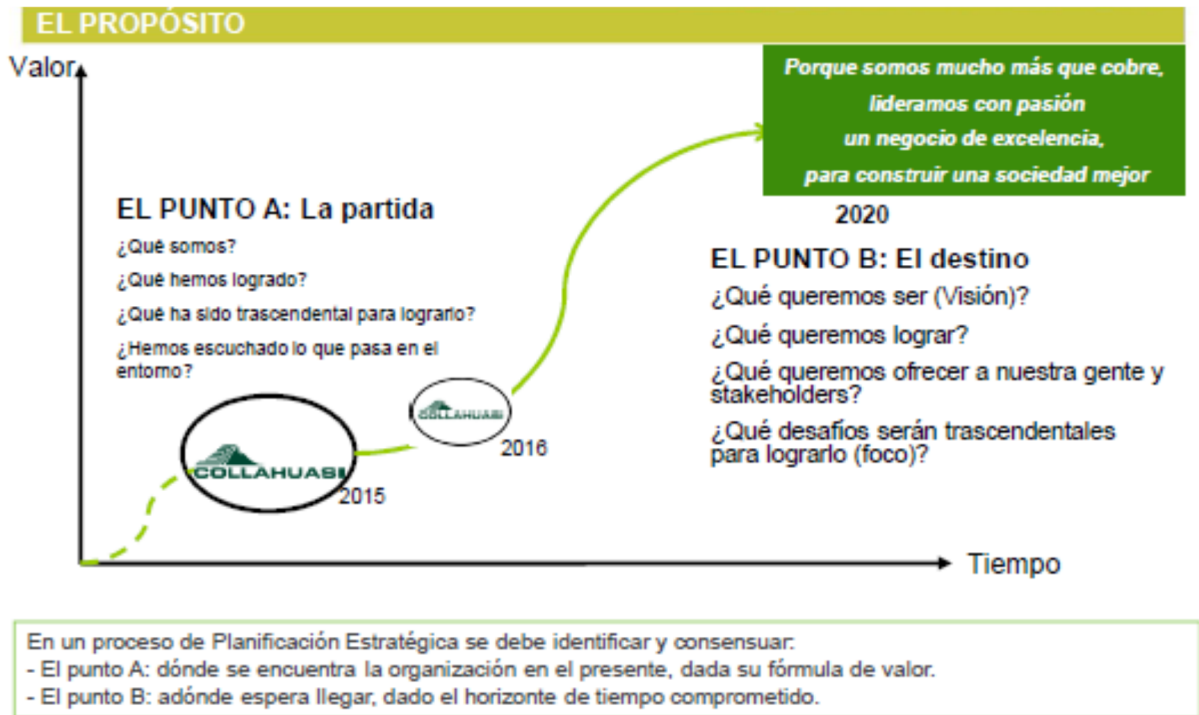
**Ilustración 16:** Tablas que muestran el incremento de los indicadores de la línea 3.

Para poder seguir generando proyectos de cambio que sean parte de la estrategia de la organización, es necesario que la compañía tenga un plan que incluya a cada área de la organización para seguir asegurando la estabilización.

La etapa más importantes de la gestión de cambio de cualquier proyecto es la implementación de una estructura organizacional que defina muy bien la estrategia de la compañía, que integre a todas las áreas y que asegure que esta visión llegue a todos los niveles de la organización y se incorpore a cada equipo de trabajo.

En compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, se sigue trabajando en la estrategia de estabilizar y optimizar la organización y para poder lograr que las distintas áreas generen proyectos de gestión de cambio de sus procesos productivos, la compañía define muy claramente las directrices para lograr

los objetivos esperados. En la ilustración 17 se presenta el propósito de CMDIC, 2015 -2016.



**Ilustración 17:** Estrategia para seguir avanzando en el desarrollo de la minera.

**Fuente:** Presentación desafíos de CMDIC, 2015 -2016.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del trabajo realizado es posible concluir que, se cumple el objetivo principal de establecer estrategias de mejoras de productividad, específicamente en el proceso de molienda en la planta concentradora de Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, mediante la aplicación de la metodología de cambio de John Kotter aplicada en los procesos y la organización de la vicepresidencia de procesos de minera Collahuasi se logra identificar un problema y se le da un sentido de urgencia, así mismo se identifican a los actores relevante y también se detectan las discrepancias entre los objetivos que se plantean las distintas especialidades que perteneces y trabajan en un mismo proceso.

