



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

**EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL REPOTENCIAMIENTO DE MOLINOS DE
BOLAS LÍNEA 3, PLANTA CONCENTRADORA COMPAÑÍA MINERA DOÑA
INÉS DE COLLAHUASI**

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

CHRISTIAN MARCELO BARROS CAMPOS

**PROFESOR GUÍA
IVÁN BRAGA CALDERÓN**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN
MANUEL ROJAS VALENZUELA
GERARDO DÍAZ RODENAS**

**SANTIAGO DE CHILE
2020**

**RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR
AL GRADO DE: Magíster en Gestión y
Dirección de Empresas
POR: Christian Marcelo Barros Campos
FECHA: 24/01/2020
PROFESOR GUÍA: Iván Braga Calderón**

**EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL REPOTENCIAMIENTO DE MOLINOS DE
BOLAS LÍNEA 3, PLANTA CONCENTRADORA COMPAÑÍA MINERA DOÑA
INÉS DE COLLAHUASI**

La presente tesis tiene por finalidad la evaluación económica del proyecto que desarrolló la ingeniería, construcción y repotenciamiento de los Molinos de Bolas de la Línea 3", en Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi (CMDIC). El objetivo del proyecto fue mitigar el riesgo de pérdida de producción por falla catastrófica y así mantener la capacidad de tratamiento y obtener hasta un 1,25% de incremento en la recuperación de cobre.

La estrategia general para el desarrollo del proyecto evaluado involucró la ingeniería tanto para el nuevo sistema de enfriamiento, como del edificio de salas eléctricas, priorizando todos los aspectos relacionados con la adquisición e instalación de equipos, como también el desarrollo de obras previas a la parada de los molinos. Para desarrollar el proyecto se siguió un programa de ejecución, en el cual estaban incluidas las actividades de ingeniería vinculadas a los plazos de construcción del proyecto, en conjunto a las áreas involucradas. Estas actividades involucraron análisis de constructibilidad, maniobras de equipos, talleres de riesgos, interferencias, optimización de espacios, interacción con operaciones, entre otros.

Para la evaluación se determinaron las proyecciones de demanda de cobre y la estimación de costos asociados al proyecto. Esto, en conjunto con la parametrización de valores como el precio del cobre, el precio de la energía, una provisión por variaciones de tipo de cambio y por contingencias. Con toda esta información se analizó la viabilidad económica y financiera del proyecto para la compañía, obteniéndose una conclusión favorable para la ejecución del proyecto completo. Actualizando los flujos a valor presente (VPN), a una tasa de descuento prudente, la falla catastrófica impacta con un valor negativo de 93 millones de dólares, lo que con el proyecto se evita, obteniendo un resultado en valor presente de aproximadamente 13 millones. En el caso del molino 1012 se utilizaron menos de la mitad de los recursos que en el anterior proyecto sobre el molino 1013, debido a la reducción de shutdown y mejor gestión.

Por último, se realizan sensibilizaciones sobre las variables y parámetros críticas, creando distintos escenarios de desempeño del proyecto, lo que permitió tomar decisiones frente a las variables de mayor impacto y poder gestionarlas a tiempo. Se concluye que las variables que afectan en mayor medida los resultados son el nivel de recuperación de cobre, el precio de la energía y los costos de mantención.

AGRADECIMIENTOS

Especiales agradecimientos a mi familia, en especial a mis padres por el permanente apoyo durante todo este periodo.

Agradezco además la oportunidad proporcionada por la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM, para participar del programa MBA versión Industria Minera. Se agradece todo el apoyo financiero y toda la confianza depositada en mis capacidades personales, así como también, todo el apoyo en mis conocimientos para enfrentar este desafío.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II. ANTECEDENTES GENERALES	3
2.1 Antecedentes de la Empresa	3
2.1.1 Visión	5
2.1.2 Propósitos Estratégicos	5
2.2 Operaciones	5
2.2.1 Mercado	6
2.3 Procesos Productivos	7
2.3.1 Proceso General	7
2.3.2 Línea Óxidos	8
2.3.3 Línea Sulfuros	8
III. OBJETIVOS	11
3.1 Objetivo General	11
3.2 Objetivos Específicos	11
IV. MARCO CONCEPTUAL	12
4.1 Metodología general de evaluación de proyectos.	12
4.1.1 Valor Presente Neto (NPV)	12
4.1.2 Tasa Interna de Retorno (IRR)	13
4.1.3 Periodo de Recuperación (Payback)	14
4.1.4 Limitaciones de la evaluación de proyectos	14
4.2 Análisis de Riesgos	16
4.2.1 Análisis de Sensibilidad	16
V. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y JUSTIFICACIÓN	18
5.1 Descripción general del proyecto a evaluar	18

5.2	Objetivos específicos del proyecto	20
5.3	Contexto del Proyecto	20
5.4	Ingeniería de Detalles	22
5.4.1	Descripción de los Alcances de la ingeniería de detalles	23
5.5	Adquisiciones del Proyecto	24
5.6	Obras tempranas y Construcción	25
5.6.1	Obras Previas a la Parada de Molino de Bolas ML-1013:	25
5.7	Parada de Molino	27
5.7.1	Obras durante Parada del Molino de Bolas 141-ML-1013	27
5.8	Puesta en Marcha	28
5.9	Situación de la compañía y alternativas consideradas	29
VI.	DESARROLLO DE LA ESTRATEGIA	30
6.1	Etapas de Ingeniería de Detalles	33
6.2	Estrategia contractual	34
6.3	Estrategia legal, comunidad y permisos	35
6.3.1	Medio Ambiente	35
6.3.2	Permisos	36
6.3.3	Relaciones Externas	37
6.4	Resumen de los riesgos	37
6.5	Escenario de falla catastrófica por ruptura definitiva de <i>grout</i> de fundación del estator	38
6.6	Estrategia de Ejecución del proyecto	39
6.6.1	Estrategia de Ejecución de la Ingeniería	39
6.6.2	Estrategia para las Adquisiciones	41
6.6.3	Estrategia de Contratos	43

6.6.4 Estrategia de Ejecución de las Obras	44
6.6.5 Estrategia del Proceso de Puesta en Marcha	46
VII. ANÁLISIS FINANCIERO	47
7.1 Estrategia de Collahuasi solicitud de Inversión a Inversionistas	47
7.2 Proyección Valor del Cobre	50
7.3 Flujo de Caja	52
7.3.1 Proyección Producción de Molibdeno	52
7.3.2 Presupuesto de los Costos de las Estructuras Asociadas al Proyecto	54
7.3.3 Proyección Producción de Concentrado	54
7.3.4 Flujo de Caja Proyectado	56
7.4 Análisis del caso base del proyecto en base al caso de negocio de impacto del proyecto en la compañía	58
7.5 Análisis de los resultados del flujo de caja	59
7.6. Sensibilización de los resultados.	60
7.6.1 Análisis de sensibilidad unidimensional	61
7.6.2. Análisis de sensibilidad bidimensional	63
7.7 Breve discusión de los resultados	67
VIII. CONCLUSIÓN	69
IX. BIBLIOGRAFÍA	74
ANEXO A: SECUENCIA FOTOGRÁFICA HITOS REPOTENCIAMIENTO MOLINO BOLAS 1012	75
ANEXO B: PROGRAMA MAESTRO DEL PROYECTO	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Ubicación en la Región de Tarapacá.....	4
Figura 2.2 Mapa localización CMDIC.....	5
Figura 2.3 Proceso productivo CMDIC.....	7
Figura 2.4 Producción en toneladas.....	8
Figura 5.1 Proyecto Repotenciamiento Molinos de Bolas Línea 3.....	19
Figura 5.2 Líneas de molienda Planta Concentradora CMDIC.....	21
Figura 5.3 Molinos de Bolas 1012 y 1013.....	21
Figura 6.1 Estrategia contractual para etapa de ingeniería de detalles.....	35
Figura 6.2 Riesgos principales del proyecto.....	38
Figura 6.3 Análisis de Falla catastrófica <i>Grout</i>	39
Figura 6.4 Alcance de la Ingeniería de Detalles.....	41
Figura 7.1 Detalle de Capex.....	49
Figura 7.2 Diagrama de costos del proyecto.....	49
Figura 7.3 Análisis de Negocio.....	50
Figura 7.4 Datos para determinar las proyecciones de producción.....	52
Figura 7.5 Proyección producción Molibdeno.....	53
Figura 7.6 Presupuesto costos estructura.....	54
Figura 7.7 Proyección producción concentrado.....	55
Figura 7.8 Proyección a cinco años alternativa cambio completo.....	57
Figura 7.9 Situación empresa en el plan estratégico de la compañía.....	58
Figura 7.10 Sensibilización unidimensional respecto al Capex.....	61

Figura 7.11 Sensibilización unidimensional respecto al Precio del Cobre.....	62
Figura 7.12 Sensibilización unidimensional respecto al Precio de la energía.....	62
Figura 7.13 Sensibilización unidimensional respecto a los costos de mantenimiento.....	62
Figura 7.14 Sensibilización unidimensional respecto al nivel de recuperación de cobre.....	62
Figura 7.15 Sensibilización bidimensional sobre el proyecto de cambio completo..	64
Figura 7.16 Sensibilización bidimensional sobre el proyecto de cambio de estatores sin considerar los polos.....	65
Figura 7.17 Sensibilización bidimensional sobre el proyecto caso base esperar falla catastrófica.....	66
Figura 8.1 Utilización global estimada requerida para cumplir meta.....	69
Figura 8.2 Línea temporal del proyecto.....	70
Figura 8.3 Comparación económica trabajos en ambos Molinos.....	71
Figura 8.4 Redefinición del área Proyectos en la compañía.....	72

ABREVIATURAS

CMDIC:	Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi
Msnm:	Metros sobre el nivel del mar
KPI:	Key performance indicator
Tph:	Toneladas por hora
Ktpd:	Kilo toneladas por día
Proyecto:	Repotenciamiento de Molinos de Bolas Línea 3
PEP:	Plan de Ejecución del Proyecto
GMD:	Sistema de accionamiento sin engranajes.
PEM:	Proceso que incluye el Pre- comisionamiento, Comisionamiento, Ramp-Up, hasta la entrega a Operaciones.
141-ML-1012:	Molino de Bolas 1012
141-ML-1013:	Molino de Bolas 1013

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En la industria minera se realizan constantemente proyectos relacionados a la gestión de activos como tal, los cuales buscan reducir los costos de producción y evitar los costos en materia de ineficiencia por la no producción los días de *Shutdown* (paralización de la planta). Por otro lado, la opción de optimizar los procesos de la planta, involucrando una inversión que potencie la producción es otra alternativa para aumentar la rentabilidad, si es que la demanda que proviene del mercado absorbe adecuadamente este incremento en la producción.

En esta búsqueda de minimizar la exposición al riesgo de falla catastrófica y el aumentar la producción bruta de material, surge el proyecto de Repotenciamiento de Molinos de Bolas Línea 3”, que tiene como propósito desarrollar la ingeniería, construcción y montaje de componentes claves con el objetivo de repotenciar los molinos de bolas, y así mitigar el riesgo de falla de los Molinos de Bolas 141-ML-1012 y 141-ML-1013, causado principalmente por los factores estudiados; a saber, imperfecciones en el diseño, fatiga de material o desgaste, falla eléctrica, sobreexigencia de los activos, entre otros.

El primero y principal de ellos, es el diseño no adecuado de la aislación del bobinado de su motor. El Molino de Bolas ML-1013 sufrió durante el año 2014 su primera falla debido a esto y es probable que este tipo de fallas se repitan siguiendo un patrón similar en el Molino SAG ML-1011, impactando negativamente la producción de la Planta Concentradora, generando costos de ineficiencia irre recuperables para la compañía. Por esta razón, se intervienen los molinos y reemplazan los estatores actuales por unos de mayor tecnología de aislación.

Por otro lado, el proyecto asocia otras intervenciones que van en la misma línea de asegurar el éxito del proyecto y que el repotenciamiento eléctrico abordado opere adecuadamente. Entre estos están la reparación de grietas y fisuras en los pedestales de las fundaciones y fallas en el *grout*¹, la optimización de los sistemas GMD (accionamiento sin engranajes) para aliviar la actual limitación de potencia, con nuevas salas eléctricas y transformadores, el cambio del sistema de enfriamiento con los nuevos requerimientos de refrigeración de los estatores, y por último, considera modificaciones mecánicas para enfrentar adecuadamente las nuevas condiciones operacionales de mayor procesamiento.

¹ Relleno estructural sin contracción para la colocación bajo estructuras y maquinaria.

Todas las modificaciones detalladas anteriormente han sido estudiadas con el fin de asegurar la factibilidad del proyecto, sin embargo, se deben realizar los análisis correspondientes para identificar la viabilidad económica en un horizonte de tiempo adecuado para la compañía. En general, el horizonte de tiempo considerado es amplio debido a que es un proyecto de infraestructura principal en la compañía y permitiría el aumento de producción durante bastantes años en el futuro.

Esta tesis se enfocará específicamente en el impacto financiero y económico que tiene la ejecución del proyecto en la compañía, con la finalidad de efectuar una correcta planificación en el desarrollo de la ingeniería de detalles, suministros y construcción de las Obras Tempranas y cambio de estator de los Molinos de Bolas 141-ML-1013 y 141-ML-1012.

Esto implica cuantificar de forma económica todos los factores internos y externos que afecten de manera parcial o total al proyecto. Es decir, no solamente se evaluará el proyecto en términos contables, sino que también en términos de pérdida de ventas por la no producción en periodos de paralización de planta, disminución de la confiabilidad y fallas catastróficas que generarían una paralización más amplia al no realizar el proyecto. Para realizar esto, también se sensibilizarán factores claves que incidan mayormente en los resultados y así determinar las variables que provoquen resultados desfavorables en la evaluación del proyecto, para tomar medidas de gestión durante el desarrollo de éste.

De este modo las próximas secciones se estructuran de la siguiente manera: En primer lugar, se detallan los antecedentes de la empresa en la cual el proyecto se contextualiza. A continuación, se determinan los objetivos del estudio. Luego, se presenta el marco teórico asociado a la metodología de evaluación del proyecto. Para la determinación de ingresos y costos en las secciones siguientes se describen el contexto del proyecto y la preparación para su ejecución, en conjunto con el desarrollo de la estrategia a implementar y los riesgos asociados. Por último, se presenta el análisis financiero con la sensibilización señalada y las conclusiones sobre el impacto del estudio en la compañía.

CAPÍTULO II. ANTECEDENTES GENERALES

2.1 Antecedentes de la Empresa

La Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi (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 Huinquentipa 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 explotación se realiza a rajo abierto y se concentra en los yacimientos Rosario y Ujina y, en menor medida, Huinquentipa. Estos se ubican en la comuna de Pica, Región de Tarapacá, en el extremo norte de Chile a una altura promedio de 4.400 msnm.

La producción de concentrado de cobre es trasladada como pulpa a través de un sistema de dos mineroductos, de 7 y 8 pulgadas respectivamente y 203 km de extensión, hasta el Terminal Marítimo Collahuasi en el sector de Patache, ubicado a 65 km al sur de Iquique, como muestra la *Figura 2.1 y 2.2*.

Figura 2.1 Ubicación en la Región de Tarapacá



Fuente: EducarChile, 2017

Para cuidar este entorno, la operación considera una gestión sustentable de los recursos hídricos, el cuidado de la biodiversidad y el medio ambiente en general.

Figura 2.2 Mapa localización CMDIC



Fuente: Gestión de riesgos en los procesos, CMDIC, 2016

2.1.1 Visión

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.

2.1.2 Propósitos Estratégicos

Como organización el propósito establecido es ser mucho más que cobre, liderando 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 Operaciones

Los yacimientos de Collahuasi se emplazan en el altiplano del desierto de Atacama, a 4.400 msnm, una zona andina que se caracteriza por tener un clima lluvioso en

verano y nevadas ocasionales en invierno. A 40 km de las operaciones de la mina se ubica el poblado de Huatacondo, y a 130 y 135 km las localidades de Pica y Matilla respectivamente, las que están rodeadas de zonas de alto valor por su diversidad biológica, como salares, humedales y bofedales.

El cobre es el metal más antiguo y de mayor presencia en la historia de la civilización. Ha estado presente constantemente en la evolución tecnológica de la humanidad, por lo que se le conoce como el “metal de la civilización”.

En la actualidad, el concentrado de cobre es vendido y transportado por barco a fundiciones de Chile y distintas partes del mundo para ser refinado. Junto a los cátodos, es utilizado por distintas industrias para producir semi-manufacturas, las que luego son utilizadas en la producción de variados bienes de consumo final.

Hoy el cobre se utiliza principalmente en el rubro de la construcción y en la fabricación de productos eléctricos y electrónicos, que representan más del 65% de la demanda mundial. Otros usos relevantes son los de maquinaria industrial, transporte y productos de consumo.

La Compañía cuenta con dos procesos productivos en sus yacimientos, una línea de sulfuros y otra de óxidos, las que producen cobre y molibdeno. El año 2015 la Compañía realizó el cierre parcial temporal de la planta de cátodos.

El 2016 Collahuasi produjo 506,5 mil toneladas de cobre fino, con ingresos por US\$ 2.286 millones. Respecto de los costos, gracias a las mejoras operacionales y de gestión que se han implementado en los últimos años, poniendo foco en su cadena de valor y asegurando la eficiencia de sus procesos, se bajó el costo operacional a US\$1,14 la libra, cercana al primer cuartil de la industria. De esta forma, Collahuasi ha podido sortear el complejo escenario de precios que ha atravesado la industria los últimos años.

2.2.1 Mercado

Las exportaciones de la Compañía durante el año 2016 estuvieron destinadas principalmente a China y otros países asiáticos. En cuanto al concentrado de cobre, cabe destacar que un 23,8% de la producción se comercializó en el mercado nacional.

2.3 Procesos Productivos

En el área Mina – Planta se ubican los rajos Ujina, Rosario y Huinquentipa, las instalaciones de beneficio de minerales, los botaderos de estéril y tranque de relaves, y las obras de infraestructura de apoyo, incluyendo campamento, aeródromo y campo de pozos de abastecimiento de agua, como muestra la *Figura 2.3*.

La empresa procesa tanto sulfuros con los cuales produce concentrado de cobre y molibdeno, como óxidos con los cuales produce cobre en cátodos, no obstante, se mencionarán los procesos a grandes rasgos, solo para el conocimiento de ellos.

Figura 2.3 Proceso productivo CMDIC



Fuente: Collahuasi.cl

2.3.1 Proceso General

- **Perforación:** Actualmente se mueven aproximadamente 530.000 toneladas/día de material. Para ello, se requiere perforar del orden de 140 pozos diarios, de acuerdo a un plan de trabajo mensual y semanal, como muestra la Figura 2.4.
- **Tronadura:** Para fracturar la roca que contiene el mineral sulfurado y oxidado, se realizan tronaduras controladas, a partir de un programa de trabajo mensual y semanal.

- **Extracción, Transporte y Chancado:** Las palas de carguío extraen el mineral y lo descargan en camiones, los que transportan la producción hacia el chancador primario que se ubica en el área del rajo. Este chancador es del tipo giratorio, el cual es alimentado directamente por volteo de la tolva de los camiones en un buzón alimentador. El chancador cuenta con un sistema de filtros de manga para el control de polvo. El mineral chancado tiene un tamaño máximo de 300 mm y es enviado por medio de una correa transportadora al acopio de mineral grueso, que se ubica en el área de la planta.

Figura 2.4 Producción en toneladas

	2015	2016	2017
Producción de cobre fino [tons.]	455.328	506.534	523.982
Producción de molibdeno [tons.]	5.181	3.698	2.893

2.3.2 Línea Óxidos

Actualmente, la línea de sulfuros se encuentra operativa, mientras que la línea de óxidos se encuentra detenida y en proceso de mantención, a la espera de mejores condiciones de mercado para su activación.

2.3.3 Línea Sulfuros

El mineral es beneficiado en una planta concentradora, ubicada en el sector de Ujina del área cordillera, mediante flotación convencional para producir concentrado de cobre y de molibdeno.

