



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

**PROPUESTA PARA LA GESTIÓN DEL LAZO OPERACIÓN-MANTENIMIENTO EN  
LOS PROCESOS CRÍTICOS DE LAS LÍNEAS DE PROCESO DE CONCENTRADO  
DE COBRE**

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

**LEONARDO ERICK DUARTE DUARTE**

**PROFESOR GUÍA  
LUIS ZAVIEZO SCHWARTZMAN**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN  
MANUEL ROJAS VELENZUELA  
GERARDO DIAZ RODENA**

**SANTIAGO DE CHILE  
2017**

## RESUMEN.

El proyecto que va a ser presentado, indaga en el mejoramiento de la gestión sobre los recursos y procesos, para entregar una mayor continuidad de marcha en las líneas de producción, esto a través de absorber las pérdidas de valor, que se producen por una deficiente sincronización entre la gestión de la operación y el mantenimiento. Esto permitiría reducir el desperdicio de los activos y bajar uno de los costos más altos de la operación (el consumo de “Liners”). Esto sin duda alguna, es vital para sostener el desempeño y la rentabilidad en el largo plazo, sobre todo en una línea de proceso crítica (Línea única sin redundancia). Pero además, puede ser una oportunidad significativa para maximizar producción y minimizar costos en líneas con redundancia.

Este trabajo fue desarrollado para Minera Centinela, una mina que produce cobre y como subproducto oro y plata, ubicada en la comuna de Sierra Gorda, perteneciente a Antofagasta Minerals.

Las líneas de proceso que se verán incorporadas en este trabajo corresponden a la planta concentradora (líneas de Chancado, Molienda y Remolienda).

Las estructuras internas que son parte de este proyecto, comienzan con el área de metalurgia que define cual es el esquema de impacto en la producción y como maximiza la obtención de valor, seguida por la coordinación con las áreas de mantenimiento y operación, que exponen como las interacciones pueden ser administradas. Finalmente el área de gestión de costos que permitirá incorporar este esquema a los procesos presupuestarios.

Este trabajo gestionará los activos mantenibles que más impactan las interacciones entre el mantenimiento y la operación, que para nuestro caso son los desgastes y cambios de “Liners” de los equipos principales del proceso, ya que su continuidad de marcha y tiempos de cambio, deberán dar la línea base para la definición de la estrategia de mantención, producción y costo anual de la Planta Concentradora, a través de la correcta sincronización de sus interacciones.

Para dar contexto a la problemática que este trabajo abarca, se debe mencionar que la ineficiente sincronía entre los procesos de mantenimiento y operación, impactan directamente en una pérdida virtual de producción o una pérdida de captura de valor latente (1.417.200 [ton] de procesamiento posible de capturar). Es en base a esto que se establecieron los impactos de las interacciones, llevando dichos impactos a toneladas procesadas en un año presupuestario.

		Equipo en Proceso de Mantención							
Equipos		Chancador Primario	Molino SAG	Chancador Secundario	Chancador Terciario	Chancador de Pebbles	Molino de Bolas	Molinos Verticales	
Equipo en Proceso de Operación	Chancador Primario	-	Detención de Proceso	-	-	-	-	-	Impacto en el Procesamiento de cada Equipo, por interacción.
	Molino SAG	540.000		144.000	-	100.800	540.000	336.000	
	Chancador Secundario	192.000		-	-	-	120.000	-	
	Chancador Terciario	192.000		192.000	-	-	120.000	-	
	Chancador de Pebbles	-		-	-	-	60.000	-	
	Molino de Bolas	-		144.000	96.000	57.600	-	-	
	Molinos Verticales	-		-	-	-	-	-	

Es en esto ya mencionado, es donde este trabajo toma importancia, debido a que se puede lograr un captura de valor significativa que apalanque en cerca de un 4% la producción anual.

Finalmente el objetivo es desarrollar una metodología que permita mediante el análisis de sincronía e impacto de una línea crítica, definir la mejor estrategia (método) de interacción entre el mantenimiento y la operación que optimice la utilización de los activos y maximice el tratamiento de una línea de proceso.

**DEDICATORIA.**

*A mi hermano Sebastián...*

*Por ser el ángel que cuida e ilumina mi camino y el de nuestra familia...*

*Por enseñarnos el valor de la vida y como vivirla...*

*Que Dios te acompañe siempre...*

## TABLA DE CONTENIDO.

INDICE DE TABLAS. ....	v
INDICE DE ILUSTRACIONES. ....	vi
1. INTRODUCCIÓN. ....	1
1.1. Organización. ....	1
1.2. Descripción del Proyecto y Problemática. ....	2
2. OBJETIVOS. ....	4
2.1. Objetivo General. ....	4
2.2. Objetivos Específicos. ....	4
3. ALCANCE. ....	5
4. METODOLOGÍA. ....	6
5. DESARROLLO PROPUESTA DE GESTIÓN. ....	8
5.1. IDENTIFICACIÓN DE LÍNEA Y EQUIPOS críticos. ....	8
5.2. LEVANTAMIENTO DE DATOS POR PÉRDIDAS HISTÓRICAS. ....	10
5.3. EVALUACIÓN DE IMPACTO ENTRE INTERACCIONES. ....	11
5.4. DESARROLLO FUNCIÓN MINIMIZACIÓN. ....	13
5.5. ESCENARIOS DE ANÁLISIS. ....	16
5.5.1. Escenario de Optimización N°1. ....	16
5.5.2. Escenario de Optimización N°2. ....	19
5.6. PROCESO DE OPTIMIZACIÓN DE ACTIVOS. ....	22
5.6.1. Etapa N°1 Proceso de Mejora y Optimización. ....	23
5.6.1.1. Proceso de Mejora y Optimización Chancado Primario. ....	23
5.6.1.2. Proceso de Mejora y Optimización Molino SAG. ....	26
5.6.2. Etapa N°2 del Proceso de Mejora y Optimización. ....	30
5.6.3. Etapa N°3 del Proceso de Mejora y Optimización. ....	32
6. PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN. ....	34
6.1. PLANTEAMIENTO DE LA IDEA EN LA ORGANIZACIÓN. ....	35
6.2. PRUEBAS TÉCNICAS. ....	36
6.3. INTEGRACIÓN CON LAS ÁREAS. ....	37
6.4. ALINEAMIENTO A UNA SOLA ESTRATEGIA. ....	39
7. RESULTADOS. ....	41
7.1. Reducción de gastos en insumos (liners). ....	41
7.2. Reducción de intervenciones de mantenimiento. ....	42
7.3. AUMENTO DE PRODUCCIÓN. ....	43
8. CONCLUSIONES. ....	45
9. BIBLIOGRAFÍA. ....	47

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla N° 5.1: Listado de Equipos Críticos.....	9
Tabla N° 5.2: Pérdidas anuales por equipos.....	11
Tabla N°5.3: Impacto de interacción entre equipos.....	11
Tabla N°5.4: Cantidad de interacciones en un año.....	12
Tabla N°5.5: Cantidad de tonelaje posible de capturar al año.....	12
Tabla N°5.6: Condiciones de Borde.....	14
Tabla N°5.7: Caso Base de Análisis.....	14
Tabla N°5.8: Resultados de Interacciones que producen tiempos de restricción entre el Molino SAG y el Chancado Primario.....	15
Tabla N°5.9: Resultados de Interacciones que producen tiempos de restricción entre el Molinos de Bolas y el Chancado Secundario.....	15
Tabla N°5.10: Presupuesto Primer Escenario analizado (Caso 1).....	16
Tabla N°5.11: Horas de restricción de Escenario Propuesto N°1. Interacción Molino SAG v/s Chancado Primario.....	17
Tabla N°5.12: Horas de restricción de Escenario Propuesto N°1. Interacción Molinos de Bolas v/s Chancado Secundario.....	17
Tabla N°5.13: Presupuesto Segundo Escenario analizado (Caso N°2). Segunda Propuesta de Optimización.....	19
Tabla N°5.14: Horas de restricción de Escenario Propuesto N°1. Interacción Molino SAG v/s Chancado Primario.....	20
Tabla N°5.15: Horas de restricción de Escenario Propuesto N°1. Interacción Molinos de Bolas v/s Chancado Secundario.....	20
Tabla N°5.16: Horas de Disponibilidad alcanzadas con Optimización de Activos.....	26
Tabla N°5.17: Sincronía entre intervenciones de Chancado Primario y Molino SAG.....	28
Tabla N°5.18: Mayor Disponibilidad por menores horas de intervención.....	32
Tabla N°7.1: Menor Gasto en mantenimiento (HH).....	43
Tabla N°7.2: Características del Mayor procesamiento.....	43

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

<i>Figura 1.1: Etapas del Proceso Productivo Concentradora Minera Centinela.....</i>	2
<i>Figura 4.1: Metodología de trabajo.....</i>	6
<i>Figura 5.1: Revisión Línea Crítica Proceso de Moliendo.....</i>	8
<i>Figura 5.2: Revisión Línea Crítica Proceso de Flotación.....</i>	9
<i>Figura 5.3: Revisión Línea Crítica Proceso de Flotación.....</i>	10
<i>Figura 5.4: Tendencia en horas de restricción de tratamiento. ....</i>	15
<i>Figura 5.5: Tendencia en horas de restricción de tratamiento de Caso Base y Propuesta N°1 (Caso N°1).Molino SAG v/s Chancado Primario. ....</i>	18
<i>Figura 5.6: Tendencia en horas de restricción de tratamiento de Caso Base y Propuesta N°1 (Caso N°1).Molinos de Bolas v/s Chancado Secundario. ....</i>	18
<i>Figura 5.7: Tendencia en horas de restricción de tratamiento de Caso Base y Propuesta N°2 (Caso N°2).Molino SAG v/s Chancado Primario. ....</i>	21
<i>Figura 5.8: Tendencia en horas de restricción de tratamiento de Caso Base y Propuesta N°2 (Caso N°2).Molinos de Bolas v/s Chancado Secundario. ....</i>	21
<i>Figura 5.9: Etapas del Proceso de Optimización de Activos. ....</i>	22
<i>Figura 5.10: Modificación del perfil del manto inferior del Chancado Primario. ....</i>	23
<i>Figura 5.11: Nueva Razón de volúmenes del Chancado Primario. ....</i>	24
<i>Figura 5.12: Tasas de Desgaste después del cambio.....</i>	24
<i>Figura 5.13: Aumento de Tonelaje Acumulado del equipo y ajuste con Molino SAG.....</i>	25
<i>Figura 5.14: Cambio de Secuencias de Mantos por Campaña. ....</i>	25
<i>Figura 5.15: Cambios y evolución de componentes tapa de alimentación Molino SAG.....</i>	27
<i>Figura 5.16: Cambios y evolución de componentes tapa de descarga Molino SAG.....</i>	27
<i>Figura 5.17: Mejora en rendimiento a lo largo de las campañas del Molino SAG. ....</i>	28
<i>Figura 5.18: Mejoras para reducción de tiempos de Mantenimiento. ....</i>	29
<i>Figura 5.19: Mejoras para reducción de tiempos de Mantenimiento. ....</i>	29
<i>Figura 5.20: Aumento de rendimiento en tonelaje de los equipos de Chancado. ....</i>	30
<i>Figura 5.21: Modificación de Perfil Molino de Bolas.....</i>	31
<i>Figura 5.22: Aumento de tiempo de duración de equipos de Chancado por cambio de aleación. ....</i>	31
<i>Figura 5.23: Modificación de piezas Molino de Bolas.....</i>	32
<i>Figura 5.24: Modificación de perfil para mayor duración Molinos Verticales: (a) Puntera Inferior;(b) Punteras Intermedias. ....</i>	33
<i>Figura 6.1: Proceso de Implementación de Estrategia.....</i>	34
<i>Figura 6.2: Presupuesto de Intervenciones en el Quinquenio 2016-2020. (a) Molino SAG; (b) Equipos de Chancado.....</i>	35

<i>Figura 6.3: Focos de los Protocolos de Prueba.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 6.4: Actores involucrados en el Análisis de Riesgo.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 6.5: Protocolos de Prueba Línea Crítica.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 6.6: Toma de conocimiento por parte de todas las áreas operativas y administrativas. ....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 6.7: Ciclos del Proceso de Optimización; (a) Ciclo de Prueba; (b) Ciclo de Cambio.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 6.8: Definición de Alineamiento para el negocio. ....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 6.9: Programa de Presupuesto de Detenciones y Mantenciones: (a) Equipos de Molienda; (b) Equipos de Chancado. ....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 7.1: Beneficios de la Incorporación de la Estrategia para reducir impactos entre equipos de la Línea Crítica.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 7.1: Informe Anual de Gasto Minera Centinela (Menor gasto en Liners por implementación de estrategia de optimización).....</i>	<i>42</i>



## **1. INTRODUCCIÓN.**

La coyuntura actual del precio del cobre, está exigiendo a la industria a tomar todas las acciones en la búsqueda de la optimización de sus procesos, tanto en los aspectos que conllevan la reducción de costo, eficiencia operacional y la “continuidad operacional”.

Gran parte de la industria ha migrado cada vez más, a equipos de mayor tamaño que reduzcan la cantidad de unidades en el proceso y con ello el valor del , lo que ha generado líneas de proceso de mayor criticidad. Es en este sentido, que ha surgido una deficiencia que no siempre es absorbida por los indicadores de disponibilidad o utilización de una línea de proceso, pero que impactan directamente los planes de producción, generando una pérdida de valor llamada en muchas áreas “Restricciones de Operación”. Es en esta problemática, que la gestión sobre administrar tanto la línea de operación como de mantención y la forma que están interactuando, es vital para reducir pérdidas de valor y maximizar el uso de los activos.

Este proyecto busca resolver dicha problemática a través de la identificación de cuál es el objetivo a trazar, la descripción de la “línea crítica” y valorizando la no captura de valor y el costo oportunidad latente producto de su mala interacción. Todo esto a través de las metodologías de trabajo que permitan el desarrollo de esta propuesta.

Finalmente este proyecto indaga en el mejoramiento de la gestión sobre los recursos y procesos de forma óptima, para dar una continuidad de marcha mayor a los procesos, reducir el desperdicio de los activos y de bajar uno de los costos más altos de la operación (el consumo de “Liners”). Siendo para una línea crítica vital para su desempeño y para convertirla en rentable en el tiempo. Además, si extrapolamos esta metodología a una línea de proceso con redundancia, habría una oportunidad significativa para maximizar su producción.

### **1.1. Organización.**

Minera Centinela es una empresa del Grupo Antofagasta Minerals, que nace en julio de 2014 a partir de la integración de las operaciones de las compañías mineras El Tesoro y Esperanza.

Esta nueva compañía emerge a partir de la visión de capturar las sinergias de ambas operaciones, aprovechando las condiciones geográficas, técnicas y logísticas que hacen posible una planificación y operación minera integrada y mayores economías de escala, logrando así una posición más competitiva en la industria.

De esta forma, Minera Centinela se posiciona como una de las compañías mineras más grandes del país, aplicando altos estándares de desempeño en sus operaciones y procesos, rigiendo su actuar sobre la base de los principios y políticas de Antofagasta Minerals.

Su estructura societaria está compuesta en un 70% de propiedad de Antofagasta Minerals y un 30% de Marubeni Corporation.

Minera Centinela se ubica a 180 kilómetros de Antofagasta y a 100 kilómetros de Calama. La altitud aproximada en el lugar es de 2.300 metros sobre el nivel del mar.

Este trabajo abarca el proceso productivo de la Planta Concentradora y su línea crítica, incluyendo los “liners” que son uno de los mayores costos de operación de la Planta Concentradora y que impactan directamente en las decisiones de mantenimiento y producción de los programas anuales.