La aplicación del método de Kotter, se utiliza como herramienta de control de gestión del cambio y se valida que es algo fundamental, independientemente si es un cambio pequeño o de gran tamaño, si hablamos específicamente de un proceso, es mediante el cambio que un proceso se va haciendo competitivo.

Si se analiza en primera instancia la gestión del cambio, se debe asegurar una serie de recomendaciones a seguir para que junto con la herramienta de cambio propuesta exista un mejor desarrollo de cada uno de los actores involucrados y sus iteraciones se vuelvan más fáciles de llevar. Las recomendaciones son las siguientes:

- ❖ Promover innovación y calidad.
- ❖ Motivar el trabajo en equipo, relaciones de confianza.
- ❖ Cooperación entre distintas especialidades que son parte de un proceso.
- ❖ Capacidad de toma de decisiones.
- ❖ Promover valores, cultura y reconocimiento.
- ❖ Establecer una comunicación efectiva entre los grupos de trabajo y departamentos.

Se debe considerar que el cambio en un proceso no es garantía de éxito, puede incluso significar la pérdida de productividad de un proceso y está perdida puede afectar a toda la organización.

También se debe entender las razones del porque es necesario realizar el cambio en un proceso, se debe tener un equipo capacitado y es necesario crear consciencia en cada uno de los participantes dentro del proceso donde se aplica el cambio. Con una buena asignación del recurso humano y una planificación ajustada a la realidad del proceso a modificar, el cambio de un proceso ocurre de manera ordenada y así se logran los resultados satisfactorios para el negocio.

Al analizar los resultados en el proceso, se observa una disminución de la variabilidad en la operación de las baterías de ciclones lo que se extrapola a la estabilización de la línea número 3 de molienda, la cual logra continuidad de marcha y un incremento de tratamiento de mineral.

- ❖ Se logra una reducción de variabilidad promedio de un 52.4% para la presión de operación de las baterías de hidrociclones en la molienda secundaria de la Línea 3, lo cual es beneficioso para la estabilidad del P80.
- ❖ Es razonable pensar entonces que la disminución en la variabilidad que se aprecia para la pendiente del perfil granulométrico, el P80 y la recuperación de Cu están relacionadas con la mejor estabilidad en las presiones de alimentación a las baterías de hidrociclones, obtenidas gracias a la utilización del sistema ACE.
- ❖ Si bien con el sistema ACE operativo también se evidencia una reducción en la variabilidad para el P80, se aprecia en forma simultánea un incremento en el valor promedio de esta variable. Esto se explica por los menores valores de presión promedio con que se ha operado cada una de las baterías de la L3. Esto último obedece a una estrategia operacional definida por metalurgia, quienes buscan operar a menores presiones para disminuir la carga circulante (recordar que el sistema ACE está diseñado para controlar la presión en torno a los set point ingresados por el operador).
- ❖ Si bien no se puede asegurar con absoluta certeza (pues pueden existir otros factores no considerados en el presente análisis), sí es razonable suponer que los aumentos observados en la recuperación de Cu de la etapa rougher ABC (+2.3%) y en la recuperación global de Cu (+0.36%) se deben en alguna medida a una disminución en su variabilidad, lo cual está directamente relacionado con la mejora en la estabilidad de las presiones de alimentación a las baterías de hidrociclones.

Finalmente, dados los buenos resultados obtenidos para la aplicación ACE implementada en la Línea 3, se replicará este desarrollo en las etapas de molienda secundaria de las líneas 1 y 2.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- I. El líder del cambio John Kotter Programa Savia 2.0.
- II. Kotter, John (2008). Un sentido de urgencia. Mc. Graw Hill. México.
- III. El modelo del cambio. John Kotter. México.
- IV. Herramientas de apoyo a la gestión del cambio organizacional. Alberto Torres. Universidad Autónoma de México.
- V. Modelo de gestión de cambio organizacional para procesos de estandarización de nuevas prácticas en empresas mineras. Sergio Pizarro. Minera Escondida.
- VI. Datos Corporativos Minera Doña Inés de Collahuasi.