- **Molienda:** El mineral proveniente de la etapa de chancado primario es sometido a una etapa de molienda para reducir el tamaño del material a pequeñas partículas (80% del mineral con tamaño bajo 115 mm), de manera tal de poder formar una pulpa con la adición de agua de proceso. La Planta Concentradora de Collahuasi cuenta con tres líneas de molienda. Dos líneas compuestas cada una por un molino SAG de 32' de diámetro y 15' de largo, accionados mediante motores sincrónicos de velocidad variable de 4.000 KW cada uno, y un molino de bolas, en cada línea, de 22' de diámetro y una longitud de 36'. Estos son accionados mediante motores sincrónicos de velocidad fija con 4.850 KW cada uno. La tercera línea de molienda la componen un molino SAG de 40' de diámetro y 22' de largo, accionado por un motor gearless sincrónico de velocidad variable y dos molinos de bolas de 26' de diámetro y 38' de largo. La operación es asistida por 8 baterías de

hidrociclones. El beneficio del mineral en la concentradora se realiza a un ritmo promedio anual de 140 ktpd.

- Flotación: El procesamiento de flotación tiene se efectúa por medio de tres etapas. Consiste en un circuito de flotación primaria y un circuito de flotación de limpieza y barrido con sus respectivas remoliendas de concentrado. Los concentrados remolidos alimentan a la flotación primaria de limpieza. La segunda limpieza cuenta con ocho celdas columnares de sección rectangular de 8x2x11 m. Los relaves del circuito de flotación son procesados en seis espesadores de alta capacidad, y éstos son enviados por gravedad al tranque.
- Mineroducto: El producto es enviado a través de un mineroducto, que comprende una franja de 203 km de longitud y 10 m de ancho. Se extiende entre la Planta Concentradora ubicada en el sector de Ujina y las instalaciones de embarque de concentrados ubicadas en el sector de Punta Patache. El mineroducto se compone de una tubería de 8" de diámetro entre la estación de bombeo (área Planta) y la estación disipadora N° 1 (VS1); una tubería de 7" entre la estación anterior y la estación N°3 (VS3); y una tubería de 8" entre la estación anterior y Punta Patache. El mineroducto en sí consta de una estación de bombeo, dos estaciones disipadoras con anillos, dos estaciones de válvulas, dos estaciones de monitoreo y una estación disipadora con anillos en el terminal de Punta Patache. Además, tiene un sistema de adquisición de datos y control supervisor (SCADA), que es el corazón para el control y operación del sistema, el cual recibe información desde las diferentes estaciones a través de un sistema de comunicaciones con fibra óptica.
- Planta de Filtrado e Instalaciones de Carguío: En el área de Punta Patache se ubican las instalaciones para el desarrollo de los procesos de filtración (tres filtros de presión de 758 tph) y secado del concentrado, el galpón de almacenamiento, el terminal mecanizado de embarque y las obras de manejo y disposición de las aguas de filtración (piscinas de evaporación y plantación forestal para el proceso de evapotranspiración del agua). El concentrado es almacenado en un galpón cerrado con presión negativa, de 118 mil toneladas de capacidad, desde donde es finalmente embarcado. El sistema de embarque consiste en correas transportadoras encapsuladas, un puente metálico sobre el cual va montado un brazo retráctil conectado a un chute que se inserta dentro de las bodegas del barco. La frecuencia de embarque es de 100 barcos por año.
- Concentrado de cobre, es obtenido del procesamiento de los minerales sulfurados luego de ser sometidos a operaciones de chancado primario y

molienda en tres molinos SAG y cuatro molinos de bolas, para luego pasar a un proceso de remolienda, flotación convencional y posterior disminución del porcentaje de humedad a través de dos espesadores de concentrado. Los relaves del proceso de flotación son reducidos en humedad en siete espesadores y depositados posteriormente en el tranque de relaves ubicado al noreste de la planta concentradora, desde donde se recircula agua para el proceso. El concentrado de cobre que se obtiene es enviado como pulpa a través de un mineroducto de 203 km de longitud de 8" hasta el sector de Puerto Patache, donde es espesado (dos espesadores) y filtrado (en 4 filtros de prensa) hasta obtener una humedad no mayor que 10%. El concentrado es almacenado en un galpón cerrado con presión negativa, desde donde es finalmente extraído para ser embarcado.

- Concentrado de molibdeno es obtenido como sub-producto del concentrado de cobre a través de la planta de Molibdeno ubicada en el área de Puerto Patache. El concentrado de molibdeno es sometido a flotación selectiva, espesamiento a través de dos espesadores y filtrado para su posterior embalaje en maxi sacos y posterior venta.

III. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Evaluar el impacto económico que representa el plan de ejecución para la ingeniería, construcción y repotenciamiento de los Molinos de Bolas de la Línea 3", en Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, lo cual tiene como fin obtener hasta un aumento de 1,25% en la producción de recuperación de cobre.

3.2 Objetivos Específicos

- Detectar los costos de mayor envergadura del proyecto, especialmente los de un gran impacto en los resultados de los flujos, con el fin de generar una actitud de alerta temprana ante eventualidades que puedan incrementar la magnitud de éstos en el desarrollo del proyecto y su posterior operación.
- Reflejar los beneficios económicos que genera el proyecto a través del aumento en el nivel de producción tratado y la mejora en la disponibilidad de los activos asociados.
- Comparar distintas alternativas de acción del proyecto frente al caso base de esperar la falla catastrófica, considerando el costo de ineficiencia asociado a los días de paralización de trabajos (*Shutdown*).
- Identificar los posibles escenarios del proyecto a través de la sensibilización de factores claves que impactan en los resultados de la compañía, de acuerdo al nivel de producción alcanzado con la implementación del proyecto de repotenciamiento de molinos de bolas.

IV. MARCO CONCEPTUAL

En esta sección se abordará la metodología tradicional para la evaluación de proyectos y su aplicación en el presente trabajo. Por lo cual, se espera establecer una base desde la cual se identificarán los principales aspectos e indicadores que se destacan en la formulación planteada, para reconocer el real impacto sobre la operación de la compañía.

4.1 Metodología general de evaluación de proyectos.

En primer lugar, al analizar un proyecto se deben identificar todas las dimensiones de éste, para reconocer los costos asociados a la inversión inicial y el capital de trabajo necesario para la operación del proyecto en el futuro. De este modo, los supuestos que se realicen deben ser claves, ya que de éstos depende que la evaluación realizada sea lo más certera y cercana a la realidad. Además, se debe tener en cuenta la consideración y contabilidad de costos directos e indirectos propios del proyecto en cuestión.

Por otro lado, la determinación de los flujos está sujeto a estos supuestos y por tanto están propensos a cambiar según acontecimientos inesperados o distintas situaciones que impacten directamente en la producción y operación de los equipos, dependiendo a la distinta exposición al riesgo a la que están sometidos. En consecuencia, con lo anterior se denotarán los resultados en términos promedios o esperados, y posteriormente se sensibilizarán las variables críticas para abarcar los distintos escenarios posibles.

4.1.1 Valor Presente Neto (NPV)

El método de flujo de caja descontado con los indicadores NPV y la tasa interna de retorno (IRR), es la técnica de evaluación de proyectos más utilizada en la toma de decisiones de inversión. Se basa en evaluar que tan conveniente es realizar el proyecto, de acuerdo a una tasa de costo de oportunidad, que representa el valor que tiene el dinero o la inversión involucrada en el proyecto al ser utilizada en una alternativa distinta. Esta tasa de costo de oportunidad del capital utilizado varía de acuerdo con el perfil de riesgo, la incertidumbre, el plazo y la naturaleza de los proyectos.

En otras palabras, el NPV es el aporte o excedente que un proyecto genera de riqueza a la compañía, luego de recuperar la inversión. Y el costo de oportunidad, la tasa de retorno exigida por los inversionistas en proyectos similares.

El valor actual neto se puede expresar mediante la siguiente expresión matemática:

$$VAN = \frac{FC_1}{1+r} + \frac{FC_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+r)^n} - I_0$$

$$VAN = \sum_{t=1}^{t=n} \frac{FC_t}{(1+r)^t} - I_0$$

La tasa de descuento utilizada para evaluar el proyecto se determinó en 8%, que es el fijado por CMDIC para el análisis de proyectos de similar envergadura, plazo e inversión, de acuerdo con su estructura de deuda y capital.

Finalmente, el criterio para decidir si es aceptable realizar el proyecto es cuando se obtiene un NPV positivo. Cuando se obtiene un NPV negativo no es conveniente la realización del proyecto. En caso de obtener un NPV igual a 0 se considera indiferente. Por esta razón, al comparar dos o más alternativas de inversión, se debe optar por la opción que represente un NPV mayor.

4.1.2 Tasa Interna de Retorno (IRR)

La tasa interna de retorno es aquella tasa de descuento para la cual el inversionista se encuentra indiferente de realizar el proyecto. Es decir, es la tasa para la cual el valor presente neto (NPV) es igual a 0. Esta tasa se compara respecto al costo de oportunidad del inversionista, como indicador de que tan atractivo es para el inversionista la realización del proyecto.

Matemáticamente se puede definir al resolver la siguiente ecuación:

$$VAN = F_0 + \frac{F_1}{1+TIR} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \frac{F_3}{(1+TIR)^3} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n} = 0$$

Donde F_i representan los flujos netos en cada periodo, y F_0 la inversión inicial.

El criterio para considerar aceptable la realización del proyecto es cuando la IRR es mayor que la tasa de descuento o de costo de oportunidad, es decir, $IRR > r$. Una

tasa interna de retorno menor a la tasa de descuento r , determina un proyecto no conveniente, ya que en forma práctica, el inversionista exige una mayor retribución que la entregada por éste. Una IRR igual a la tasa de descuento r , identifica un proyecto indiferente.

Sin embargo, la aplicación de la IRR tiene algunas consideraciones, ya que es posible obtener más de una solución, en concordancia con los cambios de signos que tengan los flujos netos en el futuro.

4.1.3 Periodo de Recuperación (Payback)

Es un indicador que determina la cantidad de tiempo que le toma al inversionista recuperar la inversión inicial. En su versión descontada toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo, por lo que actualiza los flujos a valor presente, utilizando la tasa de descuento r del inversionista, para calcular el momento en el cual los flujos descontados igualen (o superen) la inversión inicial.

$$Payback = I_0 - \sum_{t=1}^{t=n} \frac{FC_t}{(1+r)^t} = 0$$

Se debe tener en cuenta que, en proyectos con un horizonte de tiempo amplio, no necesariamente el mejor es el de menor Payback, ya que altos flujos netos posterior al Payback, pueden jugar un rol esencial en la rentabilidad de un proyecto. Debido a esto es que generalmente se utiliza como un indicador para discernir entre alternativas donde los indicadores previos no ofrecen una clara determinación de la conveniencia de los proyectos.

4.1.4 Limitaciones de la evaluación de proyectos

En general, la limitación más clara de esta metodología de evaluación de proyectos es la dimensión estática. Ya que se asume como “ciertos” o de forma determinística los resultados de los flujos, y no se incorpora la volatilidad que estos pueden tener.

La proyección de los flujos futuros es por definición incierta, ya que están sujetos a una cantidad de factores externos de permanente incertidumbre, de los cuales se debe hacer el supuesto que se mantendrán dentro de un rango estable, lo cual puede a llevar a conclusiones y a una evaluación incorrecta o inadecuada, al no considerar el efecto de factores claves que impacten de sobremanera los flujos estimados.

En general, todo lo que se asume constante dentro del proyecto es un supuesto débil, y se puede observar hasta en los indicadores que utilizamos para la evaluación. El valor actual neto, asume que el perfil de riesgo (aversión) y el costo de oportunidad del inversionista no cambia en el transcurso del proyecto. Asimismo, la tasa interna de retorno asume tácitamente que los flujos obtenidos en el proyecto serán reinvertidos periodo a periodo a una tasa de interés igual a la IRR, suposición poco realista.

Para combatir las limitaciones de la metodología de evaluación, se debe incluir incertidumbre para abarcar distintos escenarios posibles. En este estudio, se identificará en primer lugar los principales riesgos y las variables que impactan al proyecto, para luego someterlas a un análisis de sensibilización en un rango de variación moderado y estudiar distintos escenarios posibles.

Otras alternativas para enfrentar estos desafíos es la utilización de herramientas de simulación Monte Carlo. Esta técnica requiere ajustar una distribución probabilística para ciertos factores claves, y realiza una simulación de escenarios según la distribución dada para cada factor. Finalmente, se obtiene una distribución del valor pronosticado (VPN), y se evalúan los distintos casos simulados con indicadores de riesgo como Value at Risk (VaR).

Sin embargo, esta estrategia requiere del conocimiento de las distribuciones o de suficiente información histórica adecuada para realizar un ajuste. Debido a que no se tiene la cantidad de datos necesarios para todos los factores en estudio, se decide emplear la estrategia mencionada anteriormente y que es conocida por la empresa, lo que facilita su entendimiento e incorporación como resultados.

Además, otra alternativa es la evaluación de proyectos por opciones reales, que incluye cierta flexibilidad al incluir decisiones en el proceso por parte del inversionista en la cual tiene la facultad de abandonar, postergar, ampliar, contraer o realizar alguna acción, a un determinado costo, en el transcurso de un tiempo determinado, mientras se dilucida la incertidumbre. Sin embargo, a pesar de la potencialidad de esta metodología, debido a la gran variedad de opciones reales que se pueden incluir, no existe una estandarización propia del método, por lo que la evaluación puede estar sujeta a intervenciones sólo para mejorar la visión de un proyecto, que no responden a una evaluación imparcial del proyecto, sino a una mejora en la perspectiva para el inversionista. Por otro lado, la compañía busca averiguar la rentabilidad de la inversión en este momento, debido a la estrecha brecha de cambios que entrega la infraestructura instalada, este es un proyecto de expansión en las operaciones existentes (tipo "*brownfield*").

4.2 Análisis de Riesgos

Toda actividad considerada en el proyecto conlleva un riesgo, debido a que representa una inversión, que está expuesta a sufrir daños, percances o contratiempos. La incertidumbre que hay detrás de la ocurrencia de estos hechos es lo que consideraremos como riesgos presentes en el proyecto.

Existen diversos criterios para clasificar los tipos de riesgos en un proyecto: basados en la fuente de donde proviene el riesgo, naturaleza, impacto económico, plazo o tiempo de exposición, entre otros. En general, hay dos tipos de riesgos: el sistemático o no diversificable, el cual afecta a todo un conjunto o mercado de la misma forma, y el riesgo no sistemático, el que afecta a un solo componente o activo, generalmente por problemas internos. Principalmente un riesgo está determinado por dos factores: la probabilidad de ocurrencia y el impacto en el resultado del proyecto.

Debido a que el proyecto está cargado de riesgo para la compañía, es que se debe gestionar; identificar los principales riesgos que pueden afectar la factibilidad, la fuente (sea externa o interna), el plazo de ejecución, los daños materiales u operacionales y en general, el aumento de costos del proyecto. En conjunto, debemos identificar su procedencia, proponer la metodología de mitigación, asignar un responsable y determinar el tiempo de exposición de aquellas amenazas que puedan perjudicar el desarrollo del proyecto.

La compañía tiene constituida su matriz de riesgos principal la cual rige todas sus operaciones, además sostiene en este momento con un sistema de monitoreo en tiempo real de la planta y sus procesos, que permite dar cuenta de alertas en el impacto de los activos críticos, y en el nivel de producción generada. Sin embargo, se debe ajustar al contexto del proyecto y determinar con mayor detalle la configuración de estos riesgos.

4.2.1 Análisis de Sensibilidad

Debido a las limitaciones de la metodología de evaluación y a lo señalado en el apartado anterior sobre los riesgos asociados al proyecto, se decide realizar una sensibilización de los resultados, para así abarcar distintos escenarios de la ejecución del proyecto y de su desempeño final esperado, otorgando una visión del impacto de ciertas variables, catalogadas como críticas, debido a su alto potencial de incidir en los flujos netos.

Para este fin se decide utilizar un análisis unidimensional para cada variable crítica, esto consistirá en variar dentro de un rango admisible cada variable en cuestión, manteniendo *ceteris paribus* el resto, y de esta forma visualizar el impacto que tiene cada una de forma individual.

Luego se desarrollará un análisis bidimensional, considerando a la vez el cambio de dos de las variables más trascendentes analizadas en el estudio unidimensional, éstas serán seleccionadas buscando las que afecten de forma importante (mayor escala) e inmediata los flujos percibidos por el proyecto, y variando en común en cada una de ellas la variable objetivo del proyecto. De esta forma, se analizará el impacto que representa la incertidumbre de estas variables en los resultados esperados del proyecto en su conjunto, permitiendo la gestión de su mitigación y diagnóstico en el tiempo del proyecto.

Actualmente la compañía realiza sensibilizaciones de forma exploratoria en sus proyectos, de modo tal que se somete a evaluación los factores claves que puedan afectar de forma evidente los proyectos y a la empresa en general. Sin embargo, la inclusión de las sensibilizaciones no ha generado una actitud de alerta frente a la volatilidad de las variables de mayor impacto, lo que el presente estudio pretende impulsar.

4.3 Otras metodologías de evaluación

En el campo de evaluación de proyectos han surgido otras alternativas a la evaluación tradicional que buscan mayor flexibilidad ante cambios en el transcurso del proyecto y busca determinar todas las opciones que pueden surgir. Esta metodología es llamada evaluación por opciones reales. Esta estrategia es bastante atractiva dada su flexibilidad y amplitud de visión en la evaluación económica de los proyectos. Sin embargo, se optó por utilizar un enfoque tradicional, debido a que la metodología no está perfectamente estandarizada. Además, el enfoque tradicional se sustenta en el sistema que actualmente maneja la compañía para evaluar todos sus proyectos.

V. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y JUSTIFICACIÓN

En esta sección se describe de forma general la base del proyecto que se desea evaluar. En consecuencia, se relatarán el contexto y el alcance de éste con respecto a las obras que se realizarán para propiciar una situación adecuada para comenzar a desarrollar la estrategia de implementación.

5.1 Descripción general del proyecto a evaluar

Se considera al Proyecto de Repotenciamiento de los Molinos de Bolas de la Línea 3, como parte del proceso que busca aumentar la producción de la Planta Concentradora desde 140 ktpd hasta 160 ktpd.

El proyecto tiene como finalidad principal el repotenciamiento de los molinos de bolas de la Planta Concentradora, disminuyendo de la misma forma el riesgo de falla de los Molinos de Bolas 141-ML-1012 y 141-ML-1013 de la Línea 3, ya sea por problemas de aislación eléctrica en sus estatores o por el daño actual en sus fundaciones, especialmente en el sector de apoyo de los estatores.

Los estatores existentes de estos dos molinos presentan un diseño no adecuado de la aislación de su bobinado para las condiciones de operación en Collahuasi, por lo que el proyecto contempla reemplazar dichos estatores por unidades nuevas, ya adquiridas por CMDIC, las cuales cuentan con una tecnología de aislación adecuada. Se incluye además el cambio de los polos del rotor y el reemplazo de las unidades de enfriamiento de cada molino de bolas.

Adicionalmente, el proyecto busca repotenciar los sistemas GMD de los Molinos de Bolas de la Línea 3, para aliviar la actual limitación de potencia que presenta el Sistema de Molienda Secundaria, lo que no permite desarrollar todo su potencial a la Molienda SAG de esta línea de producción y se traduce en un potencial de tratamiento no aprovechado.

Para estos efectos se instalarán nuevas Salas Eléctricas y Transformadores para el repotenciamiento, en un sector contiguo a la Planta Concentradora. El proyecto también contempla finalmente el retiro de las Salas Eléctricas existentes, una por cada Molino de Bolas y el retiro de los Transformadores de Poder y Excitación existentes, una vez efectuadas las modificaciones, secuencialmente, para ambos molinos.