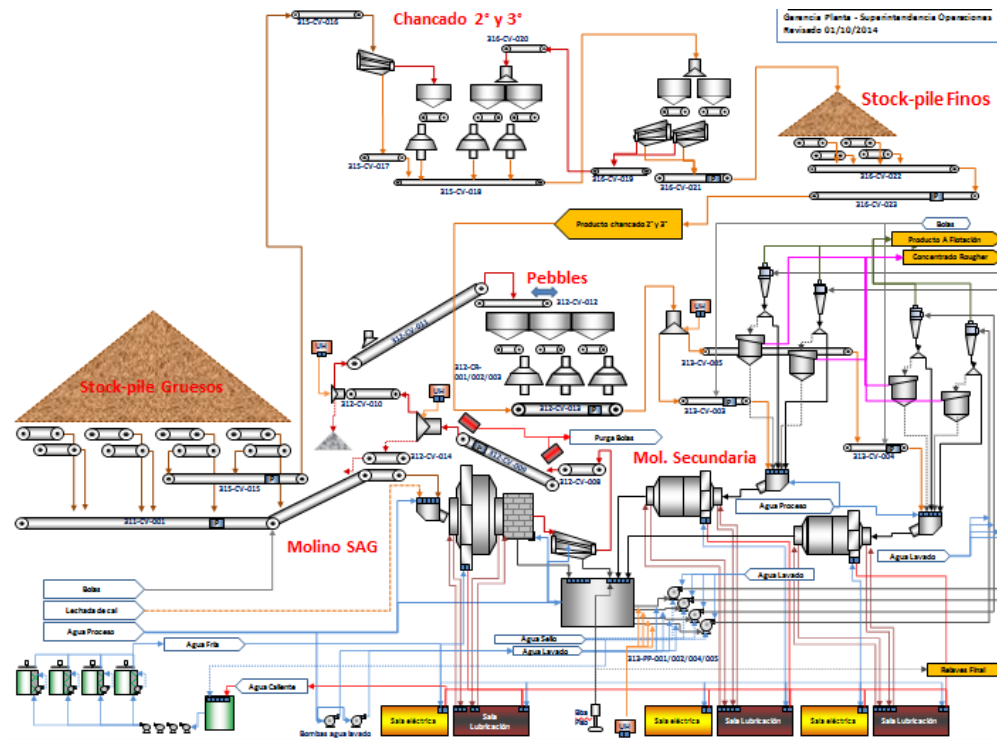


Figura 1.1: Etapas del Proceso Productivo Concentradora Minera Centinela.

## 1.2. Descripción del Proyecto y Problemática.

El proyecto presentado busca capturar valor, a través de sincronizar los procesos clave del negocio (la operación y la mantención). Debido a su mala interacción estos provocan Costos de oportunidad altos que debiesen ser capturados por el negocio.

Cuando se habla de sincronización, estamos buscando que las secuencias de los procesos de mantención que interactúan con el proceso de operación, entren en armonía minimizando la pérdida de producción producto de su interacción. Es decir, queremos romper el paradigma de seguir haciendo las cosas de una forma que quizá no optimiza nuestra producción y solo busca robustecer equipos sin mirar el negocio como un todo.

Para contextualizar esta problemática, se puede comentar que, al no tener ninguna sincronización de los procesos, el costo oportunidad que existe es de 2.834.400 [ton] de mineral tratado (Con datos que serán presentados en este trabajo). Castigando este valor al 50% (para ser austeros con este proyecto), es decir, creyendo que de forma natural hay sincronía en el 50% de las interacciones, el valor posible a capturar son 1.417.200 [ton], de procesamiento que para el caso de nuestra planta concentradora equivale al procesamiento de medio mes de operación.

Por lo tanto, el valor de este trabajo que se encuentra siendo liderado por la Gerencia de la Planta Concentradora, permitiría capturar o adicionar solo por temas de optimización de recursos y sincronías entre procesos, cerca de la mitad de un mes de producción, lo cual equivale a apalancar nuestro plan de producción anual en cerca de un 4%, lo que a su vez es resorte tanto de la las Gerencias de línea como del cumplimiento de los compromisos de producción establecidos por la compañía ante los dueños.

## **2. OBJETIVOS.**

### **2.1. Objetivo General.**

Desarrollar propuesta de gestión para optimizar la sincronía e impacto entre las interacciones de una línea crítica, que permita definir la mejor estrategia de interacción entre el mantenimiento y la operación, que logre optimizar la utilización de los activos y maximice el tratamiento de una línea de proceso.

### **2.2. Objetivos Específicos.**

Para completar el objetivo planteado, se deben considerar para este trabajo los siguientes objetivos específicos a resolver.

- Identificar línea de criticidad y su impacto en el negocio.
- Desarrollar función matemática que logré minimizar el impacto de las “Restricciones de Operación” por la interacción del mantenimiento con el proceso.
- Plantear estrategia de optimización de las interacciones de la línea Crítica.
- Optimizar el uso de los activos de la línea crítica.

### **3. ALCANCE.**

Este trabajo de investigación y desarrollo, busca identificar de forma clara la oportunidad de adquirir valor, mediante la implementación de herramientas o métodos de gestión.

El desarrollo de este trabajo, debe llegar a la implementación como parte de la solicitud que la compañía ha puesto en este trabajo, debido a que se entregan para este fin, los accesos para las modificaciones de los planes de mantenimiento futuro y la posibilidad de incorporarlo en los presupuestos de los próximos cinco años.

La información para cumplir con estos requisitos se encuentra disponible por la compañía y es parte de las áreas dueñas de este trabajo.

Los límites para que el proyecto tenga el método funcionando son hasta el 15 de octubre del 2016 que es la etapa de ajuste de presupuestos y planes de producción del año 2017.

## 4. METODOLOGÍA

Este trabajo se considera un proceso de investigación, con el fin de implementar mejoras que impacten directo en los procesos productivos, siendo su aplicabilidad una reducción de costo y aumento de valor. Para el desarrollo se definió el siguiente método de 7 etapas para ser implementado.



Figura 4.1: Metodología de trabajo.

### **Etapa 1: Identificación de Línea Crítica.**

En esta etapa se va a describir la línea crítica e identificar cada uno de los equipos que la componen y los procesos de mantención que más impactan en sus interacciones con la operación.

***Etapa 2: Levantamiento de datos por pérdidas históricas debido a la problemática.***

En esta etapa se realizará el levantamiento de los impactos producidos a la fecha en base a la problemática identificada, con la finalidad de dar sustento a la propuesta y visualizar de forma clara la propuesta de valor que se puede lograr obtener.

***Etapa 3: Evaluación de impacto entre interacciones.***

En esta etapa, se evaluará de forma exacta el impacto entre las interacciones de la línea crítica con el proceso, valorizando cada interacción y las posibles secuencias entre ellas.

***Etapa 4: Desarrollo Función de Minimización de Restricciones.***

En esta etapa se va a desarrollar una función que permita integrar los impactos entre líneas, y permita identificar las interacciones que minimizan el impacto por restricciones.

***Etapa 5: Escenarios y Propuesta de Optimización.***

En esta etapa se va a desarrollar la estrategia y método para realizar la identificación de las mejores interacciones de los procesos de mantenimiento y operación, con el objetivo que sea aplicable en cualquier etapa al proceso productivo y en el desarrollo de los planes de producción anuales.

***Etapa 6: Optimización de Activos.***

En esta etapa se va a desarrollar una función que permita integrar las similitudes entre los procesos de mantenimiento, que permitan utilizar a un nivel óptimo los activos y reducir los costos por residuos y otros.

***Etapa Final: Implementación.***

En esta etapa se va a desarrollar el plan de implementación del método y su estandarización en la organización.

## 5. DESARROLLO PROPUESTA DE GESTIÓN.

El desarrollo e implementación de esta propuesta de gestión, que se involucra en la optimización del proceso de interacción entre equipos críticos, requiere el desarrollo de las siguientes actividades:

### 5.1. IDENTIFICACIÓN DE LÍNEA Y EQUIPOS CRÍTICOS.

Para identificar la línea crítica del proceso, se procedió a revisar los análisis de capacidad de tratamiento e impacto en la línea de proceso de los principales equipos de la planta concentradora, asumiendo los coeficientes de marcha de diseño.

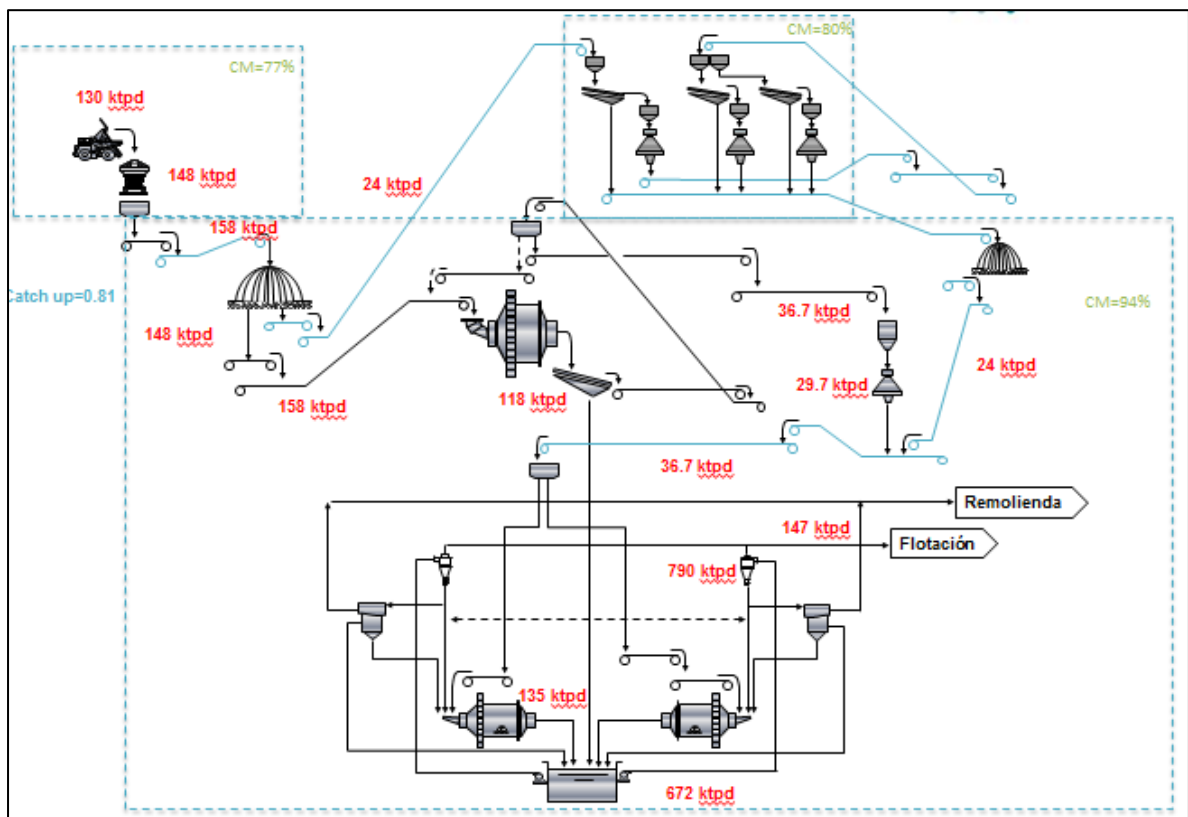


Figura 5.1: Revisión Línea Crítica Proceso de Moliendo.



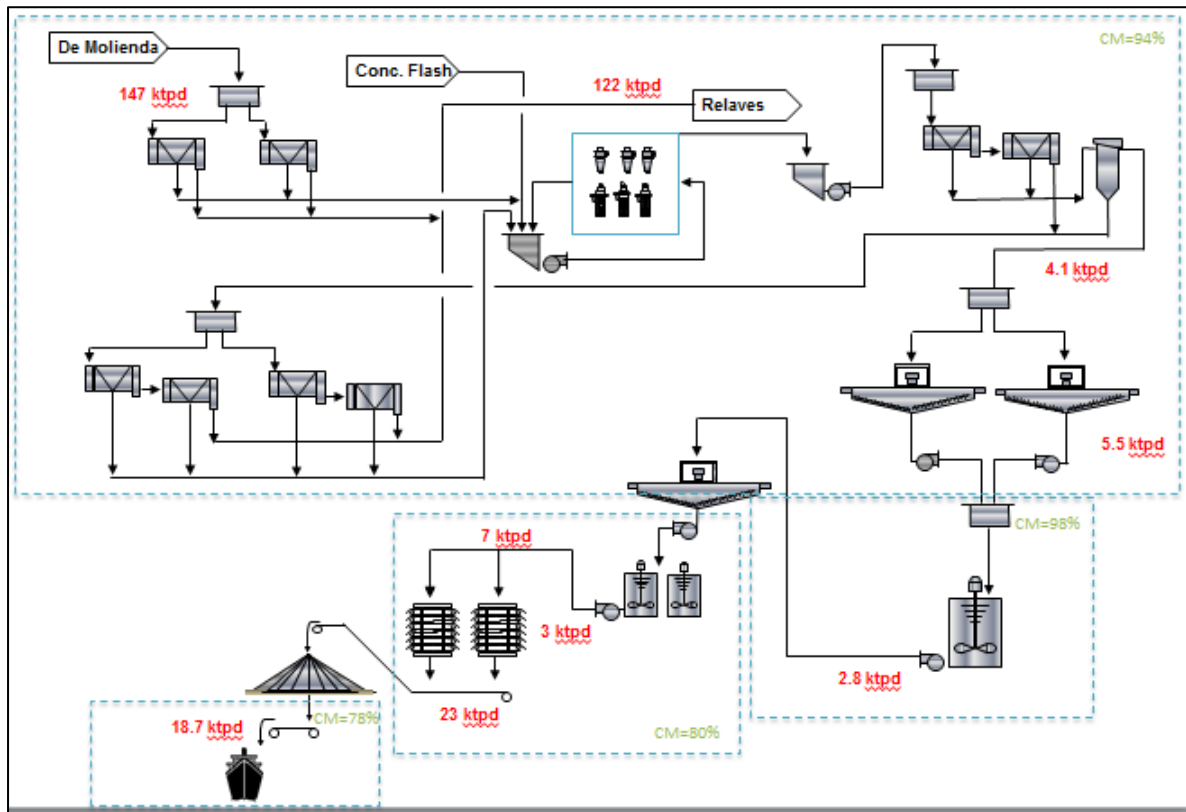


Figura 5.2: Revisión Línea Crítica Proceso de Flotación.

Del análisis de continuidad de las líneas y valores de capacidad por equipo, se definió el siguiente listado de equipos críticos, los cuales afectan el coeficiente de marcha. Este listado se indica en la tabla 5.1.

Tabla N° 5.1: Listado de Equipos Críticos.

<b>Línea Crítica</b>		
<b>N°</b>	<b>Equipos</b>	<b>% de Efecto en el Tratamiento Total de la Planta</b>
1	Chancador Primario	100%
2	Molino SAG	80%
3	Chancador Secundario	20%
4	Chancador Terciario	20%
5	Chancador de Pebbles	25%
6	x Molino de Bolas	50%
7	X Molino Vertical	60%

La identificación de la línea crítica de este proceso, se desarrolló por parte del análisis de cuellos de botella en capacidad de tratamiento y mediante, el desarrollo de un esquema

de confiabilidad, que permite ver los impactos en el coeficiente de marcha. Los resultados de este análisis se indican en la figura 5.2.

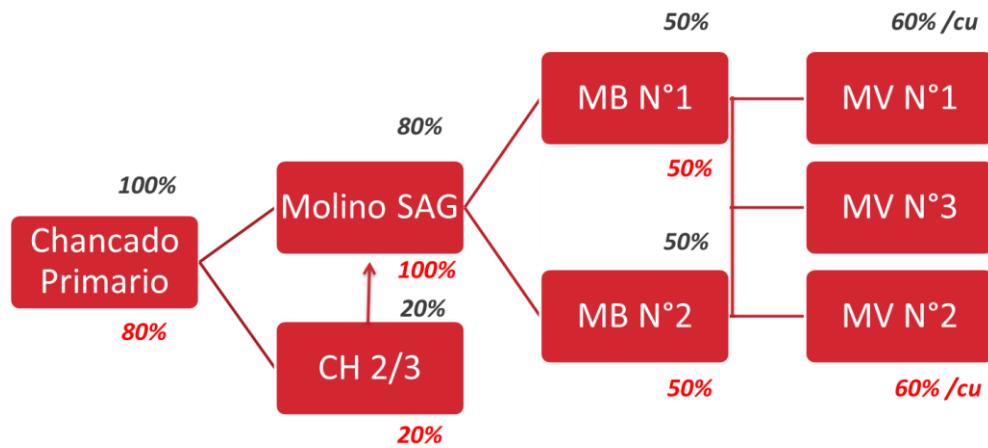


Figura 5.3: Revisión Línea Crítica Proceso de Flotación.

- % Tratamiento Global (Negro).
- Impacto en el Coeficiente de Marcha (rojo).

Con estos resultados ya tenemos determinada nuestra línea crítica y los impactos globales en el proceso. Esta es la base para buscar las oportunidades de sincronía que afecten la continuidad de marcha y el proceso.