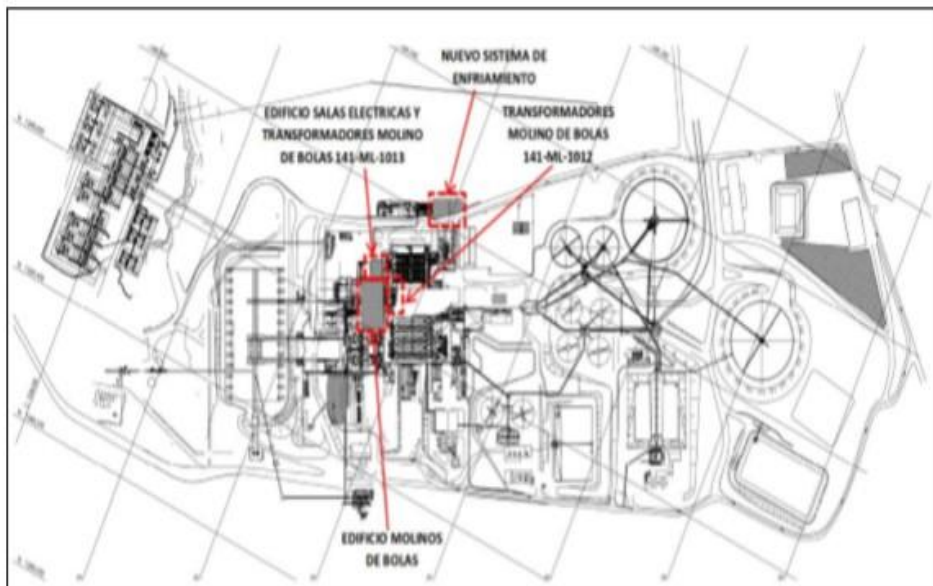
El cambio de estatores y el repotenciamiento proyectado de ambos Molinos de Bolas hace necesario cambiar el actual Sistema de Enfriamiento, que atiende los requerimientos de refrigeración de sus estatores y sistemas GMD.

Por otro lado, para enfrentar adecuadamente las nuevas condiciones operacionales de los Molinos de Bolas repotenciados, el Proyecto también incluye la ejecución de modificaciones mecánicas de los Molinos de Bolas y que, en lo esencial, considera el cambio del *Trunnion Liner* y del *Trommel Magnético* a la descarga de cada Molino de Bolas.

Durante el desarrollo del Proyecto, CMDIC determinó que solamente se ejecutará la ingeniería de detalles, suministros y construcción de las Obras Tempranas y cambio de Estator del Molino de Bolas 141-ML-1013, dejando todo lo relacionado al Molino de Bolas 141-ML-1012 para ser ejecutada en Abril del año 2019. No obstante, el nuevo Sistema de Enfriamiento y las Salas Eléctricas y sus transformadores de excitación instaladas en el nuevo Edificio de Salas Eléctricas, corresponden a ambos Molinos de Bolas.

En la Figura 5.1 siguiente se indican los sectores de desarrollo del Proyecto.

Figura 5.1 Proyecto Repotenciamiento Molinos de Bolas Línea 3



Fuente: Elaboración propia

5.2 Objetivos específicos del proyecto

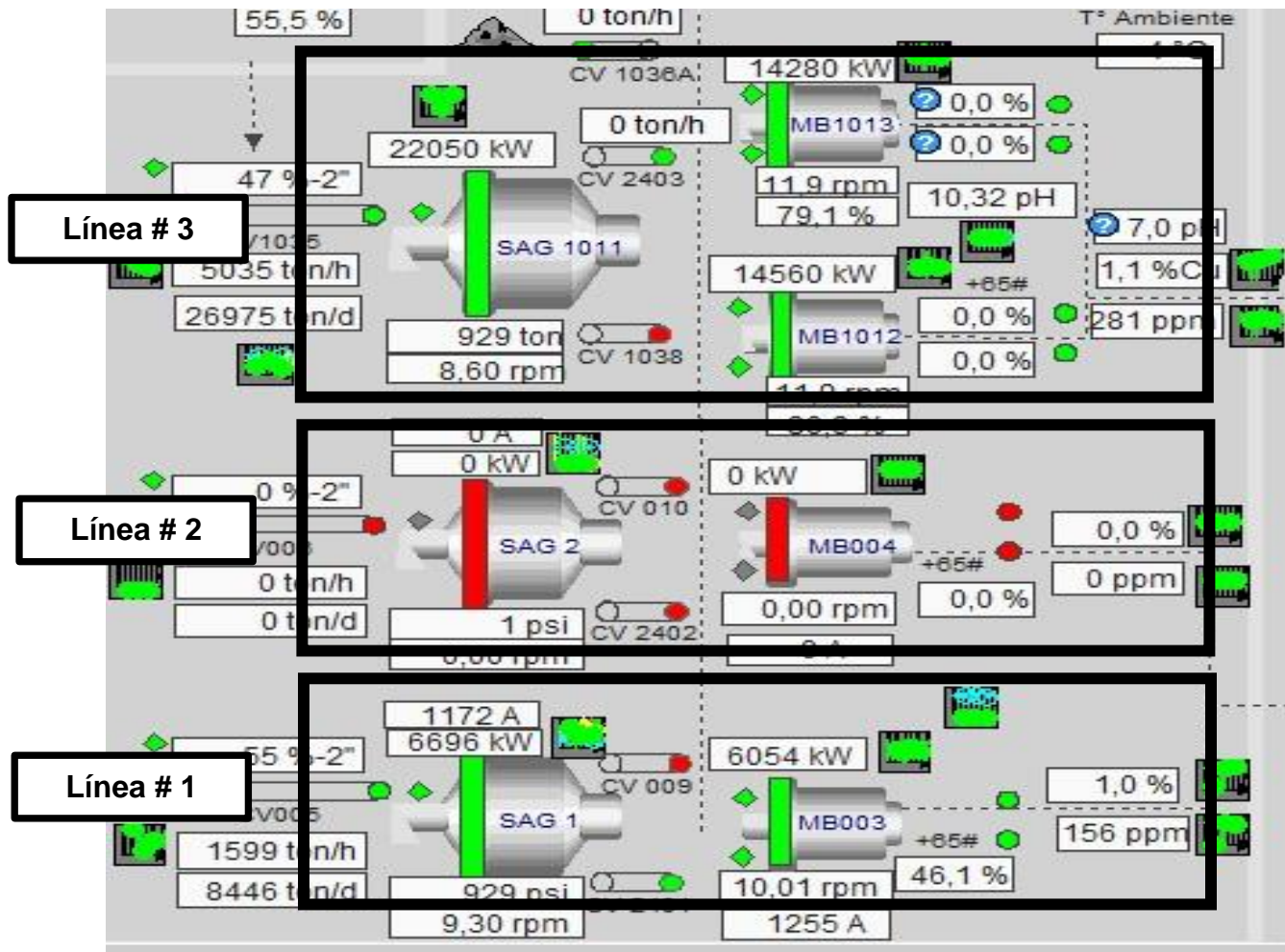
- Aumentar el nivel de procesamiento de material en la Línea 3" hasta en 600 toneladas por hora en promedio, a través del cambio del *trunnion liner* de descarga y del *trommel* magnético para cada molino de bolas, generando un mayor nivel de llenado, capaz de ser trabajado con el potenciamiento eléctrico estipulado en el proyecto.
- Mitigar los distintos riesgos asociados al proyecto, especialmente el riesgo de pérdida de producción por falla catastrófica en componentes del activo crítico, a saber: estatores, fundaciones y *grout*, principalmente, manteniendo de esta forma la capacidad de tratamiento.
- Proponer un plan de ejecución para la reparación de fundaciones y *grout*: contemplando ingeniería de detalles para reforzar las fundaciones y área de *grout* de apoyo de los estatores de ambos molinos de bolas.
- Aumentar la disponibilidad operacional de los molinos de bolas de la Línea 3" con el montaje de un nuevo sistema de enfriamiento y a través del repotenciamiento eléctrico con el reemplazo de los estatores y sistemas de accionamiento sin engranajes GMD.

5.3 Contexto del Proyecto

La Planta Concentradora de la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi cuenta con 3 líneas de molienda las cuales se muestran en la Figura 5.2.

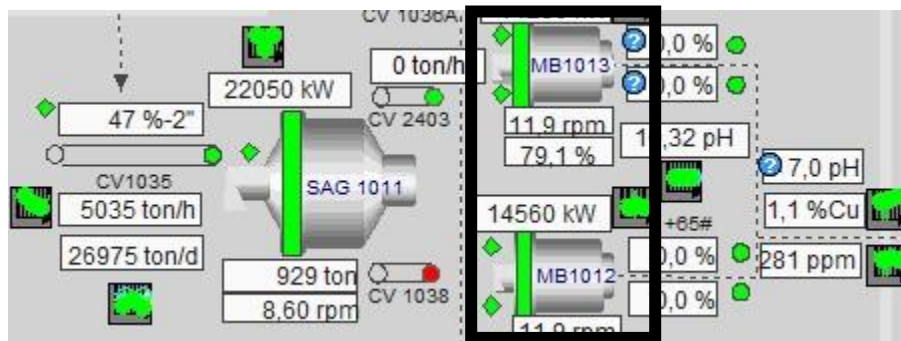
Las Líneas 1 y 2 son Molinos Sag 32'x15' (Flsmidth) acompañados cada uno por 1 molino de bolas, por su parte la Línea 3 cuenta con un molino Sag de 40'x24 (Metso) acompañado por 2 molinos de bolas de 26'x38'.

Figura 5.2 Líneas de molienda Planta Concentradora CMDIC



En el proyecto de tesis, se centrará en la Línea de Molienda # 3, específicamente en los Molinos de Bolas 1012 y 1013 como se muestra en la Figura 5.3.

Figura 5.3 Molinos de Bolas 1012 y 1013



Como se ha mencionado en el apartado anterior, el proyecto de Repotenciamiento de Molinos de Bolas Línea 3”, tiene como propósito desarrollar la metodología y la estrategia en el desarrollo del Plan de Ejecución de la ingeniería y construcción, para repotenciar los Molinos de Bolas de la Línea 3”, y así mitigar el riesgo de falla de los Molinos de Bolas 1012 y 1013.

Las actividades claves del plan de ejecución del proyecto, tienen relación con las etapas que se mencionarán y describirán a continuación:

- Ingeniería de detalles
- Compras
- Licitaciones
- Obras tempranas y Construcción
- Parada de Molino
- Puesta en marcha

En el Anexo B de este documento, se adjunta el Programa Maestro del Proyecto.

Para lograr el propósito del plan del Proyecto, las actividades dentro del alcance como se menciona anteriormente están asociadas al desarrollo de la ingeniería de detalles, licitaciones, compras o adquisiciones, Construcción y Puesta en Marcha para el cambio de Estator y Repotenciamiento del Molino de Bolas 141-ML-1012 y 141-ML-1013 de la Línea 3.

5.4 Ingeniería de Detalles

El desarrollo de la Ingeniería de Detalles corresponde al nuevo Sistema de Enfriamiento, el Repotenciamiento Eléctrico y el cambio del Estator del Molino de Bolas 141-ML-1012 y 141-ML-1013 de la Línea 3.

Esta Ingeniería fue desarrollada en forma compartida, por ABB para el Repotenciamiento eléctrico y cambio de Estatores del Molino y por proyectos CMDIC para el nuevo Sistema de Enfriamiento, el Edificio de Salas Eléctricas, Reparación de Fundaciones y de *grout*.

5.4.1 Descripción de los Alcances de la ingeniería de detalles

La empresa ABB deberá estudiar y planificar las actividades de ejecución del proyecto e intervención de los sistemas existentes (*Tie-In*), de manera de no afectar la producción de CMDIC y plasmar esa estrategia en los entregables de ingeniería.

La ingeniería del servicio de ABB, se divide en tres grandes tipos:

a) Entregables asociados al repotenciamiento de los Molinos ML-1012 y ML1013, que considera las Salas Eléctricas, Transformadores de Poder, de Excitación y equipos auxiliares.

b) Entregables asociados a las maniobras de montaje para la instalación de los nuevos Estatores de los Molinos, al interior de la Nave de Molienda.

c) Entregables relacionados con aspectos de seguridad asociados a las maniobras para el montaje de los Estatores, Procedimientos e Instructivos.

La totalidad de estos entregables se encuentran a la fecha desarrollados de acuerdo con el hito de su ingeniería.

Los entregables asociados al punto a), son los requeridos principalmente para la ejecución del Contrato de Obras Tempranas del Proyecto. Este aspecto corresponde a la estrategia general de ejecución del Proyecto, que tiene como principal objetivo ejecutar la mayor cantidad de trabajos de manera previa a la Parada del Molino de Bolas, minimizando así su plazo de ejecución.

Como parte de los principales alcances de la ingeniería de Detalles a desarrollar por Jacobs, sin ser excluyente; se resumen las siguientes actividades:

- Ingeniería de Detalles para la ejecución del nuevo Sistema de Enfriamiento de los Molinos de Bolas.
- Ingeniería de Detalles para la ejecución del Edificio para Salas Eléctricas.
- Ingeniería para desarrollo de *Tie-ins* y eliminación de interferencias para el montaje de los Estatores de los Molinos durante las paradas.
- Ingeniería para eliminar interferencias para la construcción del Edificio de Salas Eléctricas.

- Ingeniería para eliminar interferencias subterráneas, detectadas con GeoRadar.
- Ingeniería complementaria a la desarrollada por ABB.
- Ingeniería de transporte de grandes piezas, cuartos de Estatores y otros, desde Bodega de almacenamiento a la Nave de Molienda y viceversa.
- Habilitación de camino de acceso a Planta Concentradora.
- Desarrollo hasta la LOR de la adquisición de los principales suministros de la ingeniería de detalles desarrollada por Jacobs.
- Ingeniería para los desmantelamientos de salas eléctricas, transformadores y otros equipos, que quedan en desuso después del cambio de Estator del Molinos de Bolas 141-ML-1013.
- Ingeniería de demolición de fundaciones de las salas y transformadores en desuso. • Ingeniería de las nuevas fundaciones para los transformadores de la Sala Eléctrica del Molino de Bolas 141-ML-1012.
- Ingeniería para la reparación de las fisuras en las fundaciones del Molino de Bolas 141-ML-1013.
- Ingeniería para la reparación del *grout* e instalación de nuevas *sole-plate* en la fundación del Molino de Bolas, una vez retirados los Estatores existentes.

5.5 Adquisiciones del Proyecto

CMDIC, en forma previa al desarrollo del Proyecto en esta etapa, adquirió los principales equipos para el cambio de Estatores de los Molinos, como son: Estatores, Salas Eléctricas y Transformadores de Poder y Excitación. Todos estos equipos están almacenados a disposición del desarrollo del Proyecto.

Las adquisiciones en esta etapa del proceso, corresponden principalmente a equipos y componentes asociados al nuevo Sistema de Enfriamiento y Edificio de Salas Eléctricas. Estas adquisiciones corresponden a la ingeniería desarrollada por CMDIC, las cuales fueron comprados y se encuentran en etapa de fabricación y entrega en obra.

5.6 Obras tempranas y Construcción

Las obras de construcción se desarrollarán de acuerdo a las etapas del proyecto y al plan de contratos.

En lo principal, la estrategia de ejecución de estas obras de construcción está direccionada por la parada del Molino de Bolas 141-ML-1013 para el cambio de estator y repotenciamiento.

Para este objetivo, se han dividido los trabajos de acuerdo a la temporalidad, tales como trabajos previos a la Parada del Molino de Bolas ML-1013, trabajos durante la parada del mismo y trabajos después de la parada del Molino ML1013 y cierre del proyecto.

5.6.1 Obras Previas a la Parada de Molino de Bolas ML-1013:

Corresponden a trabajos a ejecutar antes de la parada del Molino 141-ML1013. Estos trabajos se están ejecutando entre agosto 2017 y febrero 2018.

El objetivo de ejecutar estos trabajos antes de la parada del Molino de Bolas ML-1013 es minimizar el plazo de ejecución del trabajo de modificación del Molino de Bolas durante la parada. Los trabajos considerados en esta etapa corresponden a actividades que se pueden desarrollar con la planta en plena operación.

Estos trabajos se desarrollan tanto en áreas adyacentes a la planta, como es el caso del Sistema de Enfriamiento y el Edificio de Salas Eléctricas, con sus respectivas instalaciones, como al interior de la Nave de Molienda que está en plena operación.

El sistema de repotenciamiento eléctrico correspondiente al Edificio de Salas Eléctricas, debe ser construido antes de la parada del Molino de Bolas ML1013, de manera que la sala y transformadores que alimentan éste, se encuentren debidamente comisionadas y listas para la conexión del Molino de Bolas ML-1013 durante su parada, una vez cambiado los Estatores. Es por esta razón que se asignó este trabajo al contrato de las Obras Tempranas, siendo su construcción parte de la ruta crítica del proyecto.

De igual forma, el nuevo Sistema de Enfriamiento, debe ser construido antes de la parada del Molino de Bolas ML-1013, de manera que las torres, bombas y filtros, así como su Sala Eléctrica se encuentren pre-comisionadas y listas para conectarse al Sistema de Enfriamiento del Molino de Bolas ML-1013, cuando entre en operación durante su parada, siendo también asignado este trabajo al contrato de las Obras Tempranas, ya que, de igual manera pertenece a la ruta crítica del proyecto.

También están contemplados en esta etapa, trabajos al interior de la Nave de Molienda, en el sector de Molinos de Bolas, con el objetivo de eliminar interferencias, ejecutar *Tie-in* y obras de reforzamiento, entre otros trabajos. Todos estos trabajos se ejecutarán con la planta en operación, con un plan de ejecución a coordinar con Operaciones Collahuasi. Durante esta etapa y al interior de la planta en operación se ejecutarán trabajos que requieren paradas parciales de los Molinos. Para estos efectos se deberá planificar la ejecución de estos trabajos en concordancia con la programación de paradas de los Molinos del segundo semestre del presente año.

Algunos de los principales trabajos a desarrollar durante estas paradas parciales, corresponden a la eliminación de interferencias que afectan al futuro montaje del cambio del estator. Se destacan especialmente, el retiro de estructuras que rodean los Molinos denominada "Exoesqueleto", cuyo retiro debe ejecutarse con los Molinos detenidos en las paradas programadas por efectos de seguridad. El retiro de estas estructuras en la etapa previa al cambio del Estator del Molino de Bolas ML-1013, corresponde a la totalidad de la estructura del Molino de Bolas ML-1013 y parcialmente para el Molino de Bolas ML-1012.

También es relevante como trabajos previos a la parada del Molino de Bolas ML-1013, la eliminación de las interferencias para la ejecución de la reparación de las fundaciones de los Molinos. Esta reparación será desarrollada durante la Parada del Molino de Bolas para el cambio de estatores. Como el objetivo es minimizar los plazos de ejecución durante esta parada, se considera efectuar estos trabajos de solución de interferencias de forma previa en las paradas parciales del Molino.

Parte indispensable es la integración y comunicación de los sistemas, por lo cual un Contrato especialista realizará la configuración e integración en terreno de todo el hardware, software y servicios asociados al nuevo Sistema de Control Distribuido (DCS) Emerson Delta V, Gabinetes de Comunicaciones y Gabinetes de Campo Foundation Fieldbus. Para esta integración, debe estar implementada la Red Delta V correspondiente al proyecto 24 Celdas, de manera de integrar el proyecto en su totalidad. Como este contrato tiene características transversales, sus actividades se realizarán en todas las áreas del proyecto; al tener que integrar todo el Sistema de

Control Distribuido para las nuevas condiciones de los Molinos de Bolas Repotenciados ML-1013 y posteriormente el ML-1012.

5.7 Parada de Molino

Todas las actividades del proyecto tienen como finalidad el cambio de estator y el repotenciamiento de los Molinos de Bolas 1012 y 1013, incluyendo la normalización mecánica de estos.

5.7.1 Obras durante Parada del Molino de Bolas 141-ML-1013

Periodo donde se realizarán las actividades críticas del Proyecto, la actividad principal será el cambio del Estator y polos de los Molino de Bolas 141-ML-1013 que será ejecutada por ABB, con el apoyo de otros contratos, tales como el de movimiento de los componentes sobredimensionados, la modificación mecánica del “*Trunnion Liner*” y del “*Trommel Magnético*” de descarga del Molino de Bolas y la reparación de las fisuras de la fundación y *grout* que incluyen el cambio de las placas de anclaje (*Sole-plate*).

Las obras a realizar durante la Parada del Molino de Bolas ML-1013, fue prevista entre los meses de marzo a junio de 2018, de acuerdo a la última planificación de los trabajos del Proyecto.

Las principales actividades consideradas se listan a continuación, sin ser excluyentes:

- Traslado de los nuevos cuartos del estator y otros equipos componentes desde bodega y retiro de los cuartos del estator y polos existentes y otros equipos componentes a lugar de disposición.
- Montaje de nuevo estator, y todos sus componentes incluidos las Unidades de Enfriamiento.
- Montaje de nuevos polos del rotor del Molino de Bolas.
- Modificación mecánica del Molino de Bolas, cambio de *Trunnion Liner* y *Trommel Magnético*.

Obras complementarias, tales como despeje de interferencias para el paso de Estatores, reforzamiento temporal de estructuras, entre otras.

- Conexión de nuevas Salas Eléctricas y Transformadores del Molino de Bolas 141-ML-1013.
- Reparación de las fisuras en las fundaciones, cambio de *grout* y placas de anclaje (*sole-plate*) de apoyo del estator del Molino de Bolas.
- Integración de los sistemas de control del sistema de enfriamiento y del Molino de Bolas 141-ML-1013 al nuevo sistema DCS DELTA V de Collahuasi.
- Conexión de cañerías para el nuevo sistema de enfriamiento
- Instalación y conexión eléctrica, de cañerías e instrumentación de los sistemas auxiliares (freno, lubricación, otros).
- Vacío, carguío de bolas y otros trabajos de mantenimiento por Operaciones.
- Proceso de puesta en marcha del Molino de Bolas repotenciado.

5.8 Puesta en Marcha

Estos cambios (estator, normalización mecánica), culminan con la Puesta en Marcha del Molino de Bolas, en junio del 2018 y Julio del año 2019, de acuerdo a la última planificación del proyecto.

Se entenderá por proceso de Puesta en Marcha todas las actividades comprendidas entre el término de la construcción y montaje de las instalaciones del proyecto (Término de la Construcción) hasta la recepción final por parte del usuario final de las instalaciones, funcionando a la capacidad planificada (Término del Ramp-up).

El período de preparación del proceso de Puesta en Marcha se inicia en la Ingeniería de Detalles y se completa oportunamente durante la Construcción. En esta preparación, se sistematiza, organiza, planifica, programa, describe, se establecen las pruebas, los procedimientos y protocolos, y los recursos necesarios, información que se consigna en el manual de Puesta en Marcha.

El proceso de Puesta en Marcha comprende el Precomisionamiento, Comisionamiento, Puesta en Marcha en sí, Ramp-Up, Sistematización de las instalaciones de la Planta en sistemas y subsistemas, la estrategia en la secuencia de prueba de los distintos sistemas y subsistemas y la capacitación del personal que operará la planta con el Molino de Bolas Repotenciado.

La secuencia de pruebas en vacío y con agua deberá asegurar que todas las instalaciones estén listas para realizar las pruebas con carga. En particular, deberá estar listo el sistema de control, el suministro permanente de electricidad y agua y el sistema de protección contra incendios.

5.9 Situación de la compañía y alternativas consideradas

Como se da a entender el proyecto tiene un efecto ambicioso en el aumento de producción en la línea 3 de molienda, que es hasta el día de hoy, la que posee mayor nivel de procesamiento.

De la misma forma, una parada de esta línea para realizar obras es sumamente costoso para la compañía al asumir costos de pérdida de producción, asociado a la cantidad de días en la cual la línea queda inoperante. Por esta razón, es que se considera como vía alternativa una opción en la que no se reemplazarán los polos de los estatores. Esta decisión permitiría reducir significativamente los tiempos de trabajo que se requieren para realizar la intervención programada. Sin embargo, se expone la confiabilidad del sistema a una eventual falla por el no reemplazo de los polos.

En resumen, se considera el caso base de esperar la falla catastrófica, donde la empresa recibe el costo de reposición en un periodo esperado según la confiabilidad actual, pero un periodo de castigo por tiempo de reparación en los que se genera un costo de ineficiencia por la gestión de la falla en los activos. Y como casos propuestos, se tiene en cuenta el cambio total del estator y el cambio del estator sin la consideración de los polos.

VI. DESARROLLO DE LA ESTRATEGIA

En este capítulo, se mostrará el desarrollo de la estrategia a seguir, para la ejecución del plan maestro mencionado en la descripción del proyecto, con la finalidad de establecer responsabilidades y límites de baterías claros en el proceso del repotenciamiento de los Molinos de Bolas. También se identifican los factores que inciden directamente en el funcionamiento del proyecto, de manera tal que se puedan identificar los costos que estos conllevan su desarrollo.

Como se ha mencionado en los objetivos de esta tesis, este proyecto tiene por objetivos mitigar el riesgo de pérdida de producción por falla catastrófica (estatores, fundaciones y *grout*), repotenciar los Molinos de Bolas para mantener la capacidad de tratamiento y obtener hasta un 1.25% de incremento en la recuperación de cobre.

Se han analizado dos escenarios posibles de ejecución:

- No hacer nada. (hasta ocurrir una falla)
- Desarrollar la planificación prevista en las fases FEL 1-2 y ejecutar las reparaciones y el repotenciamiento de los Molinos de Bolas 1013 y 1012 en Q1 y Q3 de 2018, respectivamente. Esta opción se analiza con y sin cambios de polos.

Se debe considerar que:

- La opción de realizar sólo la ingeniería, recomendación de compras y desfazar la ejecución fue descartada porque agregaba seis meses al proyecto.
- La VP de Procesos ha señalado su percepción que existe un riesgo alto de falla dada la condición actual de los equipos e instalaciones, lo que descarta la opción de realizar sólo ingeniería, compras y obras tempranas. Además, este riesgo alto hace necesario estudiar un proceso fast track y secuenciamiento de la ingeniería en relación a los riesgos, durante esta etapa.
- El informe de consultor externo, TeCoLanz hecho para Anglo American en Oct 2015, menciona que para “GMD Ball Mills 1012 and 1013:
 - *“Risk of stator insulation failures of highly stressed bar due to accelerated ageing. Stator replacement being the only viable approach.”*
 - *Adicionalmente, “Set up project for stator exchanges, foresee exchanges in 2017 and 2018. Depending on increase in failure rate, be prepared to advance the exchange”*

- En adición, *“Since the stator exchange foresees power increase, the required excitation current increase with exacerbate movements in Pole winding structure. The risk of Pole failures is thus increasing”*. Y *“Foresee exchange of rotor poles together with stator exchange “*

a) Daño en fundaciones de molinos y en el *grout* de apoyo de los estatores.

Uno de los principales problemas que afectan actualmente a los molinos de bolas 1012 y 1013 corresponde al daño detectado en la estructura de sus fundaciones y en el *grout* de soporte, específicamente en el sector del apoyo del estator sobre las fundaciones. Aun cuando los estudios realizados durante la etapa previa del proyecto han concluido que el actual deterioro de las fundaciones de ambos molinos no compromete su estabilidad estructural, no es posible descartar que daño presente en el *grout* de soporte del apoyo de los estatores sobre las fundaciones no pueda contribuir al aumento de vibraciones, resultando en una falla catastrófica si, por ejemplo, se produce un choque entre el rotor y el estator de alguno de los molinos.

Si ocurriera una falla de esta naturaleza en uno de los molinos, en un momento en el cual la ingeniería de detalles no haya sido aún desarrollada, cuando las Obras Tempranas relacionadas con el repotenciamiento no hayan sido ejecutadas, o cuando los equipos o materiales necesarios para el cambio de estatores no estén aún disponibles, la detención total de la línea de molienda secundaria, solo para reparar el *grout*, sin considerar cambio de estatores, se ha estimado en 110 días y sería necesario una segunda detención de aproximadamente 40 días para reemplazar estatores y repotenciar el sistema motriz del molino. Esta situación para uno de los molinos de bolas se debe comparar con el caso base del proyecto que considera una detención programada de 90 días para cada molino.

b) Tecnología de aislación eléctrica de las bobinas del estator

El segundo de estos problemas es el diseño inadecuado de la aislación eléctrica de las bobinas de los estatores de los molinos de bolas, el cual considera una tecnología basada en aislación tipo NOMEX, la cual no es apropiada para las condiciones de los motores en términos de altitud y nivel de tensión. Esta tecnología de aislación eléctrica es la misma usada originalmente en las bobinas del estator del molino SAG 1011, el cual después de múltiples fallas, tuvo que ser reemplazada en 2013. Durante el último trimestre de 2014, el Molino de bolas 1013 experimentó su primera falla en la aislación eléctrica del estator, con la consiguiente detención no planificada de la línea 3. Dadas las condiciones de la tecnología de aislación eléctrica presente en los molinos de bola y la temperatura operacional sobre 100°C (lo cual facilita la aparición de descargas parciales y acelera la degradación de la aislación) se puede esperar que la frecuencia de falla se incremente en el futuro.

Esto llevará a un aumento del tiempo de detención de los equipos que impactará negativamente en la producción de la planta. Este proyecto entrega una solución definitiva para evitar esta pérdida de producción.

La corrección de las desviaciones mencionadas está ligada entre sí: ABB no garantiza la operación correcta de los nuevos estatores si Collahuasi no repara las fundaciones y el *grout* de los molinos. El daño en el *grout*, por su parte, no puede repararse si no se desmontan los estatores. Por esta razón, ambos trabajos deben ejecutarse durante la detención programada y la duración de la detención para cada molino se ha estimado en 90 días.

Las intervenciones descritas implican tiempo de detención de las líneas de molienda de los molinos 1012 y 1013 lo que puede utilizarse también para el repotenciamiento de sus sistemas motrices GMD, desde 15,5 a 17,2 MW. Esta alternativa está, además, fuertemente respaldada por el hecho de que Collahuasi ya compró los equipos mayores requeridos para este repotenciamiento y cambio de estatores. Esta estrategia ya resultó ser exitosa durante el cambio de estatores y repotenciamiento del Molino SAG 1011, cuando el sistema GMD de este molino se repotenció desde 21 a 23 MW.

Originalmente, el alcance descrito fue parte del proyecto de cambio de estatores y repotenciamiento de los molinos SAG 1011 y bolas 1012 y 1013. Sin embargo, durante 2012 se cambió el alcance y solo se hizo el cambio en el Molino SAG, postergando la intervención en los molinos de bolas. Pese a esto, se realizó la compra de los equipos mayores para el cambio de estatores y repotenciamiento de los molinos 1012 y 1013.

En marzo de 2015, se aprobó un estudio FEL1/FEL2 para el proyecto, incluyendo el desarrollo de ingeniería básica, con la única excepción de la ingeniería del nuevo sistema de enfriamiento de los molinos de bolas, la cual se desarrolló a nivel conceptual. Este estudio finalizó en marzo de 2016.

Actualmente el proyecto se ha desarrollado con equipo propio y el apoyo menor de terceros en régimen part-time. Para la siguiente fase se considera la constitución de un equipo de dedicación exclusiva.

Los equipos para los molinos 1012 y 1013 están parcialmente almacenados en bodegas Collahuasi y el resto en vías de entrega durante 2016.

Se negoció con ABB un servicio de inspección de los suministros existentes almacenados en Collahuasi. El objetivo de este servicio es determinar el estado de estos suministros y detectar elementos faltantes. Una vez inspeccionados, todos los equipos y materiales deberán ser almacenados en un lugar dedicado y controlado por el proyecto, para asegurar sus condiciones de almacenamiento y su disponibilidad para la ejecución. Esta inspección puede dar origen a compra por reposición de equipos o materiales.

6.1 Etapa de Ingeniería de Detalles

El principal objetivo de la etapa es la mitigación de riesgos, toda vez que sus diferentes actividades desarrollo de ingeniería de detalles y estudios menores son parte del plan de acción diseñado para mitigar los efectos de una potencial falla catastrófica producida por el daño en el *grout* de apoyo de los estatores sobre las fundaciones y también por las posibles fallas del sistema actual de aislación eléctrica de las bobinas de los estatores de los molinos de bolas 1012 y 1013.

El alcance de la ingeniería de detalles puede dividirse como sigue:

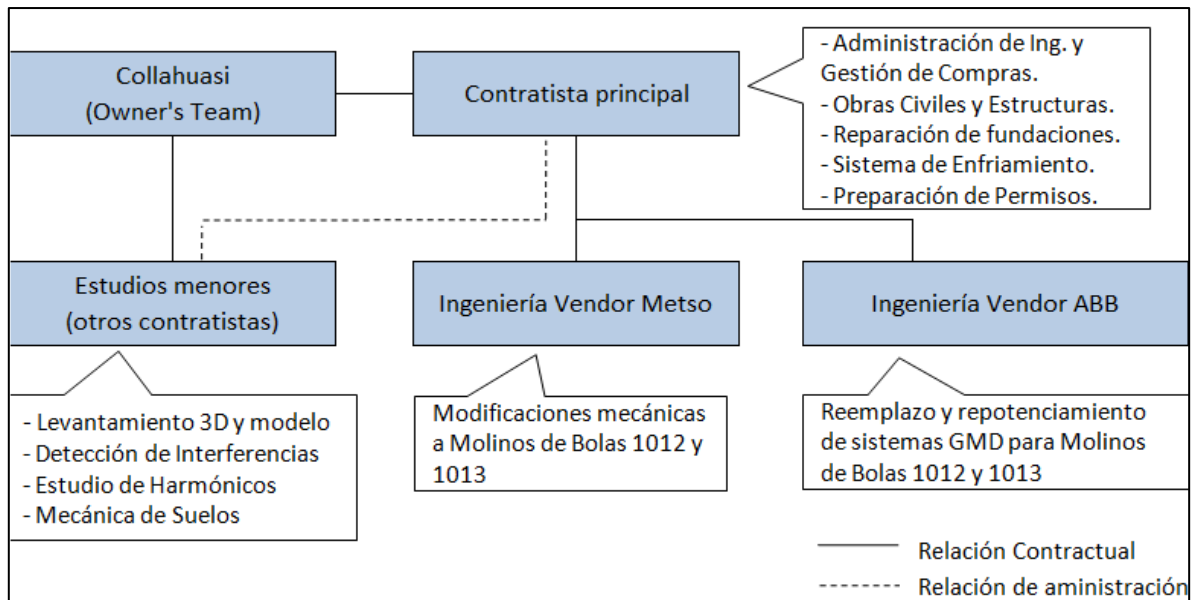
- a) Ingeniería de detalles para el repotenciamiento de los sistemas GMD y reemplazo de estatores de los molinos de bolas 1012 y 1013: :
 - Canalización, tendido de cables y conexionado desde la subestación GIS a Planta Concentradora en Ujina (específicamente a las nuevas salas eléctricas, transformadores y estatores).
 - Instalación civil, eléctrica y mecánica de los nuevos transformadores de poder (3) y excitación (1) para cada molino.
 - Instalación civil, eléctrica y mecánica de las nuevas salas eléctricas; una para cada molino.
 - Desconexión y retiro de los estatores existentes.
 - Preparación, montaje y conexionado de los nuevos estatores
 - Desconexión y retiro de los transformadores existentes. Un transformador de excitación y 3 transformadores de poder por cada molino.
 - Desconexión y retiro de salas eléctricas existentes; una por molino.
 - Integración de los nuevos equipos de control en el DCS Planta.
 - Reemplazo de la totalidad de los polos; 60 por molino.

- b) Ingeniería de detalles para la modificación mecánica de los molinos de bolas 1012 y 1013: incluye el cambio del trunnion liner de descarga y del trommel magnético para cada molino de bolas, para permitir el funcionamiento de los molinos repotenciados con un mayor nivel de llenado.
- c) Ingeniería de nuevo sistema de enfriamiento: ingeniería de detalles para el nuevo sistema de enfriamiento de los molinos de bolas, basado en tres torres de enfriamiento, el cual se requiere para atender a los sistemas GMD repotenciados de ambos molinos.
- d) Ingeniería para reparación de fundaciones y *grout*: ingeniería de detalles para reparar y reforzar las fundaciones y área de *grout* de apoyo de los estatores de ambos molinos de bolas, basada en la ingeniería básica desarrollada en la etapa previa.
- e) Ingeniería civil y estructural: ingeniería de detalles de obras civiles y estructurales requeridas para el reemplazo de estatores y repotenciamiento de molinos 1012 y 1013. Incluye infraestructura permanente para transformadores y salas eléctricas y también infraestructura temporal para la ejecución de las obras.
- f) Otros estudios de ingeniería menores:
 - Levantamiento y modelación 3D de las instalaciones actuales de la concentradora mediante laser. Se realizará para obtener información de entrada requerida por la ingeniería de detalles y para detectar interferencias en forma temprana y así evitar re-trabajo y atrasos durante la fase de construcción.
 - Otros estudios complementarios como estudios de interferencia del nuevo sistema de enfriamiento con cañerías subterráneas.

6.2 Estrategia contractual

Esta etapa de ingeniería de detalles se desarrolló entre 2Q 2016 y 1Q 2017, comenzando en junio de 2016. Considera la adjudicación de todo el alcance de ingeniería y gestión de compras a un solo contratista mayor. Esta compañía tendrá relación contractual directa con Collahuasi y subcontratará la ingeniería vendor para aquellas áreas que requieren conocimiento o experiencia específicos. La Figura 6.1 que se muestra a continuación muestra esta estrategia contractual y los paquetes de ingeniería que deben adjudicarse.

Figura 6.1 Estrategia contractual para etapa de ingeniería de detalles



Fuente: Elaboración propia

El Programa Maestro Nivel 1 para el proyecto se muestra en Anexo B

La ruta crítica del Proyecto está definida por:

- i. Licitación de ingeniería de detalles.
- ii. Adjudicación de ingeniería de detalles.
- iii. Desarrollo ingeniería de detalles.
- iv. Obras Tempranas.
- v. Vaciado de molino (solo para la alternativa con cambio de polos)
- vi. Desmontaje de estatores existentes.
- vii. Reparación de *grout*.
- viii. Montaje de estatores nuevos.
- ix. Puesta en marcha.

6.3 Estrategia legal, comunidad y permisos

6.3.1 Medio Ambiente

El proyecto Reemplazo y Repotenciamiento Estatores Molinos de Bolas constituye en su conjunto un cambio tecnológico de “no consideración”, dada esta condición, no requiere por si solo someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

Sin embargo, es importante señalar que, en el marco de un nuevo proceso de evaluación ambiental (EIA Continuidad Operacional), Collahuasi deberá regularizar cada una de las modificaciones y/o ampliaciones que contempla el proyecto, incluyéndolas como parte del caso base.

6.3.2 Permisos

No se requieren permisos adicionales mayores (SERNAGEOMIN, DGA) a los ya vigentes para el funcionamiento de la planta concentradora: “Actualización Planta de Procesamiento de Minerales: Proyecto de Optimización a 170 ktpd”, aprobado mediante Resolución Exenta N°388, del 02.10.14, de SERNAGEOMIN, considerando, además, que la modificación del trazado de la línea de 23 kV proyectada no intervendrá la quebrada aledaña y tampoco se requerirán mayores derechos de agua a los ya autorizados.

En relación con los permisos sectoriales menores (Seremi Agricultura, SEC, DOM, Seremi Salud, CDEC-SING, CNE) deberán tramitarse entre otros los siguientes permisos:

- Comunicación obra nueva de transmisión (CDEC-SING, SEC, CNE): necesario para la subestación unitaria (30 días tramitación).
- Permiso de Edificación: necesario para las 2 nuevas salas eléctricas, (60 días de tramitación).
- Declaración Eléctrica interior: necesario para las 2 nuevas salas eléctricas, (30 días de tramitación, con planos eléctricos as-built).
- Recepción definitiva: necesario para las 2 nuevas salas eléctricas (90 días de tramitación, con memorias técnicas y planos as-built).
- Tratamiento y disposición final residuos líquidos (Seremi Salud): Efluente sistema de lavado y retrolavado (20 días hábiles tramitación).

Por su parte, los contratistas de construcción, que participarán realizando las obras del proyecto, deberán obtener los permisos respectivos para sus instalaciones de faenas:

- Aviso de inicio de faenas mineras (SERNAGEOMIN)
- Instalación provisoria de faena (DOM)
- Jornada especial de trabajo (Dirección del trabajo),

- Sobredimensión de carga, para el traslado de postes y torres de enfriamiento (Dirección de Vialidad), entre otros.

6.3.3 Relaciones Externas

Dado que el reemplazo y repotenciamiento estatores Molinos de Bolas se ejecutará en su totalidad dentro de las instalaciones existentes de la Planta Concentradora de Collahuasi, no hay necesidad alguna de informar a las comunidades ni a las autoridades.

6.4 Resumen de los riesgos

La siguiente Figura 6.2 muestra los riesgos más relevantes del proyecto.