## 5.2. LEVANTAMIENTO DE DATOS POR PÉRDIDAS HISTÓRICAS.

El proyecto presentado busca capturar valor, a través de sincronizar los procesos clave del negocio (la operación y la mantención). Debido a su mala interacción estos provocan costos de oportunidad altos que debiesen ser capturados por el negocio. Es fundamental conocer este impacto en términos numéricos, para hacer visible la magnitud de la problemática. Esto se logra a través de la evaluación de los resultados que la compañía ha obtenido a lo largo de los últimos años, como resultado de malas interacciones y sincronías del mantenimiento.

Durante el 2014 y 2015 producto de una sincronía inadecuada se registraron costos de oportunidad importantes en el proceso del negocio, los que están asociados a detenciones de equipos que sincronizadas de la forma adecuada no habrían generado un impacto en la continuidad de marcha o el tratamiento.

De los informes de metalurgia y confiabilidad podemos identificar este costo de oportunidad y traducirlo a toneladas posibles de capturar. Estos resultados se muestran en la tabla 5.2.

Tabla N° 5.2: Pérdidas anuales por equipos.

N°	Equipo Down	Tonelaje de Pérdida por Restricción
1	Chancador Primario	927.000
2	Molino SAG	-
3	Chancador Secundario y Terciario	240.000
4	Chancador de Pebbles	100.800
5	Molinos de Bolas	540.000
6	X Molino Vertical	336.000
<b>Total</b>		<b>2.143.800</b>

Se debe destacar, que el objetivo no es generar la captura total de este valor, sino más bien aproximarnos a un impacto cercano al mismo. Ya que existirán otras problemáticas que pueden impedir la captura total de este valor que están fuera del alcance de este trabajo, como lo son la disponibilidad de transporte en las correas principales del proceso.

### 5.3. EVALUACIÓN DE IMPACTO ENTRE INTERACCIONES.

Cuando se habla de sincronización, estamos buscando que las secuencias de los procesos de mantención que interactúan con el proceso de operación, entren en armonía minimizando la pérdida de producción producto de su interacción. Es decir, queremos romper el paradigma de seguir haciendo las cosas de una forma que quizá no optimiza nuestra producción y solo busca robustecer equipos sin mirar el negocio como un todo.

Para contextualizar esta problemática, se puede comentar cuales son los efectos de la falta de sincronía entre los procesos de mantención y operación de la línea crítica de nuestro sistema productivo.

Para revisar los efectos de lo comentado anteriormente, primero debemos considerar que los equipos están totalmente sin sincronía entre si y que cada interacción genera un impacto en el tratamiento global y por ende

Para lo cual establecemos una línea crítica con ciertos equipos identificados, los cuales se indican en la tabla 5.3

Tabla N°5.3: Impacto de interacción entre equipos.

Equipos	Equipo en Proceso de Mantención							Impacto en el Procesamiento de cada Equipo, por interacción.
	Chancador Primario	Molino SAG	Chancador Secundario	Chancador Terciario	Chancador de Pebbles	Molino de Bolas	Molinos Verticales	
Chancador Primario	-	Detención de Proceso	-	-	-	-	-	
Molino SAG	135.000		18.000	-	8.400	270.000	84.000	
Chancador Secundario	48.000		-	-	-	60.000	-	
Chancador Terciario	48.000		24.000	-	-	60.000	-	
Chancador de Pebbles	-		-	-	-	30.000	-	
Molino de Bolas	-		18.000	12.000	4.800	-	-	
Molinos Verticales	-		-	-	-	-	-	

\*Valores de Tonelaje considerados al diseño 4500 [ton/hr].

En la tabla 5.3 se muestra además, como la interacción entre los equipos en operación y la intervención del mantenimiento sin sincronía genera una pérdida de valor, por una no producción de uno de sus equipos o líneas.

Para establecer de un modo más certero el efecto de estas interacción, se debe conocer cuántas de estas interacciones entre equipos se generan en un año. (Ver tabla N°5.4).

Tabla N°5.4: Cantidad de interacciones en un año.

		Equipo en Proceso de Mantenimiento						
Equipos	Chancador Primario	Molino SAG	Chancador Secundario	Chancador Terciario	Chancador de Pebbles	Molino de Bolas	Molinos Verticales	
Equipo en Proceso de Operación	Chancador Primario	-	-	-	-	-	-	Impacto en el Procesamiento de cada Equipo, por interacción.
	Molino SAG	4	8	-	12	2	4	
	Chancador Secundario	4	-	-	-	2	-	
	Chancador Terciario	4	8	-	-	2	-	
	Chancador de Pebbles	-	-	-	-	2	-	
	Molino de Bolas	-	8	8	12	-	-	
	Molinos Verticales	-	-	-	-	-	-	

Luego, considerando que la condición más crítica se cumple, es decir, que existe cero sincronías entre estos procesos la perdida por interacción seria, la que se indica en la tabla N°5.5).

Tabla N°5.5: Cantidad de tonelaje posible de capturar al año.

		Equipo en Proceso de Mantenimiento						
Equipos	Chancador Primario	Molino SAG	Chancador Secundario	Chancador Terciario	Chancador de Pebbles	Molino de Bolas	Molinos Verticales	
Equipo en Proceso de Operación	Chancador Primario	-	-	-	-	-	-	Impacto en el Procesamiento de cada Equipo, por interacción.
	Molino SAG	540.000	144.000	-	100.800	540.000	336.000	
	Chancador Secundario	192.000	-	-	-	120.000	-	
	Chancador Terciario	192.000	192.000	-	-	120.000	-	
	Chancador de Pebbles	-	-	-	-	60.000	-	
	Molino de Bolas	-	144.000	96.000	57.600	-	-	
	Molinos Verticales	-	-	-	-	-	-	

Por consiguiente, al no tener ninguna sincronización de los procesos, el costo oportunidad que existe es de 2.834.400 [ton]. Este valor se acerca al valor real obtenido de 2.143.800 [Ton] al año de mineral tratado. Castigando este valor al 50% (trazando el objetivo de capturar solo 50% de este costo oportunidad), es decir, asumiendo que de forma natural hay sincronía o efectos que no alcanzaremos a administrar equivalentes al 50% de las interacciones, el valor posible a capturar son 1.417.200 [ton], de procesamiento que para el caso de nuestra planta concentradora equivale a un 4,7% de tratamiento anual.

Por lo tanto, el valor de este trabajo que se encuentra siendo liderado por la Gerencia de la Planta Concentradora, permitiría capturar o adicionar solo por temas de optimización de recursos y sincronías entre procesos, cerca de la mitad de un mes de producción, lo cual equivale a apalancar nuestro plan de producción anual en cerca de un 4,7% su equivalente a USD\$ 43 MM, lo que a su vez es resorte tanto de la las Gerencias de línea como del cumplimiento de los compromisos de producción establecidos por la compañía ante los dueños.

#### 5.4. DESARROLLO FUNCIÓN MINIMIZACIÓN.

Para poder determinar la relación perfecta entre las interacciones de los equipos críticos, se procedió a realizar una función simple, que permite integrar los equipos y sus interacciones. Esta función involucra la interacción entre equipos y las condiciones de borde que deberían aplicar en cada caso. Esta función se define bajo lo siguiente:

$$F(z) = F(y, z, x, w1, w2, w3)$$

*y* : Chancado Primario.

$$y = F(z)$$

*z* : Molino SAG.

$$x = F(z)$$

*X* : Molino de Bolas.

$$w1 = F(y)$$

*W1* : CH 2°/3°.

$$w2 = F(z)$$

*W2* : Chancado de Pebble.

$$w3 = F(x)$$

*W3* : Molinos Verticales

*\*Los modelos matemáticos utilizados son parte de la información interna de la compañía, y por este motivo solo se entregaran los resultados de esta aplicación.*

Esta función permite visualizar entre escenarios, las horas de restricción entre equipos, sus interacciones y cuáles son las condiciones de borde que podrían aplicarse a cada caso para obtener una optimización de cada proceso.

Las condiciones de borde aplicadas se describen en la tabla 5.6, donde se observan los los tiempos de operación posibles de alcanzar por equipo y los tiempos de mantenimiento que aplica para cada equipo. Con estos antecedentes se procedió a generar las iteraciones correspondientes, que permitan obtener la mejor relación entre interacciones de equipos.

Tabla N°5.6: Condiciones de Borde.

Condiciones de Borde				
Equipos	Tiempo Operativo [Meses]		Tiempo Mantenición [Hr]	
	Min	Max	Min	Max
<i>Molino SAG</i>	5	7	85	120
<i>Molino Bolas</i>	10	14	80	120
<i>Chancador Secundario</i>	1	2	24	36
<i>Chancador Terciario</i>	1	2	12	12
<i>Chancador Primario Mantos</i>	2	4	48	50
<i>Chancador Primario Cónovas</i>	4	6	90	120
<i>Chancador de Pebbles</i>	1	1	12	24
<i>Molino Vertical</i>	4	5	120	120

Con las condiciones de borde ya definidas, se estableció como primera etapa el caso base de análisis y aplicación. El caso base se presenta en la tabla siguiente 5.7.

Tabla N°5.7: Caso Base de Análisis.

MANTENIMIENTOS PRINCIPALES [Hrs]												
EQUIPOS	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<i>Molino SAG</i>	-	-	95	-	-	-	-	-	95	-	-	-
<i>Molinos de Bolas</i>	-	-	100	-	-	-	-	-	100	-	-	-
<i>Chancador Secundario</i>	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
<i>Chancador Terciario</i>	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
<i>Chancador Primario</i>	48	-	110	-	48	-	110	-	48	-	110	-
<i>Chancador de Pebbles</i>	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
<i>Molino Vertical</i>	-	120	-	120	-	120	-	120	-	-	-	-
<b>Total General</b>	<b>108</b>	<b>180</b>	<b>365</b>	<b>180</b>	<b>108</b>	<b>180</b>	<b>170</b>	<b>180</b>	<b>303</b>	<b>60</b>	<b>170</b>	<b>60</b>

Como indica el caso base (Presupuesto 2015-2016 correspondiente a tiempo de detención por equipos). Es posible visualizar las diferencias entre interacciones en tiempos de detención programados en presupuesto, además como ya se presentó en el punto 5.3, estas interacciones generan un costo oportunidad que debe ser capturado.

Para entender el impacto de estas interacciones, se calculan los tiempos de impacto entre equipos. A modo de ejemplificar este análisis en las tablas 5.8 y 5.9, se muestran los resultados asociados a la interacción de los equipos que en términos de tonelaje alcanzan las restricciones más altas. Estos equipos corresponden a la interacción entre el Molino SAG v/s Chancador Primario y Los Molinos de Bolas v/s Chancado 2°. Estos resultados se indican en la tabla 5.8 y 5.9.

Tabla N°5.8: Resultados de Interacciones que producen tiempos de restricción entre el Molino SAG y el Chancado Primario.

Diferencia de Horas Críticas de Restricción													
Horas Críticas de Impacto	ene	Feb	Mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	
<i>Relación SAG v/s CH 1°</i>	48	-	15	-	48	-	110	-	-	-	110	-	
<i>Hrs Acumuladas de Impacto</i>	48	48	63	63	111	111	221	221	221	221	331	331	

Tabla N°5.9: Resultados de Interacciones que producen tiempos de restricción entre el Molinos de Bolas y el Chancado Secundario.

Diferencia de Horas Críticas de Restricción													
Horas Críticas de Impacto	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	
<i>Relación MB v/s CH 2°</i>	24	24	-	24	24	24	24	24	-	24	24	24	
<i>Hrs Acumuladas de Impacto</i>	24	48	48	72	96	120	144	168	168	192	216	240	

Estas horas de restricción se van acumulando cada ejercicio presupuestario, el cuál finalmente alcanzan valores significativos al finalizar el año. Esta tendencia de aumento se gráfica en la figura 5.4.

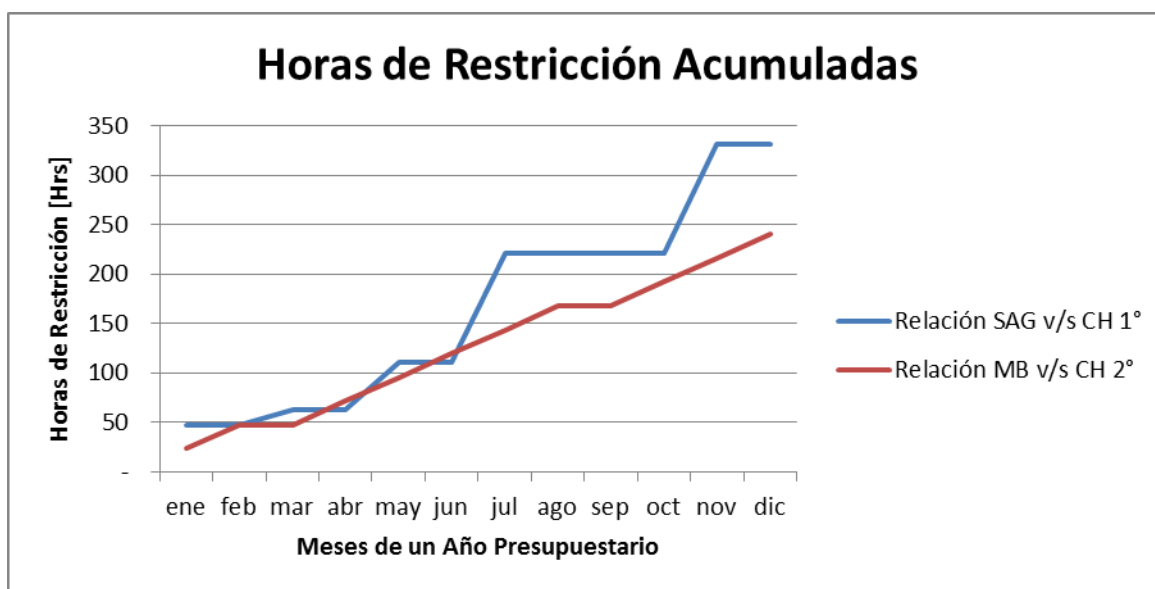


Figura 5.4: Tendencia en horas de restricción de tratamiento.

Esta tendencia (Figura 5.4), es la condición base que debe optimizarse en los escenarios posibles.

Finalmente con la función de minimización de restricciones y el caso base de las horas de restricción producto de las restricciones, se puede aplicar la función y obtener los escenarios posibles que minimicen las restricciones y nos permitan alcanzar el objetivo.

## 5.5. ESCENARIOS DE ANÁLISIS.

Para proponer la mejora alternativa se requirió analizar dos escenarios posibles de implementar que se encontraban en las condiciones de bordes descritas.

Cada escenario analizado debe incluir un proceso de optimización alcanzable en el mediano plazo, con el fin de poder implementar el escenario.

### 5.5.1. Escenario de Optimización N°1.

El primer escenario iterado, tenía como finalidad los siguientes puntos como foco base:

- Referencia Central Chancado Primario.
- Optimización de línea de Chancado terciario.
- Optimización de tiempo de mantenimiento de Molino de Bolas.

Los resultados del análisis de este escenario, generan un presupuesto anual de detenciones como Caso N°1, que trabajaba centrando la respuesta en el Chancador Primario, se presenta en la tabla 5.10.

Tabla N°5.10: Presupuesto Primer Escenario analizado (Caso 1).

MANTENIMIENTOS PRINCIPALES [Hrs]												
EQUIPOS	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<i>Molino SAG</i>	-	-	95	-	-	-	95	-	-	-	95	-
<i>Molinos de Bolas</i>	-	-	80	-	-	-	80	-	-	-	80	-
<i>Chancador Secundario</i>	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
<i>Chancador Terciario</i>	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
<i>Chancador Primario</i>	48	-	110	-	48	-	110	-	48	-	110	-
<i>Chancador de Pebbles</i>	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
<i>Molino Vertical</i>	-	120	-	120	-	120	-	120	-	-	-	-
<i>Total General</i>	96	168	333	168	96	168	333	168	96	48	333	48

Este escenario se traduce en horas de restricción entre equipos que se indicarán para el caso de las dos principales interacciones que impactan en el procesamiento:

- i. Molino SAG v/s Chancado Primario.
- ii. Molino de Bolas v/s Chancado Secundario.



Tabla N°5.11: Horas de restricción de Escenario Propuesto N°1. Interacción Molino SAG v/s Chancado Primario.

Diferencia de Horas Críticas de Restricción												
Horas Críticas de Impacto	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<i>Relación SAG v/s CH 1° Propuesta Optimización N° 1</i>	48	-	15	-	48	-	15	-	48	-	15	-
<i>Hrs Acumuladas de Impacto</i>	48	48	63	63	111	111	126	126	174	174	189	189

Tabla N°5.12: Horas de restricción de Escenario Propuesto N°1. Interacción Molinos de Bolas v/s Chancado Secundario.