Figura 6.2 Riesgos principales del proyecto

Área	Riesgo	Mitigación	Responsable	¿Cuándo?
Operaciones	Pérdida de producción por falla catastrófica en grout de apoyo sobre fundaciones de estatores de molinos de bolas de línea 3.	Aprobación de proyecto.	Stakeholders	Directorio de abril 2016
		Desarrollar planes de contingencia para distintos escenarios de ocurrencia de falla.	VP Procesos	Permanente
		Ejecutar el proyecto.	VP Proyecto	Una vez aprobado, conforme al programa
Proyecto	Pérdida de producción por extensión de detención para cambio de estatores, debido a suministros dañados o extraviados.	- Inspección de suministros existentes. - Compra de suministros dañados.	VP Proyecto	Inmediato
		- Habilitación de patio de almacenamiento de suministros existentes bajo cuidado, custodia y control de Proyecto.		Inmediato
Capex	Costos adicionales e impacto en plazos por deterioro de cuartos de estator durante almacenamiento.	Habilitar bodega de almacenamiento de cuartos de estator en Ujina u optar por almacenamiento secundario off-site.	VP Proyecto	Inmediato
		Asegurar condiciones de almacenamiento de cuartos de estator mediante monitoreo periódico.		
Proyecto	Retraso de término de Obras Tempranas.	Coordinación y seguimiento exhaustivo de ingeniería, compras, contratos y ejecución.	VP Proyecto	Inmediato
Capex	Aumento de costos del proyecto.	Si es por cambio tardío en la fecha de detención, se deben renegociar contratos conforme al cambio de plazos.	VP Proyecto	Bajo ocurrencia
		Por retraso en la ingeniería, en las compras, en la ejecución, en contratación. Control estricto y permanente de desviaciones.		Permanente
		Por accidentes graves y/o fatales. Cumplimiento estricto al ciclo del programa de S&SO del proyecto, conforme a los lineamientos del ciclo de gestión de riesgos.		Permanente
		Por fuerza mayor; huelga, sismo, clima. Renegociación de contratos.		Bajo ocurrencia

Fuente: Elaboración propia

6.5 Escenario de falla catastrófica por ruptura definitiva de grout de fundación del estator

Existen innumerables momentos en que pueda producirse la falla catastrófica. El caso más desfavorable es que esta se produzca en el corto plazo. En dicho evento, el escenario A1 mostrado en la tabla siguiente define un marco de referencia para desarrollar un plan de contingencia en conjunto con la VP de Procesos.

Figura 6.3 Análisis de Falla catastrófica *grout*

FALLA CATASTRÓFICA POR RUPTURA DEFINITIVA DE ANCLAJE DE ESTATOR SOBRE FUNDACIONES		1	2
		SIN OOTT CONSTRUIDAS (O MENOS DE UN 80%)	CON 80% OOTT CONSTRUIDAS
A	SIN INGENIERÍA DE DETALLES TERMINADA DE ACTIVIDADES DE LA PARADA	<ol style="list-style-type: none"> 1) Escenario hasta marzo de 2017 (fecha término ing. det.) 2) No se cambian estatores (no ingeniería ni OOTT). 3) Detención 100 días para reparación de bobinas y de grout (ver programa). 4) Requiere detención futura de 35 días (ver programa). 5) Requiere tener la ingeniería para reparar el grout. 5) Si existe daño de bobinas se pueden reparar en piso, mientras se repara el grout. 6) Reparar fundaciones mientras se repara grout. 7) Proyecto podría cambiar trunnion liner de descarga y trommel magnético, pero debe adelantar compras e ing. 9) Total detención (100 + 35 + 5) = 140 días. 	NO APLICA
B	CON INGENIERÍA DE DETALLES TERMINADA DE ACTIVIDADES DE LA PARADA	<ol style="list-style-type: none"> 1) Desde marzo/17 hasta oct/17. 2) Se reemplazan estatores, se repara grout y fundaciones. 3) No repotenciamiento porque OOTT no están listas. 4) Si existe daño de bobinas se pueden reparar mientras se repara el grout. 5) Reparar fundaciones mientras se repara grout. 6) Implica tener tempranamente ingeniería de reparación de grout y contrato de reparación pre-acordado. 7) Implica tener preparado cta. Operaciones para desmontar estatores. 8) Proyecto ejecuta construcción de canalizaciones y acometidas de agua de enfriamiento a molinos en sectores de difícil acceso. 9) Proyecto cambia trunnion liner de descarga y trommel magnético. Debe adelantar compras. 10) Total detención 100 + 10 + 5 = 115 días. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Desde octubre de 2017 (3 meses para fin OOTT). 2) Se ejecuta cambio de estatores, reparación grout, rep. fundaciones y repotenciamiento. 3) Si existe daño de bobinas se pueden reparar mientras se repara el grout. 4) Reparar fundaciones mientras se repara grout. 5) Implica tener tempranamente ing. reparación grout y ctto. reparación pre-acordado. 6) Implica tener preparado cta. Operaciones para desmontar estatores. 8) Proyecto cambia trunnion liner de descarga y trommel magnético. Debe adelantar compras.
Escenario		Medidas de mitigación	
A1	Desarrollar ingeniería reparación de grout y reparación de fundaciones, tempranamente durante 2016. Cotizar contrato de reparación de grout y fundaciones durante 4Q 2016. Comprar el trunnion liner y trommel magnético durante 2016 y su ingeniería.		
B1	Comprar el trunnion liner y trommel magnético durante 2016. Cotizar contrato de reparación de grout y fundaciones durante 4Q 2016.		
B2	Supone el término de las Obras Tempranas durante la detención imprevista. El tiempo de detención es más largo que la programada, por factor imprevisto. Pero se debe comparar con (30) + (70+5) = 105 No se puede cambiar los polos, porque el molino se detiene por falla y no se puede vaciar.		

6.6 Estrategia de Ejecución del proyecto

6.6.1 Estrategia de Ejecución de la Ingeniería

Para la elaboración de la Ingeniería de Detalles del Proyecto, se ha considerado la siguiente estrategia:

- Ingeniería de detalles desarrollada por ABB: ABB elaborará la Ingeniería de Detalles de Repotenciamiento requerida para el cambio de estatores de los Molinos de Bolas ML-1012 y 1013. Esta ingeniería de detalles incluirá todas las instalaciones eléctricas y de instrumentación requeridas dentro del Edificio de Salas Eléctricas hasta Molinos para su repotenciamiento. Por otra parte, ABB desarrollará en conjunto con CMDIC, todos los estudios de maniobras para el desmontaje y montaje de Estatores como también todos los Procedimientos e Instructivos de seguridad para estas actividades.
- Ingeniería de Detalles desarrollada por Jacobs: El desarrollo de la Ingeniería de Detalles por parte de Jacobs debe considerar las instalaciones para el nuevo Sistema de Enfriamiento de los Molinos de Bolas ML-1012 y 1013, como también el nuevo Edificio para las nuevas Salas Eléctricas de ambos Molinos de Bolas. También se considerará la ingeniería para resolución de interferencias al interior de la Nave de Molienda para los futuros montajes de los Estatores durante Paradas. Como otro aspecto principal de la Ingeniería desarrollada, se elaboró el detalle de la reparación de *grout* y fisuras de las fundaciones de los Molinos de Bolas a ejecutar durante las Paradas. También fue parte del alcance de la ingeniería de detalles la integración de la ingeniería de ABB con la ingeniería desarrollada por Jacobs para las áreas comunes.
- Para los Paquetes de Trabajo desarrollados por ABB, la función de Jacobs será administrar, en nombre de CMDIC, estos contratos de ingeniería e integrar dichos desarrollos, una vez revisados y aceptados, en el conjunto del Proyecto. En paralelo al desarrollo de las ingenierías, Jacobs elaboró el Plan de Ejecución del Proyecto, el Programa Maestro, la Estimación de Costos y la Planificación de la Construcción (Constructibilidad) para obtener como resultado un Plan de Ejecución del Proyecto armónico y eficiente. Considerando que los trabajos de Parada de Molino de Bolas son especialmente relevantes, se preparó un Modelo 4D para las actividades durante la Parada del Molino de Bolas ML-1013, con finalidad principal de asegurar la adecuada planificación de los trabajos a ser ejecutado en un plazo restringido en un máximo de 90 días. Para este Modelo 4D se requirió preparar en forma previa de un modelo 3D requerido para la posterior integración con el programa de construcción.
- Durante este período se desarrollan todos los talleres necesarios como los de Riesgos, Hazop, Constructibilidad y Talleres Modelo 4D, con el objeto de asegurar en forma oportuna una eficiente Construcción del Proyecto. Estos Talleres fueron desarrollados por Jacobs.
- En el caso del Modelo 4D se continuará con su evolución durante la fase de construcción.

En la Figura 6.4 siguiente, se muestra en detalle, la distribución del alcance de Ingeniería de Detalles de las Empresas participantes en el Proyecto.

Figura 6.4 Alcance de la Ingeniería de Detalles

Paquete de Alcance	Alcance Civil Estructural	Alcance Mecánico y Cañerías	Alcance Eléctrico e Instrumentación	Alcance Integración Sistemas de Control
Cambio de Estatores	JACOBS	ABB	ABB	ABB
Repotenciamiento de Sistemas GMD	JACOBS	ABB	ABB	JACOBS/ABB
Cambio de Polos	JACOBS	ABB	ABB	ABB
Modificaciones Mecánicas	JACOBS	METSO	METSO	NO APLICA
Sistemas de Enfriamiento	JACOBS	JACOBS	JACOBS	JACOBS
Reparación de Fundaciones y <i>grout</i>	JACOBS	JACOBS	JACOBS	NO APLICA

Fuente: Elaboración propia

El área de integración de los Sistemas de Control relacionada con los sistemas GMD de los Molinos de Bolas, es compartida entre ABB y Jacobs, ya que se debe trabajar con ABB para desarrollar la Ingeniería de Integración de los Sistemas de Control de ABB, al nuevo sistema DCS DELTA V de Collahuasi.

Para el desarrollo de la ingeniería de detalles del proyecto, se requirió la información de levantamientos de instalaciones subterráneas existentes, topografía, mecánica de suelos, levantamiento 3D, estudio de resistividad, de tal manera de disponer de dicha información en forma oportuna.

Esta información se requirió tanto para la ingeniería desarrollada por Jacobs como por ABB. Para estos efectos, la estrategia de ingeniería incluye la licitación temprana de estos servicios, a excepción de mecánica de suelos y topografía, información que fue entregada por CMDIC.

6.6.2 Estrategia para las Adquisiciones

Los principales equipos correspondientes al cambio de estatores y repotenciamiento de los Molinos de Bolas, alcance de ABB, ya fueron adquiridos

por CMDIC y se encuentran en Bodega, a excepción de los polos del rotor de ambos Molinos, los que serán adquiridos por CMDIC.

Para las estructuras metálicas correspondientes al Edificio de Salas Eléctricas, Jacobs desarrolló en la etapa de ingeniería, los documentos necesarios para iniciar el proceso de licitación en forma temprana para la compra de estas estructuras. Jacobs llevó el proceso de licitación hasta la generación de la LOR respectiva y CMDIC realizó los procesos de adjudicación, compra y logística para la entrega en terreno de estas estructuras. Los procesos de activación fueron desarrollados por Jacobs en conjunto con CMDIC.

Los equipos correspondientes a las modificaciones mecánicas de los Molinos de Bolas, suministrados por Metso, serán gestionados por Jacobs hasta la emisión de la LOR y la Orden de compra será emitida por CMDIC. Los procesos de activación fueron desarrollados por Jacobs en conjunto con CMDIC.

Con relación a los equipos y estructuras correspondientes al nuevo Sistema de Enfriamiento para los Molinos de Bolas, Jacobs desarrolló en la etapa de Ingeniería, los documentos necesarios para iniciar el proceso de licitación en forma temprana para la compra de estos equipos. Jacobs llevó el proceso de licitación hasta la generación de las LOR respectivas y CMDIC realizó los procesos de adjudicación, compra y logística para entrega en terreno de los equipos y estructuras correspondientes. Los procesos de activación fueron desarrollados por Jacobs en conjunto con CMDIC.

Para el caso de cables eléctricos de media tensión y parcial de baja tensión propia de la ingeniería de ABB, fueron considerados en la gestión de compras por parte del Proyecto.

En relación al DCS DELTA V para el nuevo Sistema de Enfriamiento, se realizó la compra al proveedor EMERSON, cuya unidad se integrará en funciones con la lógica ABB.

Por otra parte, se elaboró en forma temprana, el Listado de Proveedores para aprobación por parte de CMDIC, previo a los procesos de licitación de las compras.

Los suministros de materiales tales como cañerías de diámetro igual o menor a 3", todas las canalizaciones y cables eléctricos en baja tensión en general, entre otros, serán parte del alcance de los Contratos de Construcción respectivos.

En relación al Manejo y Administración de Bodegas para los suministros del Proyecto, se considerarán las siguientes etapas:

- Para todos los suministros existentes o por llegar por efectos de las compras del Proyecto, antes de la adjudicación de los respectivos Contratos de Construcción, la responsabilidad de la administración de las Bodegas será por parte de CMDIC.
- Una vez adjudicados los respectivos Contratos de Construcción, esta administración pasará a cada uno de los Contratistas adjudicados.

6.6.3 Estrategia de Contratos

La Estrategia de Contratos del Proyecto ha sido actualizada durante el desarrollo del Proyecto, la cual ha experimentado cambios propios de su evolución, como también consideraciones de riesgos, costos, cumplimiento de plazos, entre otros aspectos.

Como estrategia general de Contratos para el Proyecto se consideró lo siguiente:

- Inicio temprano del desarrollo de las Bases de Licitación, especialmente las correspondientes a los Contratos que se deben ejecutar durante la etapa de Obras Tempranas.
- Inicio temprano de las Bases Técnicas para los Contratos a ejecutar durante la Parada del Molino de Bolas.
- Revisión de los alcances y programas de ABB, para asegurar que el desarrollo de la ingeniería cubra todo el alcance requerido por el proyecto para el desarrollo de las Bases Técnicas de cada Contrato.
- Selección temprana de Empresas Contratistas, elaborando un “Listado de Contratistas” que deberá ser presentado para aprobación de CMDIC.
- Jacobs llevará el proceso de licitación hasta la generación de las LOR de los respectivos Contratos de Construcción y CMDIC realizará los procesos de adjudicación, movilización, administración de los contratos y cierre de cada uno.
- Desarrollo de los procesos de licitación acordes con las políticas, normas y procedimientos establecidos por CMDIC.

6.6.4 Estrategia de Ejecución de las Obras

Para contar con una óptima planificación y ejecución de las Obras de Construcción, se consideró la siguiente estrategia:

- Elaboración temprana del Programa de Construcción, que estará contenido en el Programa Maestro del proyecto.
- Desarrollo del Plan de Compras de modo de asegurar la oportuna llegada de los equipos y materiales en terreno, durante la etapa de Construcción.
- Programación y planificación de las Obras de Construcción en base al quiebre de Contratos definidos en el Plan de Contratos actualizado del Proyecto y acorde a las etapas de construcción definidas en el Plan de Construcción del Proyecto.
- Desarrollo temprano de las actividades de constructibilidad, donde se considere la planificación de todas las obras de construcción, su complejidad, interferencias, *tie-ins* con los sistemas existentes, requerimientos específicos para su ejecución.
- Realización temprana de una adecuada interacción con Operaciones de manera de que las obras a ejecutar durante la parada del Molino de Bolas ML-1013 interfiera lo menos posible con la producción.
- Planificación con Operaciones de las entregas de áreas comprometidas por los diferentes trabajos, tanto de las Obras Tempranas como de las Paradas de Molinos.
- Los informes de constructibilidad deben incluir el estudio de todas las maniobras de traslado y retiro de los equipos mayores tanto del alcance de Jacobs como de ABB.
- Planificación de la ejecución de todas las obras en base a una planificación de la Construcción que considere los recursos, personal, equipos, duraciones y plazos, coordinaciones con operaciones, supervisión, gestión de los contratistas, logística y cualquier otro, de modo de asegurar la ejecución del proyecto de acuerdo al Programa Maestro, dentro de los costos estimados y con la calidad establecida. Para estos efectos y en particular para los trabajos durante la Parada del Molino de Bolas se ha desarrollado un Modelo 4D, con el objeto de anticipar en forma planificada la ejecución de estos trabajos.
- Definición de los turnos de trabajo en terreno, tanto para el personal directo como para el personal indirecto. Esta definición estará debidamente indicada en las Bases de Licitación.
- Definición de todos los aspectos de logística para la ejecución de los trabajos, tales como movilización externa e interna, alimentación, hotelería, instalación de faenas de los Contratistas, comunicaciones. Esta definición estará debidamente indicada en las Bases de Licitación.
- Confirmación de los factores de productividad para el desarrollo de los trabajos. Estos factores deberán quedar establecidos en los estudios de costos de las Empresas durante los procesos de licitación de los Contratos.

- En la determinación de las jornadas de trabajo, logística y productividad deberán diferenciarse los siguientes aspectos:
 - Trabajos de Obras Tempranas. Normalmente se considerarán trabajos en turnos diurnos y en jornadas continuas de régimen 8x6 u otro de acuerdo a las condiciones específicas de Collahuasi. En lo relacionado a logística, se deberán considerar todos los aspectos necesarios para cubrir las jornadas y turnos definidos y asegurar la productividad necesaria para el cumplimiento de los plazos, seguridad y costos.
 - Trabajos durante Parada de Molino. Jornadas de trabajos continuos durante las 24 hrs. (dos turnos de 12 hrs. cada uno) durante todo el período de las Paradas de Molinos. En los aspectos de logística, se deberá considerar esta condición de jornadas diurna y nocturna de tal forma de no interrumpir el desarrollo de los trabajos y asegurar la productividad necesaria para el cumplimiento de los plazos, seguridad y costos. Se deberá considerar que, en la Parada del Molino de Bolas, participarán diferentes contratistas para los trabajos de desmontaje y montaje del estator, reparación de *grout* y fisuras, obras complementarias, instalación de andamios como también actividades propias de la operación y coordinación con Operaciones para el desarrollo de los trabajos de construcción. La estrategia y planificación para el desarrollo de estos trabajos deberá considerar la participación de todos los mencionados en áreas comunes, tiempos en paralelo, y todo en el plazo restringido de ejecución de estos trabajos.
- Minimizar los riesgos asociados a la Seguridad y la Salud Ocupacional.
- Utilizar los Estándares de Prevención de Fatalidades Collahuasi (EPF's) y los procedimientos estructurales de CMDIC, que sean aplicables al Proyecto.
- El área donde se deberán ubicar las obras de este proyecto, tiene las siguientes restricciones que deberán ser consideradas:
 - Zona industrial en operación.
 - Gran altitud geográfica.
 - Tormentas eléctricas durante el invierno altiplánico.
 - Bajas temperaturas durante el invierno continental.
 - Alejado de centros poblados.

Estos aspectos, entre otros deberán ser considerados en la determinación de los factores de productividad que deberán ser aplicados.

6.6.5 Estrategia del Proceso de Puesta en Marcha

Todas las actividades de término de Construcción tanto para los trabajos de Obras Previas como durante la parada de los molinos serán lideradas por los respectivos Contratistas de Construcción. Esto incluye la ejecución de todas las pruebas de construcción por equipos, sistemas o subsistemas.

Al término de esta etapa se generarán los respectivos Paquetes de Traspaso que incluirán todos los protocolos de pruebas y construcción desarrollados. De la misma forma, se deberán incluir todos los manuales y certificados de los equipos, emitidos por los Vendors y los planos "Red Line" y/o "As Built" de cada instalación, sistema o subsistema.

Con posterioridad a esto y de acuerdo a un plan establecido en forma previa de traspaso de paquetes y/o unidades funcionales, se iniciarán los respectivos Precomisionamiento de estos sectores en forma parcial. Este Pre-comisionamiento será liderado por el Contratista, con la participación de CMDIC y de Operaciones.

Para la etapa de Comisionamiento, este proceso será liderado por el proyecto, con apoyo del área de Operaciones y personal seleccionado de especialidades de cada contratista de construcción.

En forma planificada, con la debida anticipación a estos procesos, se deberá considerar por Operaciones un equipo de personal para ser capacitados en la operación de las nuevas instalaciones.

VII. ANÁLISIS FINANCIERO

En este capítulo se recopilan los datos y se muestra a grandes rasgos la construcción del flujo de caja que se utilizará para evaluar el presente proyecto.

7.1 Estrategia de Collahuasi solicitud de Inversión a Inversionistas

Como antecedente preliminar se debe mencionar que Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM, para llevar a cabo el proyecto, solicito aprobación de fondos de inversión por US\$ 13,21m más una provisión tipo de cambio de US\$0,57m para desarrollar la etapa de Ingeniería de Detalles y Gestión de Adquisiciones del proyecto.