Diferencia de Horas Críticas de Restricción												
Horas Críticas de Impacto	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<i>Relación MB v/s CH 2° Propuesta Optimización N° 1</i>	24	24	-	24	24	24	-	24	24	24	-	24
<i>Hrs Acumuladas de Impacto</i>	24	48	48	72	96	120	120	144	168	192	192	216

Los resultados de este escenario, se traducen en lo siguiente:

- ✓ *Reducción de tiempo de restricciones entre SAG y Chancado Primario en 142 horas.*
- ✓ *Se aumenta en una mantención SAG, lo que se traduce en 5 mantenciones en 2 años, es decir una mantención más cada dos años.*
- ✓ *Mayor costo de mantenimiento por más detenciones en el quinquenio.*
- ✓ *Menor procesamiento por mayores tiempos de detención.*
- ✓ *Mayor procesamiento por menor tiempo de restricciones entre Chancado Primario v/s Molino SAG y Molinos de Bolas y Chancado Secundario y Terciario.*
- ✓ *Se requiere optimizar tiempo de cambio de revestimientos Molinos de Bolas.*
- ✓ *Se requiere optimizar Chancado Terciario.*

El comparativo entre el Caso Base y el primer escenario optimizado en términos de horas, es posible visualizarlo en las figuras 5.5 y 5.6.

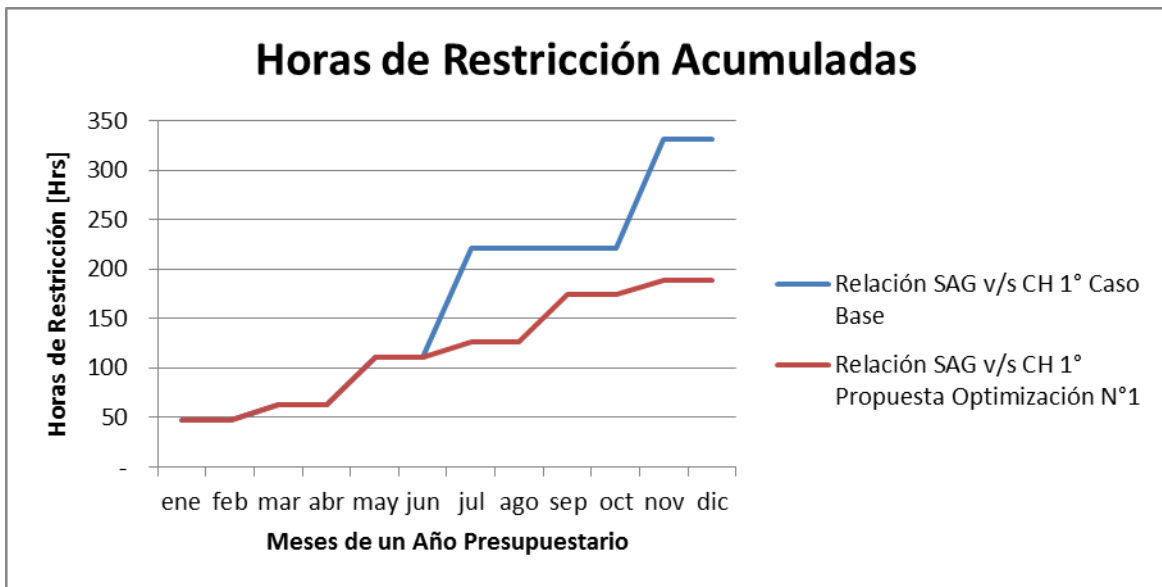


Figura 5.5: Tendencia en horas de restricción de tratamiento de Caso Base y Propuesta N°1 (Caso N°1). Molino SAG v/s Chancado Primario.

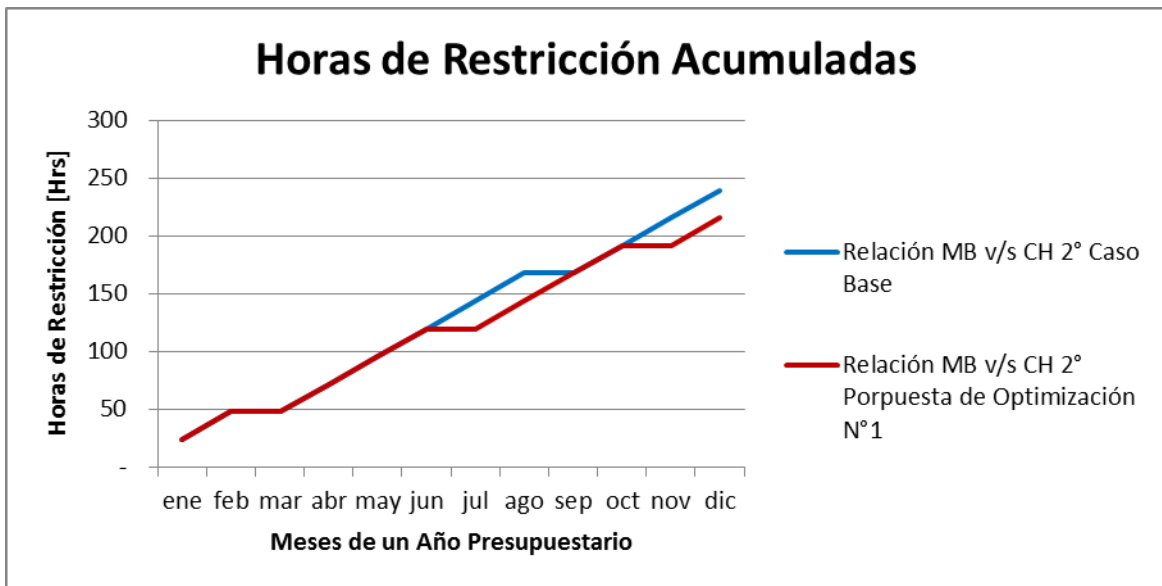


Figura 5.6: Tendencia en horas de restricción de tratamiento de Caso Base y Propuesta N°1 (Caso N°1). Molinos de Bolas v/s Chancado Secundario.

Este escenario al estar centrado en el Chancado Primario, no logra la relación óptima entre los equipos críticos, aun así alcanza un nivel menor de restricción pero a un costo de mantenimiento mayor y un tratamiento total prácticamente equivalente.

Debido a esto se procedió a realizar un segundo escenario pero enfocando la optimización como eje central el Molino SAG.

### 5.5.2. Escenario de Optimización N°2.

El segundo escenario iterado, tenía como finalidad los siguientes puntos como foco base:

- Referencia Central Molino SAG.
- Optimización de línea de Chancado Secundario y Terciario.
- Optimización de tiempo de mantenimiento de Molino de Bolas.
- Optimización de tiempo de Mantenimiento Chancado Primario

Los resultados del análisis de este escenario, generan un presupuesto anual de detenciones como Caso N°2, que trabajaba centrando la respuesta en el Chancador Primario, se presenta en la tabla 5.13.

Tabla N°5.13: Presupuesto Segundo Escenario analizado (Caso N°2). Segunda Propuesta de Optimización.

MANTENIMIENTOS PRINCIPALES [Hrs]												
EQUIPOS	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<i>Molino SAG</i>	-	-	85	-	-	-	-	-	95	-	-	-
<i>Molinos de Bolas</i>	-	-	80	-	-	-	-	-	80	-	-	-
<i>Chancador Secundario</i>	24	-	24		24	-	24	-	24	-	24	-
<i>Chancador Terciario</i>	12	12	-	12	12	-	12	12	-	12	12	-
<i>Chancador Primario</i>	-	-	90	-	-	48	-	-	90	-	-	48
<i>Chancador de Pebbles</i>	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
<i>Molino Vertical</i>	-	120	-	120		120	-	120	-	-	-	
<i>Total General</i>	48	144	301	144	48	180	48	144	301	24	48	60

Este escenario se traduce en horas de restricción entre equipos que se indicarán para el caso de las dos principales interacciones que impactan en el procesamiento:

- i. Molino SAG v/s Chancado Primario.
- ii. Molino de Bolas v/s Chancado Secundario.

Tabla N°5.14: Horas de restricción de Escenario Propuesto N°1. Interacción Molino SAG v/s Chancado Primario.

Diferencia de Horas Críticas de Restricción											
Horas Críticas de Impacto	en	fe	ma	ab	ma	ju	ag	se	oc	no	di
	e	b	r	r	y	n	o	p	t	v	c
<i>Relación SAG v/s CH 1° Propuesta Optimización N° 2</i>	-	-	-	-	-	48	-	-	-	-	48
<i>Hrs Acumuladas de Impacto</i>	-	-	-	-	-	48	48	48	48	48	96

Tabla N°5.15: Horas de restricción de Escenario Propuesto N°1. Interacción Molinos de Bolas v/s Chancado Secundario.

Diferencia de Horas Críticas de Restricción											
Horas Críticas de Impacto	en	fe	ma	ab	ma	ju	ag	se	oc	no	di
	e	b	r	r	y	n	o	p	t	v	dic
<i>Relación MB v/s CH 2° Propuesta Optimización N° 2</i>	24	-	-	-	24	-	24	-	-	24	-
<i>Hrs Acumuladas de Impacto</i>	24	24	24	24	48	48	72	72	72	96	96

Los resultados de este escenario, se traducen en lo siguiente:

- ✓ *Reducción de tiempo de restricciones entre SAG y Chancado Primario en 235 horas.*
- ✓ *Se reducen la cantidad de detenciones anuales en Chancado Primario.*
- ✓ *Se reducen la cantidad de detenciones anuales en Chancado Secundario y Terciario.*
- ✓ *Menor costo de mantenimiento por menor cantidad de detenciones en el quinquenio.*
- ✓ *Mayor procesamiento por menor tiempo de restricciones entre Chancado Primario v/s Molino SAG y Molinos de Bolas v/s Chancado Secundario y Terciario.*
- ✓ *Se requiere optimizar tiempo de cambio de revestimientos Molinos de Bolas.*
- ✓ *Se requiere optimizar Chancado Primario.*
- ✓ *Se requiere optimizar Chancado Secundario y Terciario.*

El comparativo entre el Caso Base y el primer escenario optimizado en términos de horas, es posible visualizarlo en las figuras 5.7 y 5.8.

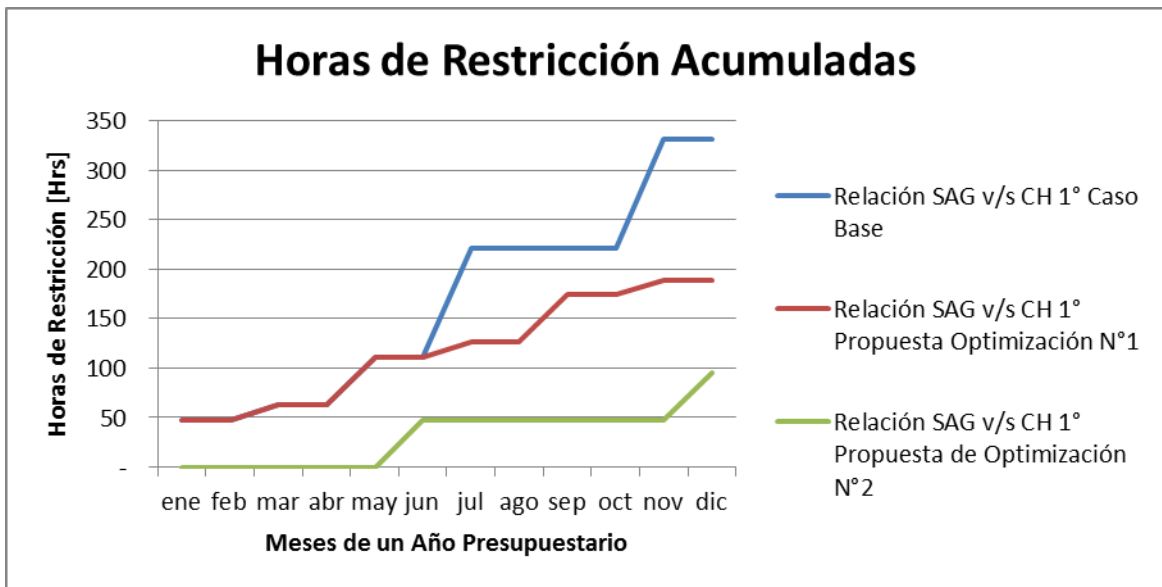


Figura 5.7: Tendencia en horas de restricción de tratamiento de Caso Base y Propuesta N°2 (Caso N°2). Molino SAG v/s Chancado Primario.

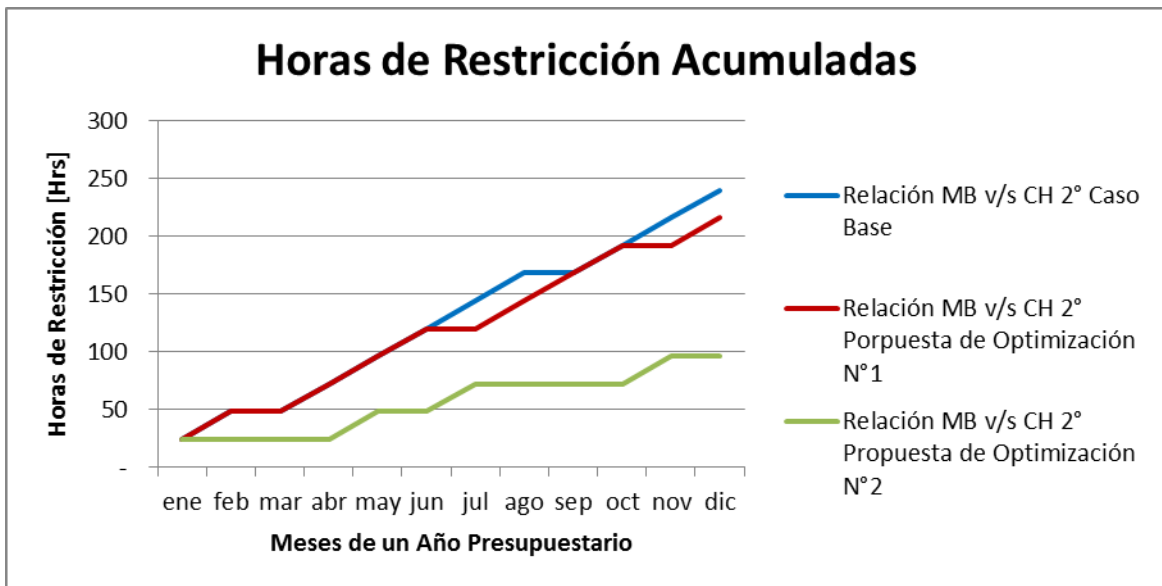


Figura 5.8: Tendencia en horas de restricción de tratamiento de Caso Base y Propuesta N°2 (Caso N°2). Molinos de Bolas v/s Chancado Secundario.

El segundo escenario presentado, el cual está centrado en el Molino SAG, permite obtener una relación óptima entre los equipos de la línea crítica. Alcanza la mínima restricción del proceso y con un menor costo de mantenimiento y menos intervenciones de la línea. Esta estrategia será definida como el objetivo de implementación de este proyecto.

Para poder implementar esta estrategia, se debe trabajar en un proceso de optimización en las líneas que requieren mayor disponibilidad.

## 5.6. PROCESO DE OPTIMIZACIÓN DE ACTIVOS.

Para desarrollar la estrategia presentada en el punto 5.5, se debe previamente optimizar el comportamiento de los activos, esto bajo las condiciones de borde mencionadas en el punto 5.4. Esta optimización, es fundamental para poder dar cumplimiento al escenario de estratégico definido en el punto anterior, debido a que si no generamos un proceso que busque optimizar duraciones y tiempos de mantenimiento, no se lograría cumplir el objetivo.

Este proceso consiste en aplicar optimizaciones a equipos en paralelo, en base al siguiente plan de trabajo:

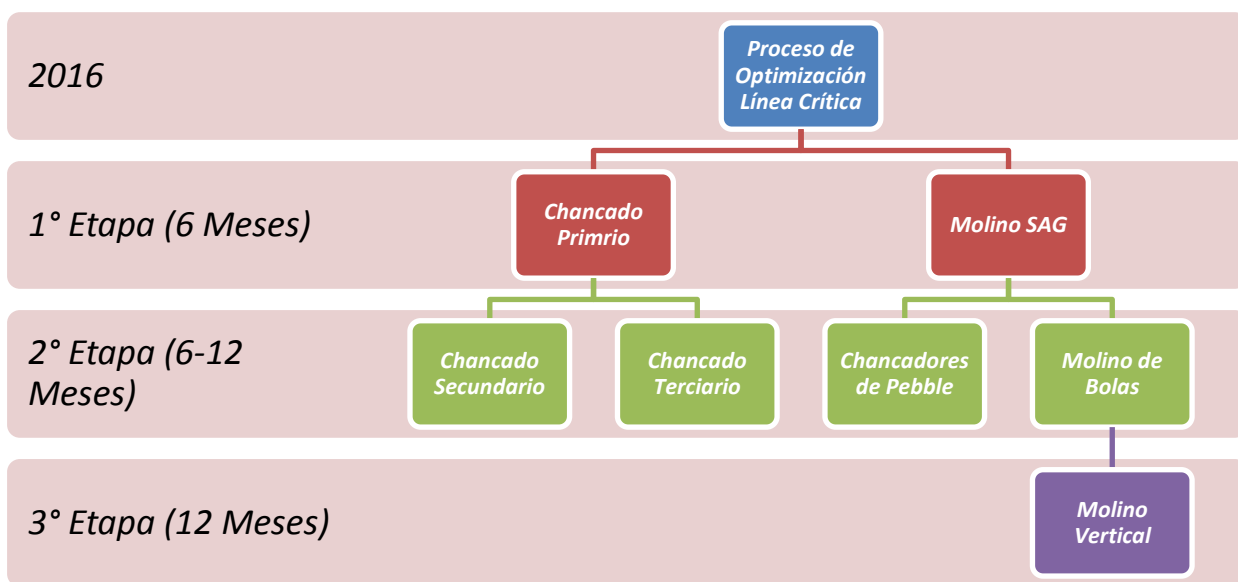


Figura 5.9: Etapas del Proceso de Optimización de Activos.

Como se visualiza en la figura 5.9, el proceso de mejoras y optimización de activos contemplará 3 etapas. Estas etapas contemplan trabajar primero en los equipos que más impactan en términos de restricción y continuidad de marcha, es decir, impacto directo en la producción. La segunda etapa contempla el proceso de optimización de los equipos de segunda línea de criticidad, donde existe un impacto moderado en la disponibilidad y tratamiento. Finalizando en la tercera etapa con los equipos que tienen un impacto menor dentro de la línea crítica ya definida.

Este proceso de optimización contempla su desarrollo e implementación a lo largo del 2015-2016, donde su evaluación completa debe realizarse en el ejercicio presupuestario del 2016.

### 5.6.1. Etapa N°1 Proceso de Mejora y Optimización.

Este proceso contempla una duración entre desarrollos e implementación de 6 meses (inicio y termino de dos campañas), lo cual consiste en aplicar mejoras que optimicen tanto tiempos de mantención como rendimientos (Duración de campaña) y tiempos de detención de equipo (Minimizar los tiempos). Cada etapa y mejora aplica a los dos equipos más críticos (Chancado Primario y Molino SAG), se detalla en los siguientes puntos:

#### 5.6.1.1. Proceso de Mejora y Optimización Chancado Primario.

Este proceso para el Chancador Primario, engloba tres aspectos fundamentales rendimiento, tiempos de equipo en Shut-Down y tiempos de intervención.

- *Rendimiento:* La obtención del máximo rendimiento de este equipo, se realizó en base a la modificación de proveedor y perfiles de revestimientos, esto permitió que el equipo pueda llegar a trabajar en su máximo TPH y mayor tonelaje acumulado por Campañas.

El proceso de mejora contemplo modificaciones de cámara de chancado, las cuales tenían como objetivo mejorar el TPH, es decir alcanzar el máximo TPH a la partida y mantenerlo hasta el final de la campaña. Esta modificación se muestra en la figura 5.10. Con esta modificación cambian las razones de compresión y expansión de la cámara de Chancado por una nueva razón volumétrica desarrollada por Centinela (Ver figura 5.11).

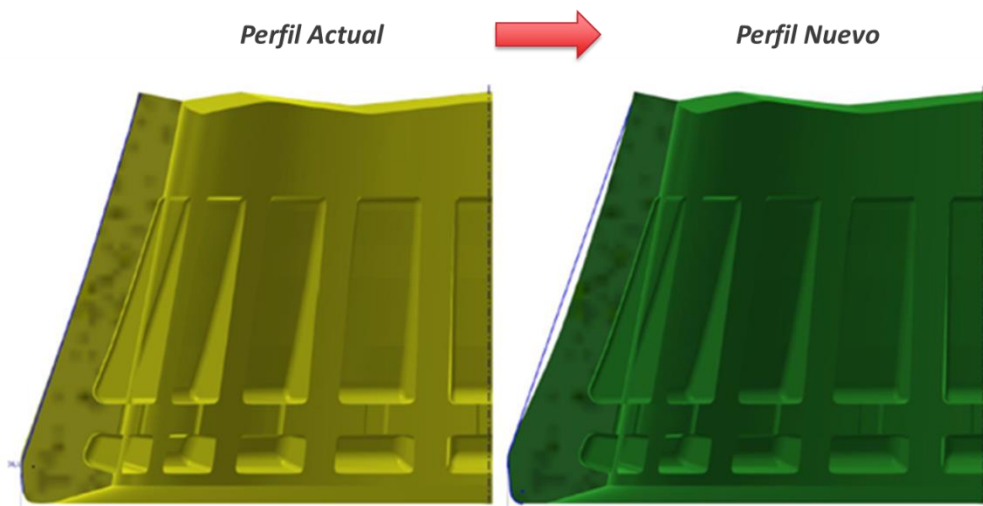


Figura 5.10: Modificación del perfil del manto inferior del Chancado Primario.

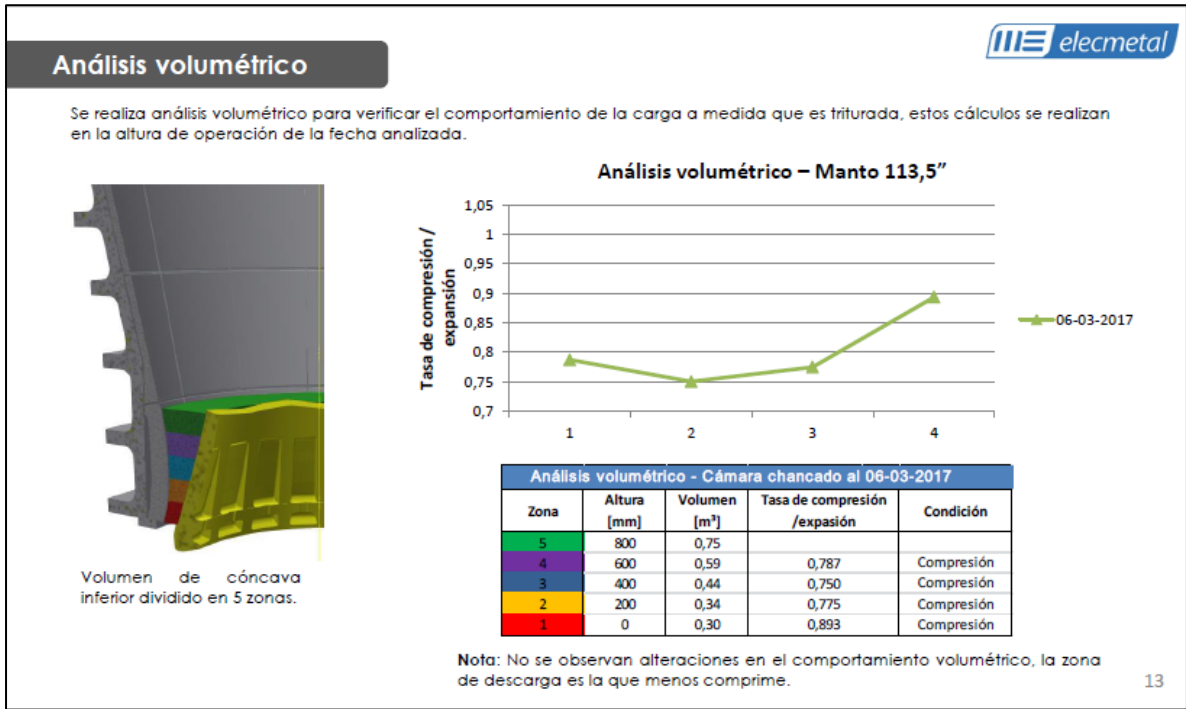


Figura 5.11: Nueva Razón de volúmenes del Chancado Primario.

Con esta modificación, se comenzaron a evaluar las tasas de desgaste de los diferentes perfiles. Se redujo la tasa de desgaste (Ver figura 5.12). Con esto se logra alcanzar un tonelaje y tiempo mayor de operación del Chancador.

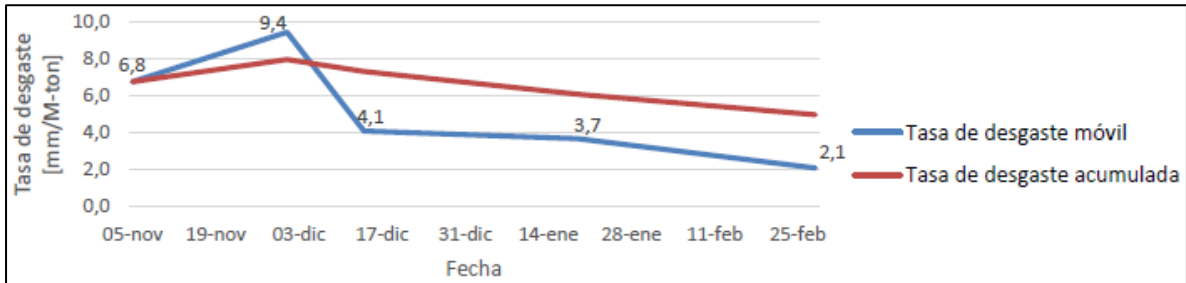


Figura 5.12: Tasas de Desgaste después del cambio.

Con esta modificación, se aumentó la vida útil de los componentes pasando de 14 [MMTon] a 18 [MMTon]. Gracias a esto, se logró ajustar el cambio de Cóncavas del Chancador Primario (Componente más Crítico), con el cambio de componentes del Molino SAG, uno de los aspectos más importantes para hacer frente al escenario estratégico requerido. Ver figura 5.13.



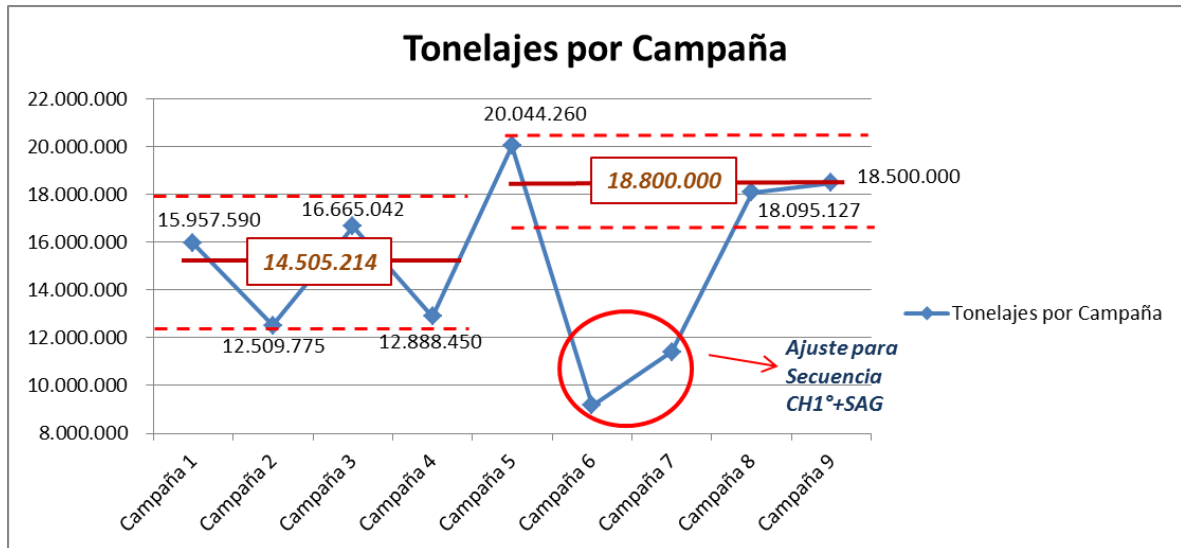


Figura 5.13: Aumento de Tonelaje Acumulado del equipo y ajuste con Molino SAG

Como se observa en la figura 5.13, la obtención del máximo rendimiento de este equipo, alcanza tratamiento equivalentes al Molino SAG. Para ajustar la estrategia objetivo, se generan dos campañas de ajuste que permiten alinear Molino SAG y Chancado primario a los 6 meses de cambio.

- *Tiempo de equipo en Shut-Down:* Dada las mejoras en rendimiento indicadas en las figuras 5.12 y 5.13, se redujeron los tiempos de detención de los equipos para mantenimiento del Chancador Primario, dado que se utilizaron menos componentes en el mismo año calendario (Ver figura 5.14).

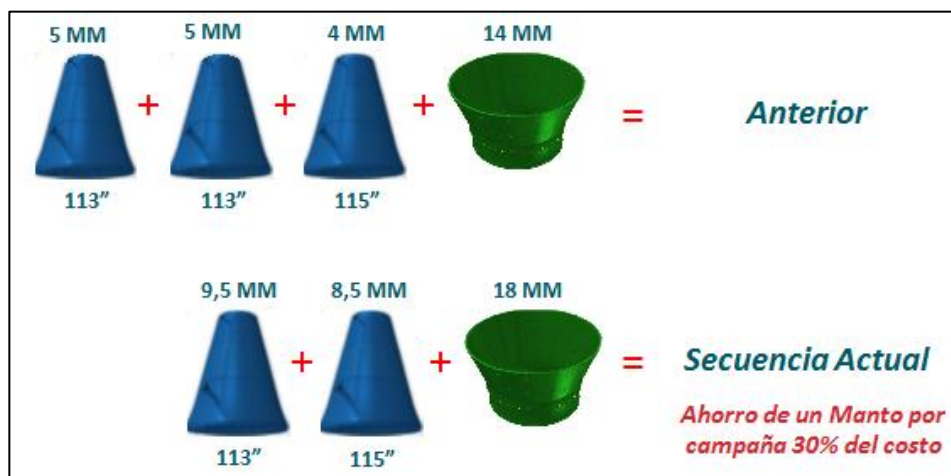


Figura 5.14: Cambio de Secuencias de Mantos por Campaña.

Finalmente, con la reducción del número de intervenciones se logra una mayor disponibilidad, lo cual se traduce en mayor cantidad de horas para operar, las cuales alcanzan las 246 [hrs].

Tabla N°5.16: Horas de Disponibilidad alcanzadas con Optimización de Activos.

<b>HORAS DISPONIBLES PARA OPERAR (MAYOR DIPONIBILIDAD)</b>				
<b>Componentes Chancador Primario</b>	<b>Cantidad de Intervenciones al año Estado Actual</b>	<b>Horas de Intervención Estado Actual</b>	<b>Cantidad de Intervenciones al año Nueva Estrategia</b>	<b>Horas de Intervención Nueva Estrategia</b>
<i>Mantos</i>	6	48	4	48
<i>Cóncavas</i>	3	110	2	90
<b>Total Horas</b>	<b>618</b>		<b>372</b>	
<b>Horas Disponibles</b>		<b>246</b>		

- *Tiempos de Intervención:* Respecto a los tiempos de intervención, se desarrolló un sistema de montaje con carruseles, el que mejora ro los tiempos de montajes como se indica en la tabla 5.16, pasando de 110 a 90, lo que suman 15 horas menos de un equipo fuera del proceso.

#### **5.6.1.2. Proceso de Mejora y Optimización Molino SAG.**

Este proceso consiste en aplicar mejoras que optimicen tanto tiempos de mantención como rendimientos (Duración de campaña) y tiempos de detención de equipo (Minimizar los tiempos). Cada etapa y mejora aplicada se detalla en los siguientes puntos.

- *Rendimiento:* El Molino SAG, debió pasar por procesos diferentes de optimización y evolución a través de un largo tiempo con la finalidad de obtener componentes que pudiesen cumplir lo establecido en la estrategia requerida, respecto a tiempo de duración y cambio de piezas.

Las modificaciones se realizaron en la mayor parte de los componentes del equipo. En la figura 5.15 se muestra cuáles fueron los cabios impulsados en los diferentes componentes de la tapa de alimentación hasta la modificación actual. En la figura 5.16, se muestra la evolución de los componentes mayores de la tapa de descarga del Molino y la evolución al día de hoy, que permiten alcanzar altos rendimientos.