El desarrollo de esta etapa permitirá a CMDIC estar en mejores condiciones para enfrentar una eventual falla y/o ejecutar el proyecto de repotenciamiento y reparación de las fundaciones de los Molinos de Bolas conforme a lo planificado.

- Inversión Presupuestada

1	Presupuesto Quinquenal 2016-2020	US\$ 195,72m
2	Costos Directos	US\$ 9,54m
3	Costos Indirectos	US\$ 1,66m
4	Contingencia (13%)	US\$ 1,45m
5	Impacto del tipo de cambio	US\$ 0,57m
	Total de Fondos requeridos	US\$ 13,21m

Fecha de la Valorización	Marzo-2016
Gasto Anual para 2016	US\$ 10,69m
Gasto Anual para 2017	US\$ 1,96m
Provisión tipo Cambio (Forex)	US\$ 0,57m
Total de Fondos	US\$ 13,21m

- Resumen de valorización:

Indicador	Valor
CAPEX	US\$170m
NPV	US\$-232m
IRR	0%
Payback	0

- Tipo de Cambio:

Tarifa	Nominal
FX- Peso: USD	675
FX- Peso: UF	25.700
US\$ / UF	38,07
Tarifa	Nominal
FX- Peso: USD	675
FX- Peso: UF	25.700
US\$ / UF	38,07

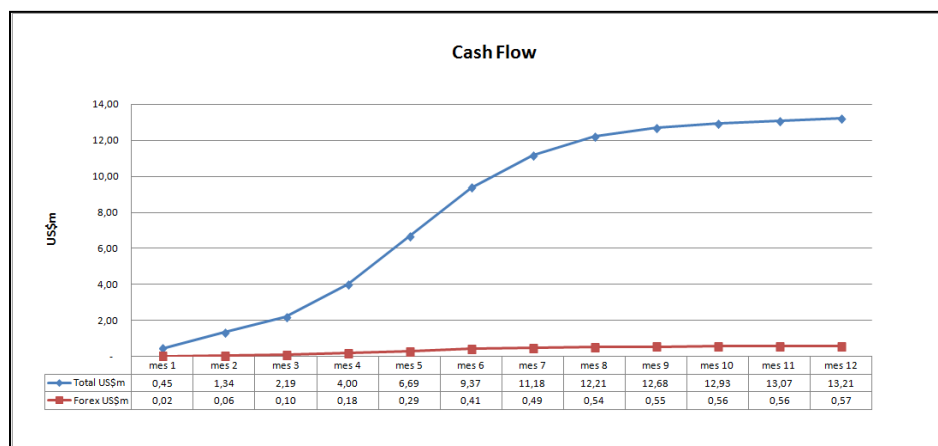
- El Capex y flujo de caja estimados para la etapa de Ingeniería de Detalles, se muestran a continuación, esto se obtiene realizando un proceso de Benchmark con respecto a proyectos similares en otras compañías. Esto se irá actualizando por etapas conforme el avance de la ejecución del proyecto.

Figura 7.1 Detalle de Capex

Capex Repotenciamiento Molinos 1012&1013 Ingenieria de Detalles	Costo Total USD
Servicios EP (Ingeniería y gestión de compra)	9.097.396
Estudio Eléctrico	79.523
Estudio de Terreno Levantamiento 3D	259.019
Estudio de Terreno Mecanica de Suelos	100.000
COSTOS DIRECTOS	9.535.938
Owner Team	1.659.421
COSTOS INDIRECTOS	1.659.421
SUB TOTAL CD + CI	11.195.359
CONTINGENCIA	1.449.952
Contingencia (13% de CD + CI)	1.449.952
SUBTOTAL PROYECTO	12.645.311
FOREX	566.866
TOTAL PROYECTO	13.212.177

Fuente: Elaboración propia

Figura 7.2 Diagrama de costos del proyecto.



- Costos de ineficiencia:

Cabe destacar en el proyecto los altos costos de ineficiencia producto del *shutdown*, con el nivel de procesamiento actual del negocio, un día de *shutdown* afecta aproximadamente la suma de US\$1 MM después de impuestos, lo cual es un impacto durísimo para la compañía y que está atento a mitigar, haciéndose responsable de la administración directa del proyecto.

Figura 7.3 Análisis de Negocio

Summary of the Stator Repowering Valuation				
Summary		Terms of References		LOM 2015
		Day of Evaluation		abr-16
		Discount Rate		8%
		Cu Recovery Rate Increase		1,25%
		LT Cu Price		2,95
		Production during Ball Mill Stoppage		62% of original Line 3 production during shut down 1 day shutdown affects approx US\$1mil after tax
		Change w/ Pole	Change w/o Pole	Catastrophy Case (start eng in Jan 2018)
Schedule	may-16	Start engineering in May 2016	Start engineering in May 2016	
	jul-17	Start pre-work in July 2017	Start pre-work in July 2017	
	dic-17	Complete pre-work (Capex -\$95m)	Complete pre-work (Capex -\$95m)	
	Q1- 2018	Stator repower in 2018 Q1 75days (there may be additional mobilization days if we postpone the stator repower until a failure occurs) 0.125% recovery with 1 mill repowered	Stator repower in 2018 Q1 70days (there may be additional mobilization days if we postpone the stator repower until a failure occurs)+E14 0.125% recovery with 1 mill repowered	Failure - 110 day shutdown in Jan 2018 / \$25mCapex (15% lower utilization for 2 months after rep) (11days repairment of winding every 6months) Start engineering in Jan 2018.
	Q3 - 2018	Stator repower in 2018 Q3 73days +0.25% recovery w/ 2 mills repowered	Stator repower in 2018 Q3 68 days +0.25% recovery w/ 2 mills repowered	
	2019 2020			Stator repower in 2019 Q3 - 40days / 0.125% recovery Stator repower in 2020 Q1 - 75days / 0.25% recovery
NPV (8%)	US\$ mil	13	35	-93
			21	-106
IRR	%	8,4%	9,2%	5,6%
Capex	US\$mil	170	153	193
Capex NPV(wo depreciation)	US\$mil	150	136	152
Capex until Pre-Work Compl.	US\$mil	95	86	
Days of Shutdown	Days	148	138	247
			10	-99
Annual Opex Increase	US\$mil	9,6	9,6	9,6

• **Hitos:**

Descripción	Fecha
Aprobación Board Paper	29-abr-16
Aprobación Ingeniería de Detalles	31-may-16
Inicio Ingeniería de Detalles	01-jun-16
Termino Ingeniería de Detalles	31-mar-17
Aprobación Suministros Tempranos	31-ene-17
Aprobación Etapa de Ejecución	31-my-17
Inicio Construcción Obras Tempranas	01-jun-17
Termino Construcción de Obras Tempranas MB 1013	19-ene-18
Inicio Detención MB 1013	20-mar-18
Termino Detención MB 1013	20-jun-18
Inicio Detención MB 1012	07-abr-19
Termino Detención MB 1012	07-jul-19

7.2 Proyección Valor del Cobre

Respecto de lo que se espera en el año 2019, las producciones de cobre serian de alrededor de los 6 millones de toneladas, llegando el año 2023 incluso a los 7 millones de toneladas de cobre (Cochilco, 2018).

Ahora, en los primeros días del año 2019 el Gobierno chileno dio a conocer sus proyecciones con respecto al precio del cobre durante el mismo año y, además, hizo una proyección para el año 2020. Para el año 2019, el precio del cobre se fijó en US\$3,05 por libra, mientras que para el año 2020, el precio se fijó en US\$3,08 por libra, esto impulsado por la constante tensión comercial entre Estados Unidos y China, de aquel momento.

El Ministro de Minería, Baldo Prokuriça, indica que la reducción de expectativas que tiene el crecimiento económico a escala global durante el 2019, además del conflicto comercial, hace que las inversiones en el mercado del cobre, y sus inversionistas, disminuyan y bajen el precio del cobre. Por otra parte, la guerra comercial es un elemento clave para considerar en las proyecciones.

En Cochilco esperan que la demanda mundial crezca alrededor de un 2,4% que se traducen en 575.000 toneladas. Con respecto a China, que es el comprador principal en todo el mundo, de cobre, espera que la demanda aumente en un 2,5%, en el año 2019.

Mientras que en el año 2020 se proyecta una demanda adicional, de manera global, de 419.000 toneladas, que se traduciría en un 1,7% menos en el año 2019. Con respecto solamente a China el 2020 será inferior al 2019 en un 1,5%, por lo que el aumento se estima que vendría desde la India y países al Sur de Asia.

Por otra parte, en el mes de Abril del 2019, se hicieron pública las principales conclusiones de tendencias en el mercado internacional del Cobre en relación al primer trimestre del 2019, indicando que, en ese momento, los buenos indicadores de la industria China, favorecían la demanda del cobre.

Según el Ministro de Minería nacional, el mercado estaría técnicamente en equilibrio entre oferta y demanda, siendo la demanda levemente superior, por lo que habría un pequeño déficit de 208 mil toneladas en el 2019 y en el 2020 unas 202 mil toneladas, que además están relacionadas con la baja en la producción del cobre en los yacimientos Grasberg, en Indonesia, como lo informa Freeport McMoran (2019).

Por otro lado, se señala que esta proyección en el precio del cobre tendría incluida el riesgo en la materia comercial del gigante asiático, que tendría un crecimiento del PIB de un 6,3% en el año 2019. Las negociaciones entre China y Estados Unidos se puede ver de manera positiva para generar confianza en el mercado, y la tasa arancelaria en importaciones que Estados Unidos le aplica a China, de un 10%, el

cual se mantiene controlado y, por lo tanto, el crecimiento del precio del Cobre tendría un alza gradual (Cochilco, 2018).

Es así como la demanda mundial del cobre debería aumentar en un 1,9%, superando el crecimiento en la oferta del cobre de un 1,6% que generaría un déficit de 459 mil toneladas.

En cuanto a los valores que se han utilizado para realizar las proyecciones correspondientes, se muestran en la Figura 7.4.

Figura 7.4. Datos para determinar las proyecciones de producción

	2017	2018	2019	2020	2021
Cu Price - ToR2016	2,24	2,37	2,43	2,60	2,70
C1 Cost (Budget- US\$real)	1,17	1,02	0,98	0,75	0,95
Fixed Opex (assumption)	40%	40%	40%	40%	40%
Mo Price - ToR2016	5,98	6,45	7,01	7,72	7,54
Mo Cost	3,04	3,04	3,04	3,05	3,04
Daily Fine Cu Ton Prod (Budget)	1.349	1.574	1.401	1.649	1.426
Daily Fine Mo Ton Prod (Budget)	11	11	19	27	20
Tax and Royalty Rate	28,4%	30,5%	30,5%	30,5%	30,5%

7.3 Flujo de Caja

El flujo de caja tiene un horizonte amplio, debido a que se considera un proyecto de largo plazo, sin embargo, para poder señalar y establecer un análisis se mostrará la información sólo para los siguientes cinco años, sencillamente por motivos de visualización. Para poder determinar la proyección de flujo de caja a cinco años, se presenta la siguiente información:

7.3.1 Proyección Producción de Molibdeno

Se determina de acuerdo a lo presupuestado para el año 2019, en la Figura 7.5, la proyección de la producción de Molibdeno para los próximos cinco años, de acuerdo a lo pronosticado por la empresa.

Figura 7.5 Proyección producción Molibdeno

Budget 2019-2023		Budget	Plan	Plan	Plan	Plan
Exhibit 10 : MOLYBDENUM PRODUCTION		Tot 19	Tot 20	Tot 21	Tot 22	Tot 23
MOLY CONCENTRATE IN PROCESS						
Opening Balance Mo Concentrate in Process	dmt	1.640	1.640	1.640	1.640	1.640
	%Mo	14,03%	14,03%	14,03%	14,03%	14,03%
	Mo Ton	230	230	230	230	230
Collective Concentrate	dmt	1.842.732	2.162.926	1.926.137	2.267.772	1.960.279
	% Mo	0,33%	0,30%	0,43%	0,53%	0,45%
	Mo ton	6.142	6.557	8.369	11.918	8.733
Mo Recovery	%	66,48%	61,89%	80,96%	81,92%	82,14%
Mo Concentrate Recovered	dmt	11.530	11.666	17.825	24.810	19.067
	% Mo	35,42%	34,79%	38,01%	39,35%	37,62%
	Mo Ton	4.084	4.058	6.776	9.763	7.174
Mo Production (to Filter Plant)	dmt	-11.530	-11.666	-17.825	-24.810	-19.067
	% Mo	35,42%	34,79%	38,01%	39,35%	37,62%
	Mo Ton	-4.084	-4.058	-6.776	-9.763	-7.174
Inventory Adjustment	dmt	0	0	0	0	0
	% Mo	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Mo Ton	0	0	0	0	0
Closing Stock Mo Concentrate in Process	dmt	1.640	1.640	1.640	1.640	1.640
	% Mo	14,03%	14,03%	14,03%	14,03%	14,03%
	Mo Ton	230	230	230	230	230
MOLY FILTER PLANT						
Opening Stock Filter Plant	dmt	645	645	645	645	645
	% Mo	25,75%	25,75%	25,75%	25,75%	25,75%
	Mo Ton	166	166	166	166	166
Mo Concentrate Production (Filtered)	dmt	11.530	11.666	17.825	24.810	19.067
	% Mo	35,42%	34,79%	38,01%	39,35%	37,62%
	Mo Ton	4.084	4.058	6.776	9.763	7.174
Mo Concentrate Sales	dmt	-11.530	-11.666	-17.825	-24.810	-19.067
	% Mo	35,42%	34,79%	38,01%	39,35%	37,62%
	Mo Ton	-4.084	-4.058	-6.776	-9.763	-7.174
	% Cu	2,3%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%
Inventory Adjustment	dmt	0	0	0	0	0
	% Mo	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Mo Ton	0	0	0	0	0
Closing Stock Filter Plant	dmt	645	645	645	645	645
	% Mo	25,75%	25,75%	25,75%	25,75%	25,75%
	Mo Ton	166	166	166	166	166

7.3.2 Presupuesto de los Costos de las Estructuras Asociadas al Proyecto

Para la realización del proyecto en análisis, se consideran los siguientes costos asociados, respecto de la estructura, y su depreciación, para los cinco años en estudio.

Figura 7.6 Presupuesto costos estructura

Budget 2019-2023	Budget	Plan	Plan	Plan	Plan
EXHIBIT 24 : Cost Structure Summary	Tot 19	Tot 20	Tot 21	Tot 22	Tot 23
(US\$ Nominal)					
TOTAL					
Budget 2017-2021					
EXHIBIT 25 : Cost Structure Summary					
(US\$ Nominal)					
	Tot 17	Tot 18	Tot 19	Tot 20	Tot 21
TOTAL					
Production (000 lb payable)	1.085.442	1.266.643	1.127.501	1.327.239	1.147.427
Sales Volume (000 lb payable)	1.085.442	1.266.643	1.127.501	1.327.239	1.147.427
[US\$/lb Payable]					
Mining Cash Cost	0,400	0,363	0,275	0,167	0,254
Direct Production Cost	0,422	0,366	0,419	0,382	0,439
Indirect Production Cost	0,125	0,111	0,125	0,111	0,130
Realisation Cost	0,330	0,326	0,332	0,339	0,355
C1 - CASH COST before credits	1,277	1,165	1,150	1,000	1,178
By - product credits	(0,105)	(0,140)	(0,151)	(0,230)	(0,184)
C1 - CASH COST after credits	1,172	1,026	0,999	0,769	0,994
Depreciation & Amortization	0,448	0,427	0,427	0,359	0,460
C2 - COST OF PRODUCTION	1,620	1,453	1,426	1,128	1,453
Change in Inventory	(0,022)	(0,017)	(0,021)	(0,016)	(0,025)
COST OF SALES	1,599	1,436	1,405	1,112	1,428

7.3.3 Proyección Producción de Concentrado

Para poder determinar el funcionamiento del proyecto propuesto se considera la producción de concentrado esperado para el periodo 2019 – 2023, como muestra la Figura 7.7.

Figura 7.7 Proyección producción concentrado

Budget 2019-2023
Exhibit 8 :
CONCENTRATE
PRODUCTION

Budget	Plan	Plan	Plan	Plan
Tot 19	Tot 20	Tot 21	Tot 22	Tot 23

GRINDING

			Budget	Plan	Plan	Plan	Plan
			Tot 19	Tot 20	Tot 21	Tot 22	Tot 23
Opening Balance	Ton	Opening Balance (ton)	1.878.600	1.878.600	1.878.600	1.878.600	1.878.600
	Cu ton	Opening Balance (Cu ton)	13.942	13.942	13.942	13.942	13.942
	%CuT		0,74%	0,74%	0,74%	0,74%	0,74%
Ore from Primary Crusher	Ton	Ore from Primary Crusher (ton)	52.079.377	53.043.307	53.096.788	57.360.000	53.313.618
	Cu ton	Ore from Primary Crusher (Cu ton)	597.624	685.003	613.390	721.732	608.252
	%CuT		1,15%	1,29%	1,16%	1,26%	1,14%
Ore to Flotation	Ton	Ore to Flotation (ton)	-52.079.377	-53.043.307	-53.096.788	-57.360.000	-53.313.618
	Cu ton	Ore to Flotation (Cu ton)	-597.624	-685.003	-613.390	-721.732	-608.252
	%CuT		1,15%	1,29%	1,16%	1,26%	1,14%
	Mo ppm	Ore to Flotation (Mo ppm)	215	219	262	338	301
	As ppm	Ore to Flotation (As ppm)	102	115	93	53	39
Inventory Adjustment	Ton	Inventory Adjustment (ton)	0	0	0	0	0
	Cu ton	Inventory Adjustment (Cu ton)	0	0	0	0	0
	%CuT		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Closing Balance	Ton		1.878.600	1.878.600	1.878.600	1.878.600	1.878.600
	Cu ton		13.942	13.942	13.942	13.942	13.942
	%CuT		0,74%	0,74%	0,74%	0,74%	0,74%

CONCENTRATE IN PROCESS

			Budget	Plan	Plan	Plan	Plan
			Tot 19	Tot 20	Tot 21	Tot 22	Tot 23
Opening Balance Concentrate in Process	dmt	Opening Balance Concentrate in Process (dmt)	47.933	39.101	39.101	39.101	39.101
	% Conc		21,94%	19,32%	19,32%	19,32%	19,32%
	Cu Ton	Opening Balance Concentrate in Process (Cu ton)	10.515	7.553	7.553	7.553	7.553
Ore Milled	Cu Ton	Ore Milled (Cu ton)	597.624	685.003	613.390	721.732	608.252
Cu Recovery	%		84,79%	86,83%	86,35%	86,41%	88,63%
Mo Recovery	%	Mo Recovery (%)	54,78%	56,39%	60,10%	61,56%	54,36%
Concentrate Recovered/ to Moly Plant	dmt	Concentrate Recovered (dmt)	1.842.732	2.162.926	1.926.137	2.267.772	1.960.279
	% Conc		27,50%	27,50%	27,50%	27,50%	27,50%
	Cu Ton	Concentrate Recovered (Cu ton)	506.751	594.805	529.688	623.637	539.077
Concentrate Production (to Filter Plant)	dmt	Concentrate Production (to Filter Plant) (dmt)	-1.840.034	-2.151.260	-1.908.312	-2.242.962	-1.941.212
	% Conc		27,69%	27,63%	27,73%	27,77%	27,74%
	Cu Ton	Concentrate Production (to Filter Plant) (Cu ton)	-509.414	-594.455	-529.153	-622.893	-538.505
Concentrate Production (loss at Mo Plant)	dmt	Concentrate Production (loss at Mo Plant) (dmt)	-11.530	-11.666	-17.825	-24.810	-19.067
	% Conc		2,60%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%
	Cu Ton	Concentrate Production (loss at Mo Plant) (Cu ton)	-300	-350	-535	-744	-572
Inventory Adjustment	dmt	Inventory Adjustment in Process (dmt)	0	0	0	0	0

	% Conc		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Cu Ton	Inventory Adjustment in Process (Cu ton)	0	0	0	0	0
Closing Stock Concentrate in Process	dmt		39.101	39.101	39.101	39.101	39.101
	% Conc		19,32%	19,32%	19,32%	19,32%	19,32%
	Cu Ton		7.553	7.553	7.553	7.553	7.553

FILTER PLANT

Opening Stock Filter Plant	dmt	Opening Stock Filter Plant (dmt)	25.701	25.701	25.701	25.701	25.701
	% Conc		26,50%	26,50%	26,50%	26,50%	26,50%
	Cu Ton	Opening Stock Filter Plant (Cu ton)	6.810	6.810	6.810	6.810	6.810
Concentrate Production (Filtered)	dmt	Concentrate Production (Filtered) (dmt)	1.840.034	2.151.260	1.908.312	2.242.962	1.941.212
	% Conc		27,69%	27,63%	27,73%	27,77%	27,74%
	Cu Ton	Concentrate Production (Filtered) (Cu ton)	509.414	594.455	529.153	622.893	538.505
Concentrate Shipped	dmt	Concentrate Shipped (dmt)	-1.840.034	-2.151.260	-1.908.312	-2.242.962	-1.941.212
	% Conc		27,69%	27,63%	27,73%	27,77%	27,74%
	Cu Ton	Concentrate Shipped (Cu ton)	-509.414	-594.455	-529.153	-622.893	-538.505
	As ppm	Concentrate Shipped (As ppm)	3.081	2.887	2.068	1.317	1.218
	Ag ppm	Silver Content (gr/dmt)	111,81	121,28	114,11	150,84	121,69
	Au ppm	Gold Content (gr/dmt)	1,18	1,52	1,38	1,68	1,6
Inventory Adjustment	dmt	Inventory Adjustment Filter Plant (dmt)	0	0	0	0	0
	% Conc		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Cu Ton	Inventory Adjustment Filter Plant (Cu ton)	0	0	0	0	0
Closing Stock Filter Plant	dmt		25.701	25.701	25.701	25.701	25.701
	% Conc		26,50%	26,50%	26,50%	26,50%	26,50%
	Cu Ton		6.810	6.810	6.810	6.810	6.810

7.3.4 Flujo de Caja Proyectado

Con la proyección de los ingresos y la estimación de los costos asociados, se analizarán las cifras en el flujo de caja a presentar, obteniendo indicadores relevantes para determinar si se realiza el proyecto o no. A continuación, se muestra la proyección solamente para el análisis del panorama de cinco años, por razones de visualización, ya que el horizonte de evaluación es muy amplio.