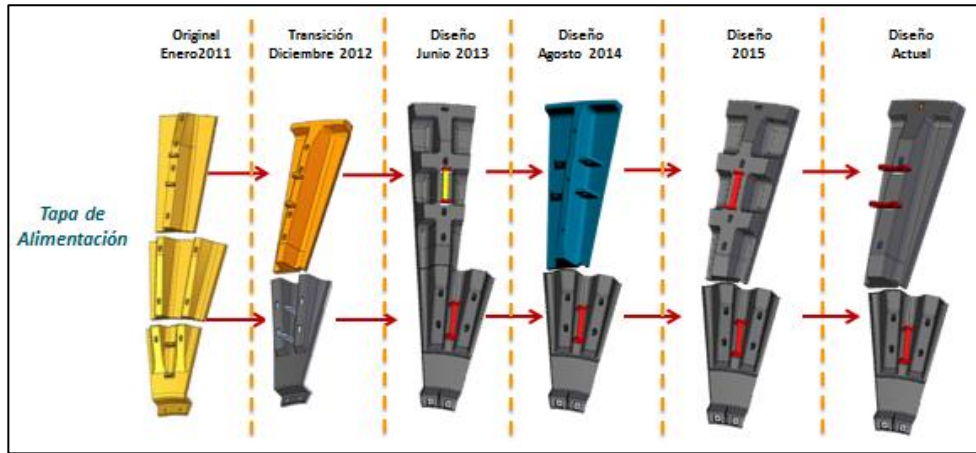


Figura 5.15: Cambios y evolución de componentes en tapa de alimentación Molino SAG.

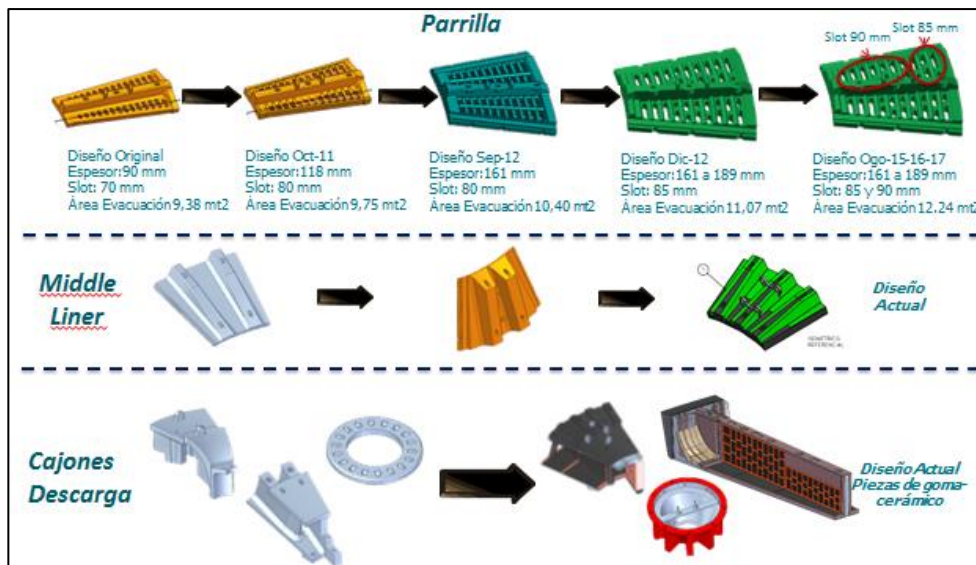


Figura 5.16: Cambios y evolución de componentes en tapa de descarga Molino SAG.

Las modificaciones generadas en los diferentes componentes del Molino, le permitieron alcanzar mayores tratamientos por campaña (más duración y más tiempo de operación). Estos rendimientos pasaron de un promedio de 12,5 [MMTon] a 17,5 [MMTon], lo que permitió alcanzar operaciones de 6 meses (Ver figura 5.17). Con estos valores, se alinean los dos equipos más críticos de esta línea de proceso el Molino SAG y el Chancador Primario.

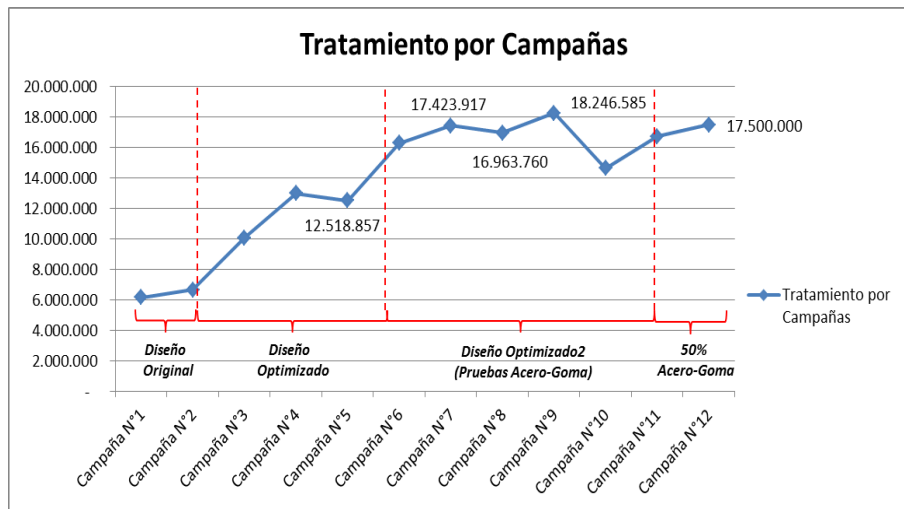


Figura 5.17: Mejora en rendimiento a lo largo de las campañas del Molino SAG.

- **Tiempo de equipo en Shut-Down:** Con los valores de rendimientos alcanzados por los proceso de optimización ya indicados en el punto anterior (Ver Figura 5.17). Los tiempos de detención alcanzan los 6 meses dejando dos intervenciones principales al año ajustados los equipos de Chancado y Molienda. Finalmente se alcanza la sincronía entre intervenciones la cual se indica en la tabla 5.17.

Tabla N°5.17: Sincronía entre intervenciones de Chancado Primario y Molino SAG.

Equipos	Intervenciones de Mantenimiento											
	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16	may-16	jun-16	jul-16	ago-16	sep-16	oct-16	nov-16	dic-16
<b>LINERS MOLINO SAG</b>												
TAPA ALIMENTACIÓN			1						1			
CILINDRO			1						1			
TAPA DESCARGA			1						1			
<b>LINERS CHANCADO PRIMARIO</b>												
Mantos			1			1			1			1
Concavas			1						1			

- **Tiempos de Intervención:** Otro aspecto importante en el proceso de optimización, consistió en mejorar los tiempos de intervención en los equipos. Para lograr dar cumplimiento a esta parte de la estrategia, se procedió con desarrollos y pruebas con componentes fabricados especialmente para ser desmontados y que redujeran el tiempo de duración de las intervenciones de los equipos de alta criticidad. Un ejemplo de estas modificaciones se muestra en la Figura 5.18.

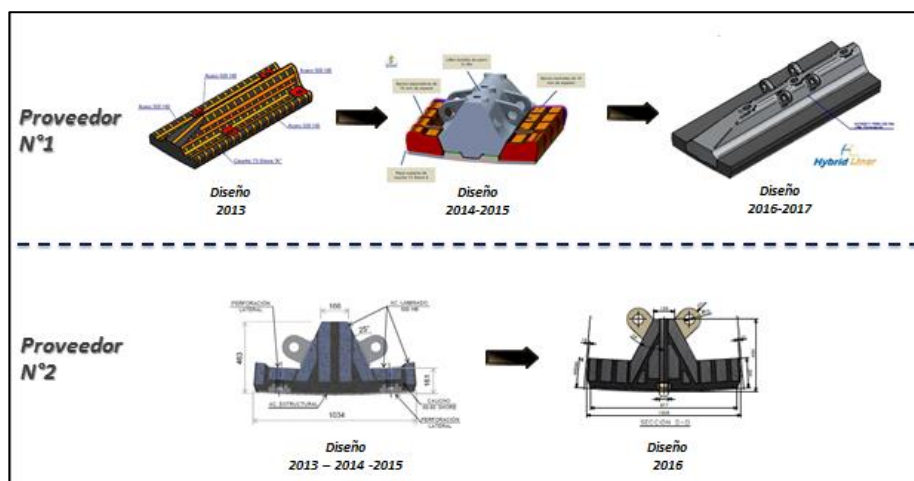


Figura 5.18: Mejoras para reducción de tiempos de Mantenimiento.

Las modificaciones realizadas, lograban disminuir los tiempos de mantenimiento del equipo en aproximadamente 15 horas. Al alcanzar un Molino al 50% con las piezas de Acero-Goma (piezas que permitían optimizar los tiempos de botado y reducir riesgo a las personas). Este resultado es vital para el cumplimiento de la estrategia definida.

Finalmente con estas modificaciones el equipo ya se encontraba cumpliendo los aspectos requeridos en la estrategia.

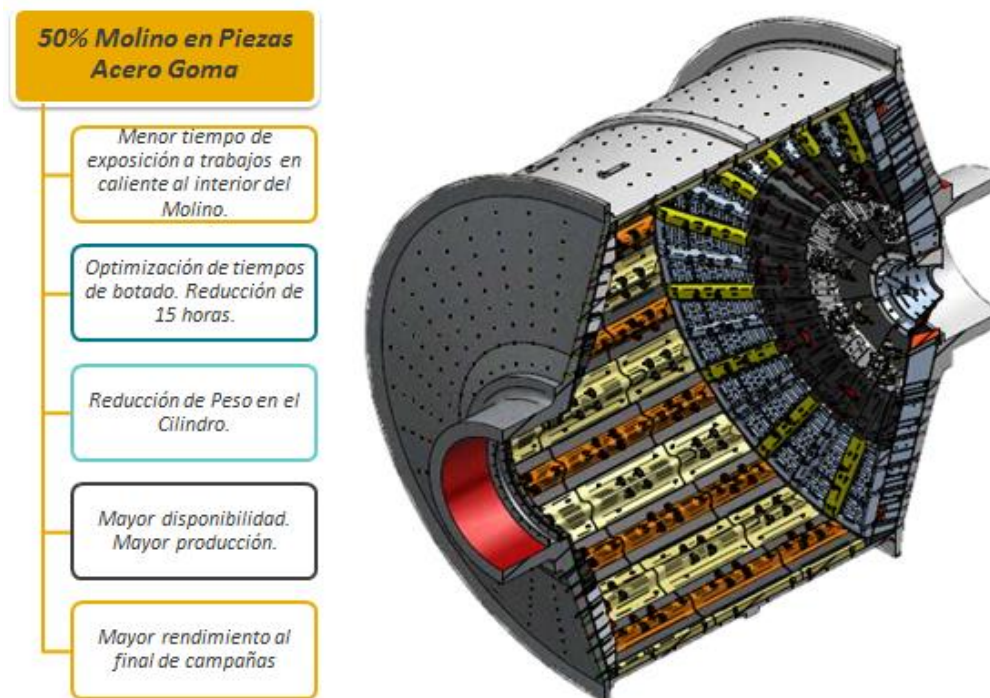


Figura 5.19: Mejoras para reducción de tiempos de Mantenimiento.

### 5.6.2. Etapa N°2 del Proceso de Mejora y Optimización.

Este proceso consiste en aplicar mejoras que optimicen tanto tiempos de mantención como rendimientos (Duración de campaña) y minimizar los tiempos de detención de equipo. Esta segunda etapa contempla el Chancado Secundario y Terciario, los Chancadores de Pebble y los Molinos de Bolas.

- *Rendimiento:* Para mejorar los rendimientos y hacer cumplir la estrategia ya definida, se procedió a mejorar cada uno de los equipos mencionados.

Como primera parte de esta segunda etapa de optimización, se modificaron las aleaciones de los equipos de chancado para alcanzar mayores rendimientos. Esta modificación permitió alcanzar mayores tratamientos, lo que equivalió a un 60% más de rendimiento en los equipos de Chancado. Un ejemplo de esta mejora, se indica en la figura 5.20., donde se muestran los resultados de la mejora con el proveedor Elecmetal que contemplaba una diferente aleación y que se implementó en los equipos de Chancado Secundario, Terciario y Pebble.

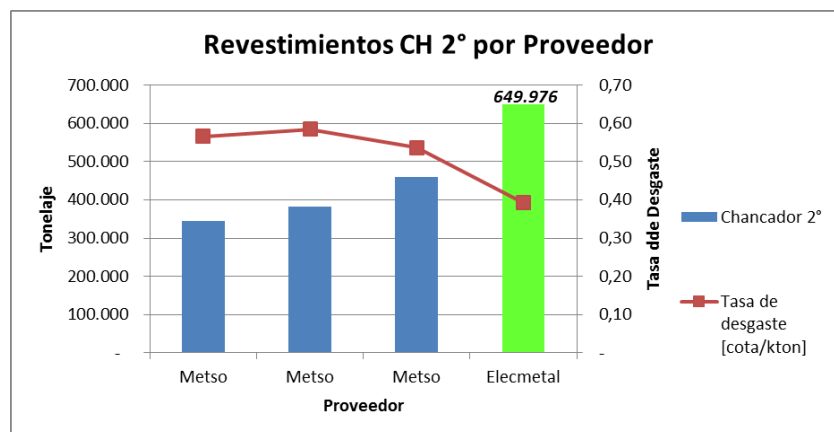


Figura 5.20: Aumento de rendimiento en tonelaje de los equipos de Chancado.

Estos mayores rendimientos logran alinear la estrategia, sincronizando los equipos mayores (Chancado Primario y Molino SAG), dejando un gap en caso de ser necesario.

Para el caso del Molino de Bolas, también se mejoraron los diseños y el rendimiento para alcanzar los 12 a 14 meses de duración, esto a través del perfil y altura de los revestimientos de los Molinos de Bolas. Esta modificación se muestra en la figura 5.21.

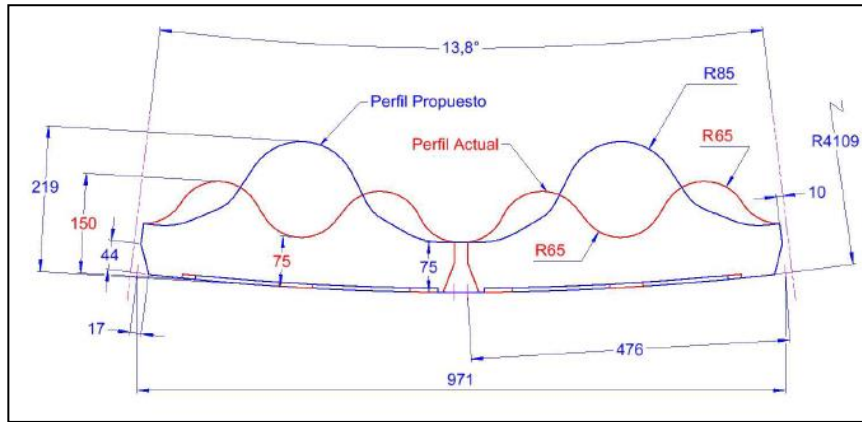


Figura 5.21.: Modificación de Perfil Molino de Bolas.

- Tiempo de equipo en Shut-Down:** Como se mostró en el punto anterior, al mejorar los rendimientos de los equipos, aumentó la vida útil de los componentes. Esto se traduce en menores intervenciones en un año presupuestario. Como se indica en la figura 5.22, las mayores duraciones permiten desplazar las intervenciones entre estos equipos por su mejor rendimiento.

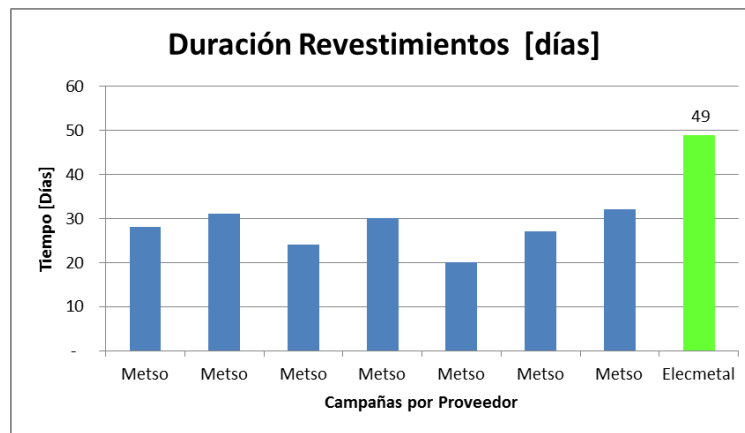


Figura 5.22: Aumento de tiempo de duración de equipos de Chancado por cambio de aleación.

Los altos rendimientos obtenidos, permiten alinear nuevamente la estrategia en su fase dos. Esto gracias a que los equipos pueden desplazar sus intervenciones dado la nueva extensión de sus campaña, permitiendo una mayor disponibilidad de las líneas de Chancado y una menor restricción al proceso.

Tabla N°5.18: Mayor Disponibilidad por menores horas de intervención.

<b>HORAS DISPONIBLES PARA OPERAR (MAYOR DIPONIBILIDAD)</b>				
<b>Equipos de Chancado</b>	<b>Cantidad de Intervenciones al año Estado Actual</b>	<b>Horas de Intervención Estado Actual</b>	<b>Cantidad de Intervenciones al año Nueva Estrategia</b>	<b>Horas de Intervención Nueva Estrategia</b>
<b>Ch 2°</b>	<b>12</b>	<b>24</b>	<b>6</b>	<b>24</b>
<b>Ch 3°</b>	<b>12</b>	<b>24</b>	<b>8</b>	<b>12</b>
<b>Total Horas</b>	<b>288</b>		<b>168</b>	
<b>Horas Disponibles</b>		<b>120</b>		

- Tiempos de Intervención:** Los tiempos de intervención de los equipos se fueron reduciendo en esta segunda fase, llegando en las etapas de Chancado a reducir a la mitad y en los Molinos de Bolas en prácticamente 20 horas. Para ejemplificar una modificación que impacta directo en los tiempos de intervención, el Molino de bolas procedió a modificar su tipo de revestimientos de desgaste en una fusión de secciones de más de una pieza, lo que a su vez se tradujo en una reducción en cantidad de piezas de 208 a 104, lo que redujo el tiempo de intervenciones del Molino de Bolas. Esta Modificación se aprecia en la figura 5.23.

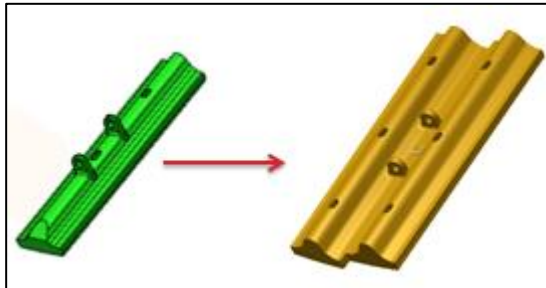


Figura 5.23: Modificación de piezas Molino de Bolas.

### 5.6.3. Etapa N°3 del Proceso de Mejora y Optimización.

Este proceso consiste en aplicar mejoras que optimicen los rendimientos de los componentes de desgaste de los Molinos Verticales (Duración de campaña). Eso con la finalidad de ajustar y alinear mantenciones que generen un impacto mínimo en el proceso. Esta mejora se basó en la modificación de los perfiles del revestimiento del Molino para alcanzar un mayor tratamiento (Ver figura 5.24).



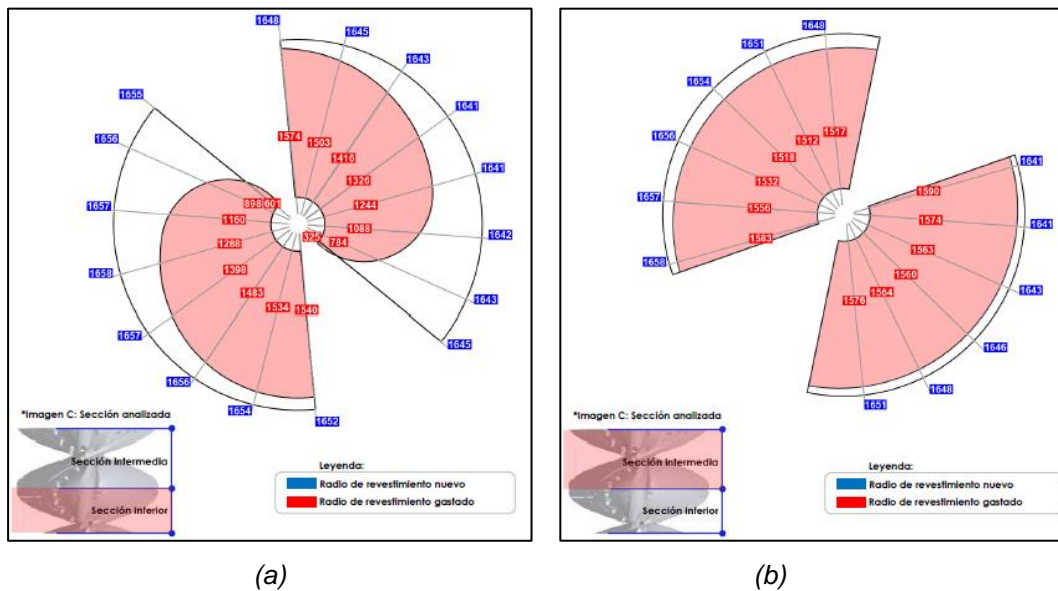


Figura 5.24: Modificación de perfil para mayor duración Molinos Verticales: (a) Puntera Inferior; (b) Punteras Intermedias.

Gracias esta modificación la campaña de este equipo paso de los 5 meses a los 6 meses (Operación efectiva).

Con todas las modificaciones presentadas en este punto, las cuales se fundamentaban en mejorar rendimientos, tiempos de intervención y alinear equipos con duraciones equivalentes, para los equipos principales de la línea crítica (Chancado Primario y Molino SAG) y para los equipos que generan restricción en un segundo y tercer nivel (Chancadores Secundario, Terciarios, Molinos de Bolas y Molinos Verticales). Con estas modificaciones, se logra hacer frente a la estrategia objetivo que se planteó en el punto anterior que buscaba alinear los principales equipos.

## 6. PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN

Con los antecedentes presentados en el Capítulo 5, donde está definida la propuesta de optimización y todo el proceso para llegar a ella, junto con las diferentes revisiones técnicas que permiten su viabilidad. Se presenta la última arte de este trabajo que es el proceso de implementación que se llevó a cabo. Este proceso se llevó a cabo bajo las siguientes etapas:

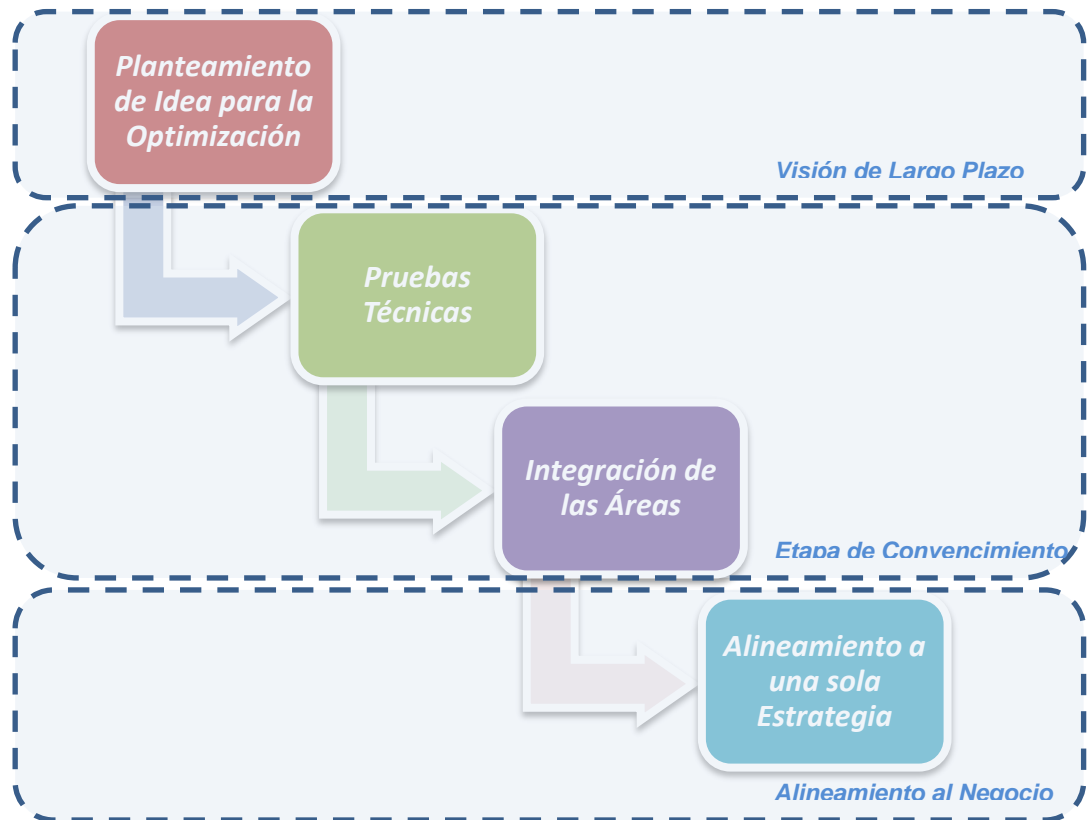


Figura 6.1: Proceso de Implementación de Estrategia.

Estas etapas son los pasos que se debieron dar en la organización, en la búsqueda de implementar este proceso de optimización. Este proceso consistía en plantear una visión de largo plazo, generar un convencimiento dentro de la organización y finalmente alinear a las diferentes áreas en una sola estrategia, que permita implementar esta idea en el negocio.



## 6.2. PRUEBAS TÉCNICAS.

La segunda etapa de este proceso de implementación consistió en las pruebas de los desarrollos técnicos que se mencionan en el punto 5.6. Las pruebas de cada uno de los desarrollos, siguieron un exhaustivo protocolo de prueba, enfocado en proteger el impacto en el negocio. Este protocolo consideraba los siguientes aspectos:



Figura 6.3: Focos de los Protocolos de Prueba.

Como la incorporación de desarrollos en los equipos críticos de la compañía requería del compromiso y revisión completa de diferentes actores, se definieron los aspectos de la figura 6.3, como parte fundamental de una prueba. Estos aspectos fueron definidos para la organización como:

- **Descripción Técnica:** La descripción técnica correspondió al fundamento e ingeniería que soportaban las propuestas. Estas incluían factibilidad, análisis de tiempos de implementación y finalmente el análisis de los resultados una vez realizada la prueba.
- **Beneficios Esperados:** Esta etapa consistía en evaluar el beneficio esperado de cada prueba y marcaba los objetivos que se habían trazado. Además la revisión del cumplimiento de dichos beneficios.
- **Análisis de Riesgo:** Esta etapa era la más importante del proceso y consistió en realizar el análisis de riesgo completo, que involucraba a todas las áreas y especialidades de la compañía el cuál debía considerar las amenazas para cada uno de los actores y los planes de respuesta ante ellas. Los actores involucrados en este proceso de análisis de riesgo se detallan en la figura 6.4.

# Análisis de Riesgo



Figura 6.4: Actores involucrados en el Análisis de Riesgo.

Con los protocolos ya generados en base a su definición, se confeccionaron para cada uno de los equipos y optimizaciones requeridas. A modo de ejemplo se muestran tres protocolos de prueba utilizados en este proyecto (Ver Figura 6.5).

Figura 6.5: Protocolos de Prueba Línea Crítica.

## 6.3. INTEGRACIÓN CON LAS ÁREAS.

Un segundo aspecto clave para la implementación de esta estrategia de optimización, consistió en el involucramiento de las áreas. Como se observa en la figura 6.3 y 6.4. Este involucramiento consiste en hacer partícipe de la evaluación de los diseños, revisión de implementaciones y toma de conocimiento de cada diseño. Esta integración es posible

visualizarla en las reuniones de revisión con las áreas y en la participación de todos los equipos de trabajo en cada toma de decisión (Ver figura 6.6).

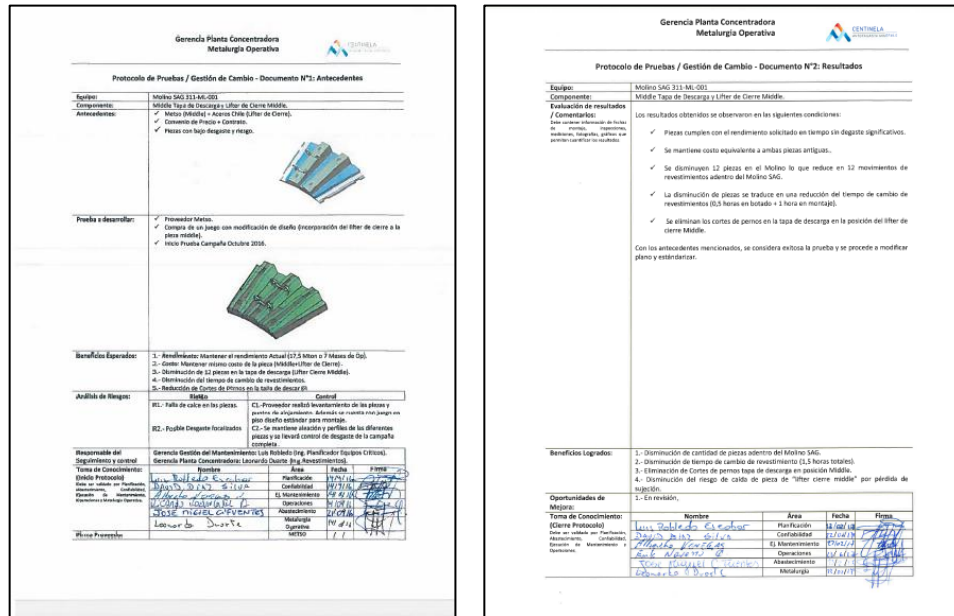


Figura 6.6: Toma de conocimiento por parte de todas las áreas operativas y administrativas.

Finalmente como consecuencia de esta toma de conocimiento y trabajo integrado entre las áreas, se dio inicio a un ciclo de Pruebas y Gestiones de cambios bastante fructífero, que permitió el desarrollo e implementación de estas iniciativas, aspecto fundamental para alcanzar la estrategia planteada en este informe. Esta forma de trabajo se definió bajo el ciclo presentado en la figura 6.7.

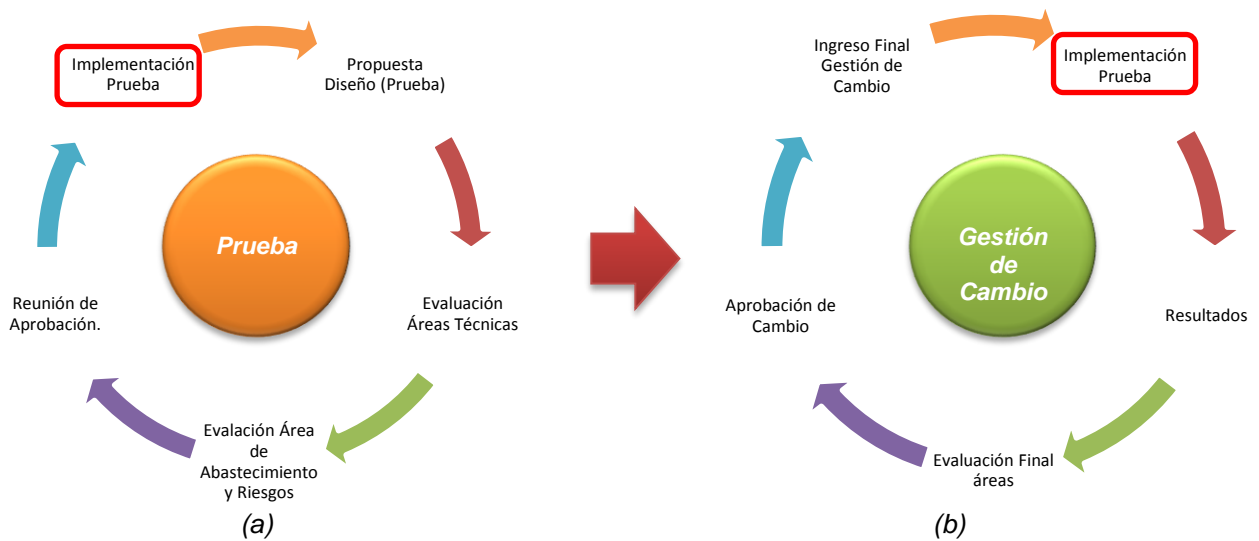


Figura 6.7: Ciclos del Proceso de Optimización; (a) Ciclo de Prueba; (b) Ciclo de Cambio.