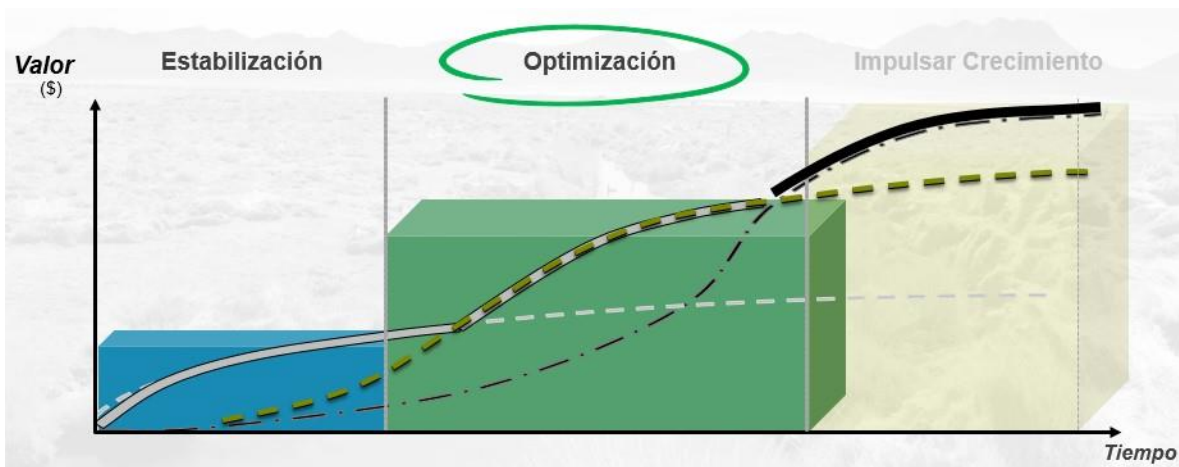
Figura 7.8 Proyección a cinco años alternativa cambio completo

PRODUCTION		30-06-2019	30-06-2020	30-06-2021	30-06-2022	30-06-2023
Budget(wo stator change and 24cells)						
Ore Feed	ton	58.093.154	58.560.000	58.292.088	53.450.119	53.903.113
Cu Conc Shipped	dmt	1.771.375	1.906.079	1.844.729	1.694.549	1.512.209
Cu Recovered	fine cu ton	490.510	530.150	541.980	499.017	438.572
Mo Recovered	fine mo ton	4.936	9.197	7.448	6.808	6.224
Scenario 1	126,0349147	0	0			
Ore Feed	ton	58.093.154	58.560.000	58.292.088	53.450.119	53.903.113
Cu Conc Shipped new	dmt	1.798.040	1.934.708	1.871.603	1.719.271	1.534.739
Cu Recovered	fine cu ton	497.843	538.023	549.805	506.232	445.047
Mo Recovered	fine mo ton	4.936	9.197	7.448	6.808	6.224
Difference						
Througput	ton	-	-	-	-	-
Cu Conc Additional	dmt	26.665	28.629	26.874	24.722	22.530
Cu ton not realized without project	fine cu ton	7.087	7.609	7.563	6.974	6.258
Mo ton not realized without project	fine mo ton	-	-	-	-	-
FINANCIAL						
Cu Price		2,64	2,72	2,95	2,95	2,95
Mo Price		5,72	5,9	6,8	6,8	6,8
Sales	240.395.929	41.935.757	47.016.212	51.526.767	47.121.694	41.715.071
Cost	(43.259.993)	-10.269.914	-11.444.209	-11.471.073	-10.577.702	-10.118.519
Net Profit(Sales - Cost)	197.135.937	31.665.843	35.572.004	40.055.694	36.543.993	31.596.552
Capex	-150.126.684	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Depreciation	13	(13.043.311)	(13.043.311)	(13.043.311)	(13.043.311)	(13.043.311)
Tax		(5.675.438)	(6.865.887)	(8.232.345)	(7.162.112)	(5.654.321)
Cashflow		25.990.405	28.706.116	31.823.349	29.381.880	25.942.231
NPV	13.350.703					
IRR	8,44%					
Payback	2029					

7.4 Análisis del caso base del proyecto en base al caso de negocio de impacto del proyecto en la compañía

En el año 2013, Collahuasi comienza un plan para el mejoramiento de sus operaciones, el cual se basa en tres etapas como se muestra en la Figura 7.9:

Figura 7.9 Situación empresa en el plan estratégico de la compañía



Donde:

✓ **Estabilización:**

Cumplir con nuestros compromisos de negocio operando de forma segura.

- con una variabilidad acotada
- bajo parámetros de diseño y con los permisos correspondientes,
- con una organización competente, proactiva y con buenas relaciones laborales
- y con nuestros gastos controlados

✓ **Optimización:**

Maximizar el valor del negocio actual, operando con una cultura de seguridad proactiva.

- optimizando la producción con gestión de riesgos,
- con una estrategia de desarrollo y operación sustentable,
- con niveles de eficiencia acordes a nuestro modelo de negocio
- y con una organización emprendedora y colaborativa

✓ **Crecimiento:**

“Aumentar en forma considerable el valor de nuestro negocio...”

- gestionando throughput de manera sobresaliente,
- siendo referentes en el Modelo de Gestión del negocio minero.

Actualmente, la estrategia de Collahuasi está enfocada en la optimización de las operaciones y en cerrar la etapa de estabilización. Es en esta etapa en la cual se encuentra inserto, el proyecto de repotenciamiento de los molinos bolas 1012 y 1013 que se efectuará en la planta concentradora, esto con la finalidad mitigar el riesgo de pérdida de producción por falla catastrófica y así mantener la capacidad de tratamiento y obtener hasta un 1,25% de incremento en la recuperación de cobre.

El impacto de este proyecto en relación a la estrategia de la compañía, es asegurar confiabilidad a los activos críticos de la compañía, estabilizar operaciones definitivamente (Asegurar los 160 ktpd), y guiar a la siguiente etapa contemplada al impulsar el “Crecimiento”.

7.5 Análisis de los resultados del flujo de caja

De los apartados anteriores se puede rescatar la información necesaria para determinar una decisión de inversión sobre el proyecto. Debido a que el valor presente neto es positivo (US\$ 13 MM), el proyecto es conveniente para la compañía. La tasa de descuento (8%) utilizada es menor a la tasa interna de retorno (8,44%), por lo que aun hay una brecha de flexibilidad de exigencia de la rentabilidad por parte de los accionistas, para quedar indiferentes a la realización del proyecto. El plazo de recuperación del proyecto se determina el año 2029, por lo que en 10 años se recuperaría la inversión incurrida.

La Figura 7.3 permite realizar comparaciones directamente entre las tres alternativas exploradas. La alternativa más conveniente de realizar es el cambio de estatores, sin el reemplazo de los polos, esto debido principalmente a que permite realizar el proyecto en un menor plazo, y evita el costo de ineficiencia por la pérdida de producción por la parada del molino (*Shutdown*). Cabe destacar que un día de *Shutdown* corresponde aproximadamente a US\$ 1 MM de pérdidas en producción. No obstante, esto significa exigir el ciclo de vida de estos componentes y expone el riesgo las operaciones futuras. Ante la experiencia de un suceso catastrófico el año 2011, donde la falla eléctrica en los circuitos afectó los polos, produciendo una pérdida y retraso importantes este año, se decide implementar la alternativa de reemplazo completo, para estabilizar y asegurar la confiabilidad del sistema de la Línea 3 completa.

Si bien la alternativa de cambio completo retrasa en un tiempo el término de los trabajos, a diferencia del proyecto del año anterior donde la contratista excedió los plazos de ejecución en el molino 1013, la compañía asumió la administración y control del proyecto de forma directa, por lo que la responsabilidad de terminar en los tiempos establecidos está exige que se cumplan a cabalidad, para evitar mayores pérdidas de producción. Esto ajustó los costos y permitió operar con lo presupuestado, que corresponde aproximadamente al 35% de lo que dejó la inversión con el contratista el año anterior.

Finalmente cabe destacar que es necesario cuestionar los resultados, debido a la gran incertidumbre en la fijación de variables utilizadas para realizar los cálculos en el proyecto. Por esta razón, es que el proceso de sensibilización es esencial para abarcar y visualizar los distintos escenarios que el proyecto puede abarcar, según la variación que tengan estos datos. Esta sensibilización se realiza en el apartado siguiente.

7.6. Sensibilización de los resultados.

Para realizar la sensibilización de los resultados se identificaron las principales variables, tanto internas como externas, que impactan de forma directa el desempeño del proyecto, representado por el valor actual neto (NPV). Se evaluarán las tres alternativas principales: Cambio de estator y polos, cambio sólo de estator y esperar falla catastrófica.

En primer lugar, detectamos que el proyecto es extensivo en el desembolso de una gran inversión, por lo que la primera variable de riesgo que se presenta lógico evaluar su impacto, es lo asociado al nivel de inversión en los activos utilizados (*Capex*). Se espera que al aumentar lo suficiente pueda retornar el proyecto inviable.

En segundo lugar, se determina que un factor clave al estimar los flujos de ingresos es el precio del cobre, el cual está determinado por el mercado de *commodities*, por lo que es necesario analizar su volatilidad.

En tercer lugar, debido al uso extensivo de los recursos energéticos en el funcionamiento de los equipos mineros y en sus procesos, el precio de la energía juega un rol fundamental en la determinación de costos. Una gestión adecuada de estos recursos es esencial para la viabilidad del proyecto.

En cuarto lugar, se identifican los costos de mantenimiento asociados a los molinos de bola, en cualquiera de sus partes o componentes. Estos costos son altamente inciertos, ya que responden directamente a la confiabilidad del molino y la probabilidad de ocurrencia de alguna falla dentro de los componentes, lo cual se monitorea constantemente de forma preventiva, para asegurar la mayor disponibilidad y utilización de la línea de producción.

En quinto y último lugar, se desea analizar la variación que produzca el proyecto de repotenciamiento en el nivel de recuperación de cobre esperado. Este factor es clave, debido a que es el objetivo principal de la ejecución del plan de optimización de los molinos de bolas de la línea 3, por lo que reflejará el éxito del proyecto anclado al porcentaje de recuperación alcanzado.

En general, podemos clasificar las variables críticas a sensibilizar en dos tipos: Las asociadas a los costos del proyecto y las que tienen relación de impacto en los ingresos:

- Variables de costos: Capex, Precio de la Energía, Costos de mantención.
- Variable de ingresos: Precio del cobre, Recuperación del cobre.

7.6.1 Análisis de sensibilidad unidimensional

A continuación, desde la Figura 7.10 a la Figura 7.13 se presentan las tablas con los resultados de las primeras cuatro variables sensibilizadas en un rango de incremento y disminución de 20% a pasos de 5%. En la Figura 7.14 se muestra el impacto del nivel de recuperación de cobre, en pasos de 0,25%.

Figura 7.10 Sensibilización unidimensional respecto al Capex

	Capex							
% Variation	-20%	-15%	-10%	-5%	+5%	+10%	+15%	+20%
Change	38,1	31,9	25,7	19,5	7,2	1,0	-5,2	-11,4
Change wo Pole	57,1	51,5	45,9	40,3	29,2	23,6	18,0	12,4
Wait	-68,2	-74,4	-80,6	-86,9	-99,3	-105,6	-111,8	-118,0

Figura 7.11 Sensibilización unidimensional respecto al Precio del Cobre

Price Cu								
% Variation	-20%	-15%	-10%	-5%	+5%	+10%	+15%	+20%
Change	-20,7	-12,2	-3,7	4,8	21,9	30,4	38,9	47,4
Change wo Pole	-1,8	7,4	16,5	25,6	43,9	53,0	62,1	71,3
Wait	-98,6	-97,2	-95,9	-94,5	-91,7	-90,4	-89,0	-87,6

Figura 7.12 Sensibilización unidimensional respecto al Precio de la energía

Energy Price								
% Variation	-20%	-15%	-10%	-5%	+5%	+10%	+15%	+20%
Change	101,5	79,5	57,4	35,4	-8,7	-30,7	-52,8	-74,8
Change wo Pole	123,3	101,2	79,0	56,9	12,6	-9,5	-31,7	-53,8
Wait	-9,6	-30,5	-51,4	-72,2	-114,0	-134,8	-155,7	-176,6

Figura 7.13 Sensibilización unidimensional respecto a los costos de mantenimiento

Ball (Maintenance Cost)								
% Variation	-20%	-15%	-10%	-5%	+5%	+10%	+15%	+20%
Change	57,6	46,5	35,5	24,4	2,3	-8,8	-19,8	-30,9
Change wo Pole	79,2	68,1	57,0	45,9	23,6	12,5	1,4	-9,7
Wait	-52,6	-62,7	-72,8	-83,0	-103,2	-113,4	-123,5	-133,7

Figura 7.14 Sensibilización unidimensional respecto al nivel de recuperación de cobre

Recuperation Copper									
% of Rec.	0%	0,25%	0,50%	0,75%	1%	1,25%	1,50%	1,75%	2%
Change	-292,8	-231,6	-170,4	-109,1	-47,9	13,4	74,6	135,8	197,0553
Change wo Pole	-271,5	-210,2	-149,0	-87,7	-26,5	34,7	96,0	157,2	218,497
Wait	-365,7	-311,2	-256,7	-202,1	-147,6	-93,1	-38,6	15,9	70,4581

Como era esperable antes de realizar la sensibilización, al disminuir las variables asociadas al costo, estas impactan de manera positiva los resultados finales, por lo que benefician y favorecen la realización del proyecto. Por otro lado, se debe tener precaución en los escenarios donde aumentan, ya que pueden determinar el fracaso del proyecto. Por otro lado, las variables asociadas a los flujos de ingresos tienen la lectura contraria, donde la disminución de los valores esperados, repercuten de forma directa menoscabando los resultados.

Específicamente, se puede destacar que la variable de costos que genera un mayor espectro de volatilidad y riesgo es el precio de la energía, seguido por los costos de mantención. Esto sugiere revisar los contratos de energía para evaluar la renegociación de los precios, y la posible creación de proyectos enfocados a la eficiencia energética y el mejoramiento de la gestión de estos recursos en la compañía. Además, la constante supervisión y monitoreo del equipo, para asegurar que la optimización tenga los resultados esperados.

Por otro lado, la variable de ingresos crítica es la recuperación de cobre alcanzada con el proyecto, ya que una variación de solo 0,25% bajo lo esperado, muestra un resultado desfavorable para la implementación del proyecto. Cabe destacar que si es posible optimizar el funcionamiento del equipo para lograr un procesamiento un 0,25% mayor, muestra una ambiciosa retribución. Sin embargo, se debe evaluar la opción, debido a la fatiga y pérdida de confiabilidad que se generaría al exigir el equipo.

7.6.2. Análisis de sensibilidad bidimensional

En esta sección se realizará una sensibilización en dos dimensiones, colocando en un eje la variable considerada de mayor criticidad versus las otras variables analizadas, para cada alternativa del proyecto.

En el eje principal se ubicarán los niveles de la variable recuperación de cobre, la cual es considerada como el factor clave y objetivo del proyecto. En el eje secundario, se dispondrá la variación de cada una del resto de variables para analizar el efecto en conjunto del efecto de la variable principal y cada una de ellas, manteniendo constante los niveles de las otras tres.

A continuación, se muestran en las Figuras 7.15, 7.16 y 7.17 la sensibilización realizada para cada alternativa, respectivamente.