#### 6.4. ALINEAMIENTO A UNA SOLA ESTRATEGIA.

Como parte final del proceso de implementación de la estrategia y con las áreas participes de cada uno de estos procesos de implementación (diseños, puesta en servicio y resultados), se procedió a realizar un alineamiento de esta propuesta como una estrategia del negocio, la cual define como se enfrentaría el programa quinquenal (2017 – 2021), de producción y detenciones de Planta.

Para alinear a la organización, se procedió a ajustar el presupuesto bajo la siguiente definición:



*Figura 6.8: Definición de Alineamiento para el negocio.*

Como se aprecia en la figura 6.8, este alineamiento consistió en considerar alimentar tanto los planes de producción como el de mantenimiento (detenciones), con esta nueva estrategia y con ello conseguir el objetivo deseado de retorno en disponibilidad y tonelaje.

El alineamiento queda ejecutado completamente al incorporar los resultados de esta estrategia a los programas de presupuesto del quinquenio presente. Esta incorporación se presentó en el programa de presupuesto del 2016 para el 2017 y consideró la implementación a cabalidad de la estrategia trabajada. (Ver figura 6.9)

(a)

(b).

Figura 6.9: Programa de Presupuesto de Detenciones y Mantenciones: (a) Equipos de Molienda; (b) Equipos de Chancado.

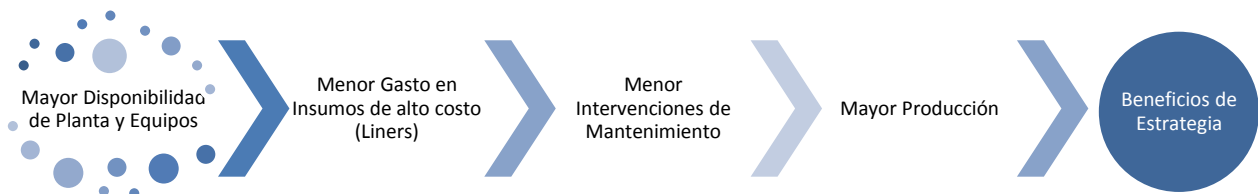
Al realizar la incorporación en el presupuesto, ya se considera parte de la estrategia que la compañía y plan de producción y mantenimiento que Minera Centinela se compromete a alcanzar durante los próximos cinco años.

Es importante señalar que todo este proceso de implementación tuvo lugar durante el año presupuestario 2016, donde se implementaron todas estas mejoras e ideas, en un proceso de marcha blanca que duró los 12 meses de año. Este proceso tenía la finalidad de revisar la efectividad de la estrategia, además de medir los resultados que se fueran produciendo sin impactar de lleno los procesos presupuestarios de ese año, sino más bien, como una iniciativa de productividad y costo (PCC).



## 7. RESULTADOS.

Para finalizar este trabajo, donde se definió la estrategia de optimización que se quería alcanzar y los pasos para llegar a ella, se procedió a revisar los resultados del ejercicio año 2016, donde esta estrategia desarrollo su marcha blanca con la incorporación de optimización en sus equipos, en sus procesos y la relación optima en la línea crítica que permitía reducir restricciones por equipos que no se encontraban disponibles. En función a esto debemos considerar los resultados como una suma de beneficios la que está definida en la figura 7.1.



*Figura 7.1: Beneficios de la Incorporación de la Estrategia para reducir impactos entre equipos de la línea Crítica.*

Los beneficios de la implementación de este proyecto y su definición de la estrategia, surgen de las mejores interacciones entre los equipos que a su vez generan una mayor disponibilidad de la línea crítica. El efecto de aumento en disponibilidad se traduce a su vez en un menor gasto en componentes de desgaste por su mayor tiempo operativo, esto a su vez en menores intervenciones de estos equipos que disminuyen los fastos de mantenimiento. Finalmente esta mayor disponibilidad se traduce a su vez en campañas de mayor tratamiento y tonelaje por equipos. Se detallan a continuación cada uno de estos resultados.

### 7.1. REDUCCIÓN DE GASTOS EN INSUMOS (LINERS).

Dada los procesos de optimización detallados en el punto 5 y la implementación de la estrategia recomendada como el escenario que contaba con la mejor optimización de proceso, se materializaron estas mejoras durante el año presupuestario 2016 y se absorbieron los ahorros respecto a los ítem de insumos de liners (Componentes de mayor costo, los cuales definen tiempos y frecuencia de intervención de la planta concentradora). Esta materialización se puede observar en la figura 7.2 que corresponde a la hoja de insumos del reporte oficial de Minera Centinela FY 2016. Este reporte indica una desviación positiva en todos los ítems de línea crítica definida en este trabajo. Cada línea de costo presenta valores positivos, que en su conjunto suman K\$USD 3.493.

Con lo antes indicado, podemos destacar que durante este proceso de optimización el primer resultado claro, es un ahorro anual de 3,5 millones de dólares en

un menor consumo de liners (revestimientos). Esto gracias a la implementación de la estrategia de optimización. Proyectando este menor gasto en el quinquenio, se puede alcanzar un ahorro de 17,5 millones de dólares en virtud de este concepto.

Insumos		Consumos Específicos (R)			KUS\$			US\$/Ton			¢US\$/lb		
		REAL	PPTO	Δ	REAL	PPTO	Δ	REAL	PPTO	Δ	REAL	PPTO	Δ
Agua de Mar	(m <sup>3</sup> /ton)												
Bolas Ø 1"	(gr/ton)	51	70	(19)	1.962	2.709	(747)	0,06	0,07	(0,01)	0,49	0,57	(0,08)
Bolas Ø 3"	(gr/ton)	338	427	(89)	8.788	11.470	(2.682)	0,28	0,36	(0,08)	2,21	2,82	(0,61)
Bolas Ø 6 1/4"	(gr/ton)	345	380	(35)	10.438	11.972	(1.535)	0,31	0,34	(0,03)	2,52	2,87	(0,35)
Cal	(gr/ton)	196	170	26	1.044	952	92	0,03	0,03	(0,00)	0,24	0,22	(0,02)
Colectores	(gr/ton)	15	16	(1)	2.003	2.132	(129)	0,06	0,06	(0,00)	0,50	0,52	(0,02)
Depresante	(gr/ton)	105	120	(15)	2.773	2.927	(154)	0,08	0,07	(0,01)	0,70	0,65	(0,05)
Energía	(Kwh/ton)	21,08	21,07	0,11	72.938	40.759	(32.179)	0,19	0,45	(0,26)	1,52	3,35	(1,83)
Espumante	(gr/ton)	17	17	0	2.152	2.152	0	0,05	0,05	(0,00)	0,44	0,44	0
Floculantes	(gr/ton)												
Liners Ch 1"	-	-	-	-	683	1.272	(589)	0,02	0,03	(0,01)	0,17	0,31	(0,14)
Liners Ch 2" 3"	-	-	-	-	1.070	1.532	(462)	0,03	0,04	(0,01)	0,27	0,38	(0,11)
Liners Ch Pebbles	-	-	-	-	476	876	(400)	0,01	0,02	(0,01)	0,12	0,22	(0,10)
Liners Mol Bolas	-	-	-	-	2.152	2.550	(398)	0,06	0,07	(0,00)	0,54	0,63	(0,09)
Liners Mol SAG	-	-	-	-	4.443	5.962	(1.520)	0,13	0,16	(0,03)	1,12	1,47	(0,35)
Liners Mol Vertical	-	-	-	-	338	462	(124)	0,01	0,01	(0,00)	0,08	0,11	(0,03)
TOTALES													
		Q (Tratamiento)	P (tarifa)	COMENTARIOS									
Agua de Mar		▼	▼										
Bolas Ø 1"		▼	▼										
Bolas Ø 3"		▼	▼	Incluido en PCC (KUS\$ _____)									
Bolas Ø 6 1/4"		▼	▼	Incluido en PCC (KUS\$ _____)									
Cal		▼	-										
Colectores		▼	-										
Depresante		▼	-										
Energía		▼	▼										
Espumante		▼	-										
Floculantes		▼	▼	Incluido en PCC (KUS\$ _____)									

Figura 7.2: Informe Anual de Gasto Minera Centinela (Menor gasto en Liners por implementación de estrategia de optimización).

## 7.2. REDUCCIÓN DE INTERVENCIONES DE MANTENIMIENTO.

Es importante señalar que gracias a este proceso de optimización se redujeron las intervenciones sobre los equipos de la línea crítica. Esto se convirtió en un menor gasto de mantenimiento de equipos, que en total sumaban cerca de USD\$ 250.000. (Ver tabla 7.1), este ahorro conseguido se proyecta en el quinquenio con un retorno de MMUSD\$ 1,25. Se debe mencionar que el impacto en una menor cantidad de intervenciones a estos equipos no solo afecta el costo, sino que también se logran impactos positivos en seguridad, esto gracias a una menor cantidad de tiempo de exposición de los trabajadores a actividades críticas de alto impacto, lo que a su vez reduce la probabilidad de accidentabilidad.

Tabla N°7.1: Menor Gasto en mantenimiento (HH).

<b>AHORROS POR MENOR CANTIDAD DE INTERVENCIONES</b>												
Equipos	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16	may-16	jun-16	jul-16	ago-16	sep-16	oct-16	nov-16	dic-16
CH 1°	-	-	-	-	25.000	-	50.000	-	-	25.000	-	-
Ch 2°	-	15.000	-	15.000	-	15.000	-	15.000	-	15.000	-	15.000
Ch3°	-	-	15.000	-	-	15.000	-	-	15.000	-	-	15.000
Ch Pebbles	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Molino SAG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Molino de Bolas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Molinos Verticales	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

### 7.3. AUMENTO DE PRODUCCIÓN.

Uno de los aspectos fundamentales de este desarrollo, consistía en obtener los tonelajes de oportunidad que se encontraban presentes entre las relaciones óptimas de cada equipo y entre equipos. Dado los resultados en términos de disponibilidad indicados en los puntos anteriores y la implementación del escenario de optimización planteado como el mejor escenario, se logró obtener solo por efecto de interacciones durante el 2016, mayor procesamiento por equipos (en comparación con los considerados en el presupuesto de producción de cada área). Estos mayores niveles de producción corresponden a dos aspectos fundamentales:

- Aumento de disponibilidad de equipos.
- Mejor interacción entre los equipos que reducen las restricciones.

Los resultados de este mayor procesamiento y el detalle de los aspectos a los que son atribuidos cada uno se indican en la tabla 7.2.

Tabla N°7.2: Características del Mayor procesamiento.

<b>Equipos</b>	<b>Disponibilidad</b>		<b>Producción</b>	
	<b>Hrs</b>	<b>"+" Puntos</b>	<b>"+" Disponibilidad</b>	<b>Por Interacciones</b>
CH1°	246	2,8%	-	492.000
CH 2°/3°	120	1,4%	120.000	48.000
Molino SAG	20	0,2%	94.000	-
Molinos de Bolas	40	0,5%	-	180.000
<b>Total</b>	<b>426</b>	<b>4,9%</b>	<b>214.000</b>	<b>720.000</b>

Por lo tanto, en el año de marcha blanca de esta implementación, se logra obtener un tonelaje adicional de 934 [Kton] de procesamiento de mineral fresco. Al considerar un valor del cobre promedio de USD\$2,5 /lb de cobre, se obtiene que solo por cobre producido se alcanza un ingreso adicional por venta de 23 millones de dólares (MMUSD\$ 23). Si consideramos también el ingreso por sub productos se adicionan MMUSD\$ 5, es decir, solo en el año de marcha blanca los ingresos por el tonelaje obtenido de forma adicional alcanzan los 28 millones de dólares. Si se proyecta al quinquenio, este ingreso adicional corresponde a MMUSD\$ 140.

Cabe destacar que durante el año 2016 hubo una falla importante en el Molino SAG asociado al sistema eléctrico, que provocó una merma importante en el cumplimiento del presupuesto. Esta merma fue compensada en parte con el mayor tratamiento alcanzado gracias a la implementación del escenario de optimización, pero no fue suficiente para apalancar el cumplimiento del presupuesto.

## 8. CONCLUSIONES.

En el presente trabajo desarrollado en Minera Centinela, se logró identificar una oportunidad vital, que tiene relación con cómo se administran las interacciones en un proceso y como estas se van generando, es decir, podemos dejar en claro que existe un impacto real y medible en los niveles de producción del negocio minero. Este impacto nace de las ineficiencias producto de las interacciones poco eficaces entre la mantención y la operación de los equipos críticos de una planta de proceso (“Línea Crítica”). Esta ineficiencia se traduce en un nivel de tratamiento latente (posible de capturar), dado que los indicadores de disponibilidad y las restricciones de proceso son ampliamente mejorables.

Con la evaluación de las ineficiencias por interacción y disponibilidad, se pudo dejar de manifiesto que existe la posibilidad concreta de capturar cerca de 1,4 millones de toneladas de tratamiento (Alimentación fresca a planta), al optimizar las relaciones entre la operación y el mantenimiento en el proceso productivo.

Al identificar la oportunidad y el margen de tratamiento que se podría obtener, se logró desarrollar un modelo de programación lineal que incluía las restricciones de cada uno de los equipos (en función del tiempo), el cual generó diferentes escenarios que permitían disminuir los tiempos de restricción y maximizar el tratamiento. Al lograr obtener este modelo logramos evaluar el mejor escenario posible para la interacción de una línea crítica. Este modelo permite mezclar las opciones y evaluar escenarios, para realizar una optimización en función de un equipo como centro del proceso. De este análisis se obtuvo el escenario de optimización a ser implementado. Este escenario consideró llevar los equipos a sus límites técnicos, para lo cual se debió realizar un desarrollo de ingeniería de mayor nivel en cada uno de los equipos de la Planta Concentradora, en conjunto con los desarrollos de pruebas y modificaciones de diseño que permitieran alcanzar los límites o máximos técnicos definidos. Como se presenta en este trabajo, estas modificaciones fueron implementadas en cada equipo con la finalidad de ajustar y alcanzar la estrategia del escenario óptimo, lo que finalmente mejora el costo y la disponibilidad global.

Finalmente al observar los resultados obtenidos en el proceso de marcha blanca y gracias a la optimización de activos, se logró mejorar la disponibilidad en los diferentes equipos y optimizar la sincronía entre las interacciones de la línea crítica. Este proceso de mejora, se materializó en una mayor disponibilidad de tiempo para procesar mineral y por ende en una mayor producción. Por lo tanto la estrategia definida impacto en los costos de insumos de desgaste (Liners), costos de mantenimiento y producción de cobre.

El nivel de producción adicional alcanzado equivale a 943 [Kton], lo que en el programa quinquenal equivale a cerca de MMUSD\$ 158,75 a recaudar por este proceso de optimización.

Por lo tanto, podemos constatar en función de este trabajo, que existen oportunidades en la interacción de equipos de una línea crítica, las que se traducen en un nivel de “producción potencial a capturar”. Esta oportunidad puede ser absorbida mediante un método que mejore la sincronía entre equipos, optimizando la relación entre el mantenimiento y la operación, en la búsqueda de maximizar el tiempo disponible de los equipos, maximizar su producción y rendimiento, minimizando sus tiempos de intervención. Como se visualizó en este trabajo, alcanzar los objetivos planteados implica realizar un procesos de optimización, mejora e innovación, siendo este último el camino para implementar una estrategia que asegure capturar potenciales oportunidades en un proceso, oportunidades que están latentes en cada una de las líneas de proceso minero que existen hoy en día y que por la idea de trabajar de forma unilateral entre las áreas no es posible de capturar.

El camino de integrar las visiones entre las áreas teniendo como referencia un solo negocio, es lo que trata de instaurar este trabajo en la organización, planteando este objetivo en las relaciones básicas del *¿qué?*, del *¿cómo?* y el *¿cuándo?*, se debe intervenir los equipos claves del negocio, lo cual es fundamental para cumplir los compromisos que este negocio requiere.

Por último, este trabajo y el desarrollo de esta estrategia que nace de un modelo matemático de programación lineal, permitirá que cualquier línea de proceso minero con equipos equivalentes, sea capaz de alcanzar su mejor relación entre el mantenimiento y la operación, lo que permitiría apalancar los programas de producción, disminuir los tiempos de intervención, impactando el costo operacional directo y aumenta los ingresos por producción, teniendo claras las restricciones de cada equipo y proceso.

## 9. BIBLIOGRAFÍA.

1. RICHARD CHASE, ROBERT JACOBS. Administración de Operaciones. 13va Edición. ISBN: 978-607-15-1004-4.
2. G. D. EPPEN, F. J. GOULD. Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa. 5ta Edición. ISBN: 9688800724.