Figura 7.15 Sensibilización bidimensional sobre el proyecto de cambio completo

		Change Alternative								
Sensibilización (VAN)		Recuperación de Cobre Fino								
		0%	0,25%	0,50%	0,75%	1%	1,25%	1,50%	1,75%	2%
Costos de Mantenimiento (Ball)	-20%	-248,6	-187,4	-126,1	-64,9	-3,7	57,6	118,8	180,0	241,3
	-15%	-259,7	-198,4	-137,2	-75,9	-14,7	46,5	107,8	169,0	230,2
	-10%	-270,7	-209,5	-148,2	-87,0	-25,8	35,5	96,7	157,9	219,2
	-5%	-281,8	-220,5	-159,3	-98,1	-36,8	24,4	85,6	146,9	208,1
	+5%	-303,9	-242,6	-181,4	-120,2	-58,9	2,3	63,5	124,8	186,0
	+10%	-314,9	-253,7	-192,5	-131,2	-70,0	-8,8	52,5	113,7	174,9
	+15%	-326,0	-264,8	-203,5	-142,3	-81,1	-19,8	41,4	102,6	163,9
	+20%	-337,1	-275,8	-214,6	-153,3	-92,1	-30,9	30,4	91,6	152,8
Precio de la Energía	-20%	-204,6	-143,4	-82,2	-20,9	40,3	101,5	162,8	224,0	285,2
	-15%	-226,7	-165,4	-104,2	-43,0	18,3	79,5	140,7	202,0	263,2
	-10%	-248,7	-187,5	-126,3	-65,0	-3,8	57,4	118,7	179,9	241,1
	-5%	-270,8	-209,5	-148,3	-87,1	-25,8	35,4	96,6	157,9	219,1
	+5%	-314,9	-253,6	-192,4	-131,2	-69,9	-8,7	52,5	113,8	175,0
	+10%	-336,9	-275,7	-214,4	-153,2	-92,0	-30,7	30,5	91,7	153,0
	+15%	-359,0	-297,7	-236,5	-175,3	-114,0	-52,8	8,4	69,7	130,9
	+20%	-381,0	-319,8	-258,5	-197,3	-136,1	-74,8	-13,6	47,6	108,9
Precio del Cobre	-20%	-259,0	-211,4	-163,7	-116,0	-68,3	-20,7	27,0	74,7	122,3
	-15%	-267,5	-216,4	-165,4	-114,3	-63,2	-12,2	38,9	90,0	141,0
	-10%	-275,9	-221,5	-167,0	-112,6	-58,1	-3,7	50,8	105,2	159,7
	-5%	-284,4	-226,5	-168,7	-110,8	-53,0	4,8	62,7	120,5	178,4
	+5%	-301,3	-236,6	-172,0	-107,4	-42,8	21,9	86,5	151,1	215,7
	+10%	-309,7	-241,7	-173,7	-105,7	-37,7	30,4	98,4	166,4	234,4
	+15%	-318,2	-246,8	-175,4	-103,9	-32,5	38,9	110,3	181,7	253,1
	+20%	-326,6	-251,8	-177,0	-102,2	-27,4	47,4	122,2	197,0	271,8
Capex	-20%	-268,1	-206,8	-145,6	-84,4	-23,1	38,1	99,3	160,6	221,8
	-15%	-274,3	-213,0	-151,8	-90,6	-29,3	31,9	93,1	154,4	215,6
	-10%	-280,5	-219,2	-158,0	-96,7	-35,5	25,7	87,0	148,2	209,4
	-5%	-286,6	-225,4	-164,2	-102,9	-41,7	19,5	80,8	142,0	203,2
	+5%	-299,0	-237,8	-176,5	-115,3	-54,1	7,2	68,4	129,6	190,9
	+10%	-305,2	-244,0	-182,7	-121,5	-60,3	1,0	62,2	123,4	184,7
	+15%	-311,4	-250,1	-188,9	-127,7	-66,4	-5,2	56,0	117,3	178,5
	+20%	-317,6	-256,3	-195,1	-133,9	-72,6	-11,4	49,8	111,1	172,3

Figura 7.16 Sensibilización bidimensional sobre el proyecto de cambio de estatores sin considerar los polos

Change w/o Pole Alternative										
Sensibilización (VAN)		Recuperación de Cobre Fino								
		0%	0,25%	0,50%	0,75%	1%	1,25%	1,50%	1,75%	2%
Costos de Mantenimiento (Ball)	-20%	-227,0	-165,8	-104,5	-43,3	18,0	79,2	140,5	201,7	263,0
	-15%	-238,1	-176,9	-115,6	-54,4	6,9	68,1	129,3	190,6	251,8
	-10%	-249,3	-188,0	-126,8	-65,5	-4,3	57,0	118,2	179,5	240,7
	-5%	-260,4	-199,1	-137,9	-76,6	-15,4	45,9	107,1	168,4	229,6
	+5%	-282,6	-221,4	-160,1	-98,9	-37,6	23,6	84,9	146,1	207,4
	+10%	-293,7	-232,5	-171,2	-110,0	-48,7	12,5	73,8	135,0	196,3
	+15%	-304,8	-243,6	-182,3	-121,1	-59,9	1,4	62,6	123,9	185,1
	+20%	-316,0	-254,7	-193,5	-132,2	-71,0	-9,7	51,5	112,8	174,0
Precio de la Energía	-20%	-183,0	-121,7	-60,5	0,8	62,0	123,3	184,5	245,8	307,0
	-15%	-205,1	-143,8	-82,6	-21,3	39,9	101,2	162,4	223,7	284,9
	-10%	-227,2	-166,0	-104,7	-43,5	17,8	79,0	140,3	201,5	262,8
	-5%	-249,4	-188,1	-126,9	-65,6	-4,4	56,9	118,1	179,4	240,6
	+5%	-293,6	-232,4	-171,1	-109,9	-48,6	12,6	73,9	135,1	196,4
	+10%	-315,8	-254,5	-193,3	-132,0	-70,8	-9,5	51,7	113,0	174,2
	+15%	-337,9	-276,7	-215,4	-154,2	-92,9	-31,7	29,6	90,8	152,1
	+20%	-360,0	-298,8	-237,5	-176,3	-115,0	-53,8	7,5	68,7	130,0
Precio del Cobre	-20%	-240,2	-192,5	-144,8	-97,1	-49,4	-1,8	45,9	93,6	141,3
	-15%	-248,0	-196,9	-145,9	-94,8	-43,7	7,4	58,4	109,5	160,6
	-10%	-255,8	-201,4	-146,9	-92,4	-38,0	16,5	71,0	125,4	179,9
	-5%	-263,7	-205,8	-148,0	-90,1	-32,2	25,6	83,5	141,3	199,2
	+5%	-279,3	-214,7	-150,0	-85,4	-20,8	43,9	108,5	173,2	237,8
	+10%	-287,2	-219,1	-151,1	-83,1	-15,0	53,0	121,0	189,1	257,1
	+15%	-295,0	-223,6	-152,1	-80,7	-9,3	62,1	133,6	205,0	276,4
	+20%	-302,8	-228,0	-153,2	-78,4	-3,6	71,3	146,1	220,9	295,7
Capex	-20%	-249,1	-187,9	-126,6	-65,4	-4,1	57,1	118,4	179,6	240,8
	-15%	-254,7	-193,5	-132,2	-71,0	-9,7	51,5	112,8	174,0	235,3
	-10%	-260,3	-199,1	-137,8	-76,6	-15,3	45,9	107,2	168,4	229,7
	-5%	-265,9	-204,7	-143,4	-82,2	-20,9	40,3	101,6	162,8	224,1
	+5%	-277,1	-215,8	-154,6	-93,3	-32,1	29,2	90,4	151,7	212,9
	+10%	-282,7	-221,4	-160,2	-98,9	-37,7	23,6	84,8	146,1	207,3
	+15%	-288,3	-227,0	-165,8	-104,5	-43,3	18,0	79,2	140,5	201,7
	+20%	-293,8	-232,6	-171,4	-110,1	-48,9	12,4	73,6	134,9	196,1

Figura 7.17 Sensibilización bidimensional sobre el proyecto caso base esperar falla catastrófica.

Wait Alternative										
Sensibilización (VAN)		Recuperación de Cobre Fino								
		0%	0,25%	0,50%	0,75%	1%	1,25%	1,50%	1,75%	2%
Costos de Mantenimiento (Ball)	-20%	-325,2	-270,6	-216,1	-161,6	-107,1	-52,6	2,0	56,5	111,0
	-15%	-335,3	-280,8	-226,3	-171,7	-117,2	-62,7	-8,2	46,4	100,9
	-10%	-345,4	-290,9	-236,4	-181,9	-127,3	-72,8	-18,3	36,2	90,7
	-5%	-355,6	-301,1	-246,5	-192,0	-137,5	-83,0	-28,4	26,1	80,6
	+5%	-375,8	-321,3	-266,8	-212,3	-157,8	-103,2	-48,7	5,8	60,3
	+10%	-386,0	-331,5	-276,9	-222,4	-167,9	-113,4	-58,9	-4,3	50,2
	+15%	-396,1	-341,6	-287,1	-232,6	-178,0	-123,5	-69,0	-14,5	40,0
	+20%	-406,3	-351,7	-297,2	-242,7	-188,2	-133,7	-79,1	-24,6	29,9
Precio de la Energía	-20%	-282,2	-227,7	-173,2	-118,7	-64,2	-9,6	44,9	99,4	153,9
	-15%	-303,1	-248,6	-194,1	-139,5	-85,0	-30,5	24,0	78,5	133,1
	-10%	-324,0	-269,5	-214,9	-160,4	-105,9	-51,4	3,2	57,7	112,2
	-5%	-344,8	-290,3	-235,8	-181,3	-126,8	-72,2	-17,7	36,8	91,3
	+5%	-386,6	-332,1	-277,5	-223,0	-168,5	-114,0	-59,5	-4,9	49,6
	+10%	-407,4	-352,9	-298,4	-243,9	-189,4	-134,8	-80,3	-25,8	28,7
	+15%	-428,3	-373,8	-319,3	-264,8	-210,2	-155,7	-101,2	-46,7	7,9
	+20%	-449,2	-394,7	-340,1	-285,6	-231,1	-176,6	-122,1	-67,5	-13,0
Precio del Cobre	-20%	-311,0	-268,5	-226,0	-183,6	-141,1	-98,6	-56,1	-13,6	28,8
	-15%	-324,7	-279,2	-233,7	-188,2	-142,7	-97,2	-51,7	-6,2	39,2
	-10%	-338,4	-289,9	-241,4	-192,9	-144,4	-95,9	-47,4	1,1	49,7
	-5%	-352,0	-300,5	-249,0	-197,5	-146,0	-94,5	-43,0	8,5	60,1
	+5%	-379,4	-321,9	-264,3	-206,8	-149,3	-91,7	-34,2	23,3	80,9
	+10%	-393,1	-332,5	-272,0	-211,4	-150,9	-90,4	-29,8	30,7	91,3
	+15%	-406,7	-343,2	-279,6	-216,1	-152,5	-89,0	-25,4	38,1	101,7
	+20%	-420,4	-353,9	-287,3	-220,7	-154,2	-87,6	-21,0	45,5	112,1
Capex	-20%	-340,8	-286,3	-231,7	-177,2	-122,7	-68,2	-13,7	40,9	95,4
	-15%	-347,0	-292,5	-238,0	-183,5	-128,9	-74,4	-19,9	34,6	89,1
	-10%	-353,2	-298,7	-244,2	-189,7	-135,2	-80,6	-26,1	28,4	82,9
	-5%	-359,5	-305,0	-250,4	-195,9	-141,4	-86,9	-32,4	22,2	76,7
	+5%	-371,9	-317,4	-262,9	-208,4	-153,9	-99,3	-44,8	9,7	64,2
	+10%	-378,2	-323,7	-269,1	-214,6	-160,1	-105,6	-51,0	3,5	58,0
	+15%	-384,4	-329,9	-275,4	-220,8	-166,3	-111,8	-57,3	-2,8	51,8
	+20%	-390,6	-336,1	-281,6	-227,1	-172,5	-118,0	-63,5	-9,0	45,5

Desde el punto de vista financiero, la alternativa de cambio de estator sin el reemplazo de los polos se muestra más atractiva y conveniente de acuerdo a este análisis. Sin embargo, de acuerdo a la historia de la compañía sucedió un episodio catastrófico cuando se optó por dejar el reemplazo de los polos fuera del proyecto en el año 2011. Por esta razón, se determina realizar el cambio de polos de igual forma, debido a que el repotenciamiento eléctrico puede exigir los componentes al punto de generar una falla de gran escala, repercutiendo en grandes costos de ineficiencia producto del *Shutdown*.

Por otro lado, es interesante analizar la variable de precio de la energía, debido a que su variación impacta en gran medida los resultados del proyecto. Ya que sólo un 5% de aumento en el precio, revierte el signo del indicador en el nivel esperado de recuperación de cobre. Y en el caso extremo de un aumento de 20%, incluso si la recuperación de cobre esta 0,25% por sobre lo esperado (1,50%).

A diferencia de las otras variables de costos de mantención y de inversión, que a un nivel esperado de recuperación de cobre requieren que el aumento sea de un 10% y 15% respectivamente, para generar el efecto de reversión de signo, y por tanto determinar que el proyecto no sea conveniente. Del análisis se concluye que se debe monitorear con mayor insistencia el precio de la energía y los costos de mantención.

7.7 Breve discusión de los resultados

De acuerdo con el análisis realizado en el capítulo, es posible identificar que el proyecto de repotenciamiento de los molinos de bola de la línea 3, es conveniente para la compañía minera, debido a su alto impacto económico en los resultados debido al aumento en la producción de ambos casos propuestos de cambio en el estator (con y sin polos), con respecto al caso base de esperar la falla catastrófica.

Otro punto interesante del estudio es evaluar el indicador VPN para los distintos escenarios en que se obtiene un valor negativo de éste. En conformidad con la sensibilización, se determina que incluso manteniendo la capacidad en la operación actual de procesamiento (0% de recuperación de cobre), el caso base queda por debajo de los casos propuestos. Esto es producto a la falla catastrófica, con los niveles de confiabilidad actuales y por tanto, un tiempo de reposición más elevado, generando un *shutdown* más amplio por la gestión de compras y otras obras tempranas que se consideran sin la paralización del molino en los otros casos, afectando directamente el valor presente neto con los costos de ineficiencia (pérdida de producción). Por la misma razón, se escoge el proyecto de reemplazo total, debido a que asegura una mayor confiabilidad en la línea.

Cabe destacar que la sensibilización se realizó sólo con el VPN a una tasa de descuento (de costo de oportunidad) fija, por lo que todos los casos donde el VPN alcanza un valor positivo, la IRR es mayor a esta tasa de descuento y se comporta de la misma forma que el VPN.

Por último, queda como trabajo futuro la consideración de opciones reales que la compañía puede considerar para la evaluación de proyectos futuros, donde se pueda esclarecer el momento más oportuno de la implementación de un proyecto de este tamaño, debido a que la magnitud de la inversión es de gran escala y determinar de mejor forma el tiempo en el que se debe ejecutar serviría de gran ayuda a la gestión de operaciones de la compañía.

VIII. CONCLUSIÓN

Dentro de la industria minera se realizan bastantes proyectos con el fin de alcanzar mayores niveles de producción, enfrentando todos los desafíos que estos representan. Estos desafíos emergen debido a que la minimización de costos ha sido un eje central dentro de la industria, en la búsqueda de mejores recompensas en la rentabilidad operacional de la empresa.

En base a lo anterior, el proyecto contenido en este estudio apuntó a la evaluación y creación de un plan de ejecución para la ingeniería, construcción y repotenciamiento de los molinos de bolas, asegurando un procesamiento diario de aproximadamente 160 ktpd, lo que significa un incremento en promedio de 1,25% en la recuperación de cobre, lo cual impacta significativamente en los resultados de la planta concentradora de Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi.

Lo anterior se ha logrado en conjunto a la generación de un mayor nivel de llenado, con el reemplazo del *trunnion liner* de descarga y el *trommel* magnético, en ambos molinos.

Al analizar los resultados finalizado los trabajos de repotenciamiento de los molinos bajo la mirada de los procesos, se observa una disminución de la variabilidad en la disponibilidad del activo intervenido, aportando así a la estabilización de la línea número 3 de molienda, la cual logra continuidad de marcha y un incremento de tratamiento de mineral. Esto va alineado con el plan estratégico del quinquenio que la compañía establece en la etapa de estabilización de las operaciones.

En la Figura 8.1 a continuación, se indica cual debiera ser el tratamiento diario instantáneo después del proyecto, a fin de cumplir la meta del plan quinquenio

Figura 8.1 Utilización global estimada requerida para cumplir meta

	Utilización Global estimada	Meta Mt/a	Instantáneo requerido para cumplir la meta (tpd)
2018	80,8%	47,0	159.400
2019	83,8%	50,4	164.850
2020	86,7%	56,5	178.600
2021	89,5%	55,7	170.500
2022	89,8%	56,1	171.200

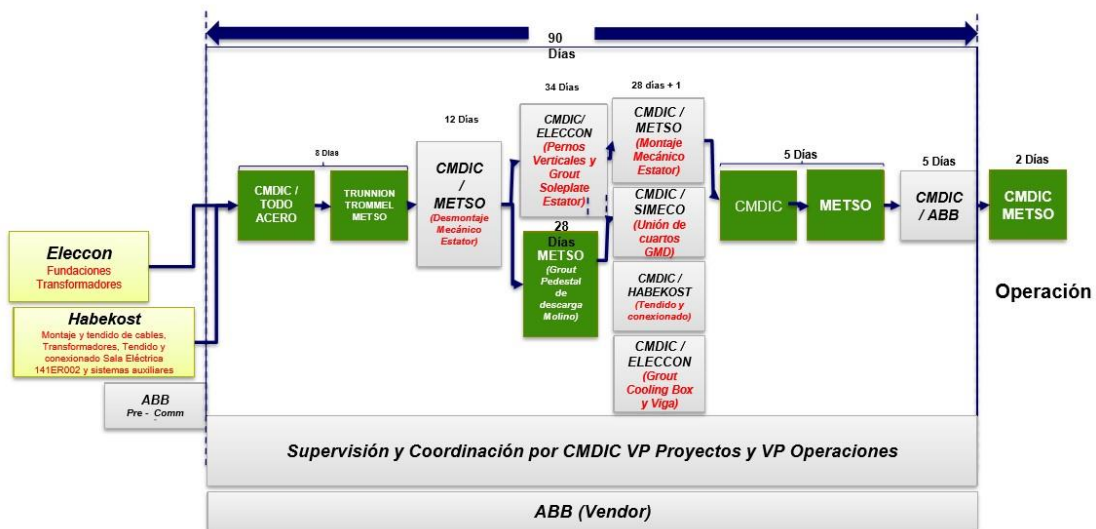
Cabe destacar que el proyecto logró reestablecer la confiabilidad de los molinos de bolas con la intervención contemplada, mitigando el riesgo de falla catastrófica en los siguientes años, lo cual permite operar a la capacidad esperada por la línea

debido al aumento de disponibilidad. De la misma forma, el conjunto de acciones tomadas de reparaciones en el área de fundaciones y *grout*, con el reemplazo de los sistemas de enfriamiento, entregan la seguridad para operar con una utilización mayor.

Como se ha mencionado en los capítulos anteriores, se llevó a cabo el *shutdown* del molino bolas 1013 en la planta concentradora, contemplado por 90 días de ejecución, desde marzo hasta julio 2018 siendo el *shutdown* real de ejecución de 126 días, esto generó una pérdida de tratamiento a la compañía de 36 días.

En comparación a lo ocurrido con el molino bolas 1012, este se da inicio en abril y finaliza en junio del 2019, siendo el *shutdown* real de ejecución de 72 días, esto generó una ganancia de tratamiento a la compañía de 18 días.

Figura 8.2 Línea temporal del proyecto



En cuanto al punto de vista económico se dieron 2 escenarios tanto para el molino bolas 1013 y el molino bolas 1012, que se resume en la siguiente tabla en relación a los gastos en cada uno de los molinos (Diferencias dadas principalmente por *shutdown*).

Figura 8.3 Comparación económica trabajos en ambos Molinos.

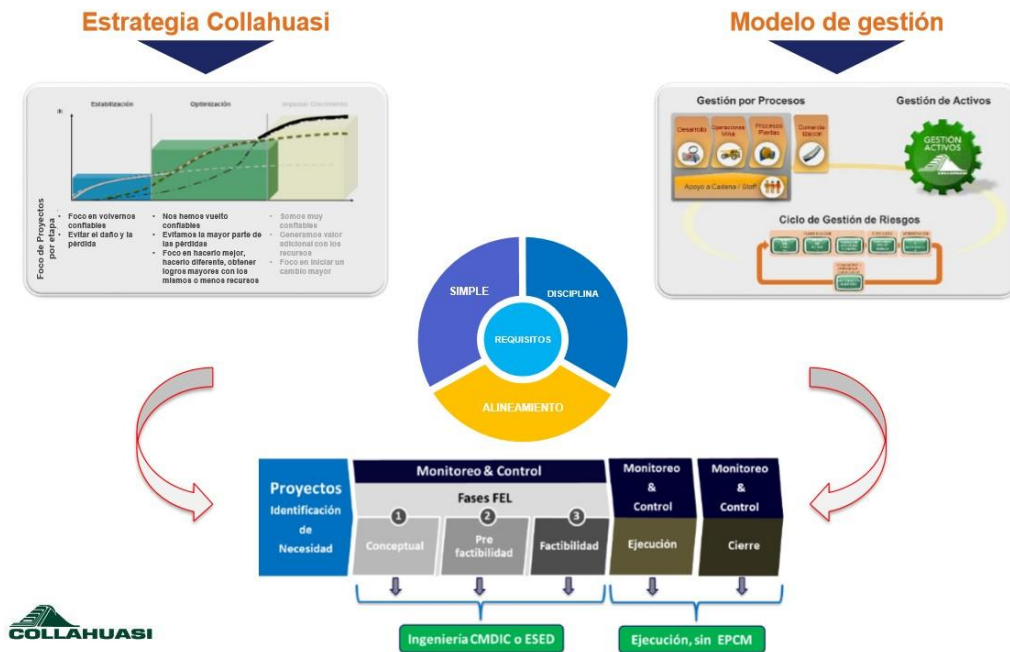
Diferencias Económicas Molinos 1012 y 1013

MB1013			
Construcción			
ABB	PRC1711	Repotenciamiento Sist GMD Molino 1013	\$ 38.177.975,00
Tecnogruas	PRC1726	TRASLADO GRANDES PIEZAS MOLINO ML-1013	\$ 3.500.398,09
EIMISA	PRC1724	Construcción Montaje Parada Molino 1013	\$ 12.147.911,42
			\$ 53.826.284,51
MB1012			
Construcción			
PRC1836		Obras Civiles - Molino 1012	\$ 1.352.133,35
PRC1858		Obras Tempranas Molino 1012	\$ 3.585.058,54
PRC1884		Normalización Molino de Bolas 1012	\$ 2.945.599,90
PRC1885		Servicio de Cambio Estator y Polos Molino de Bolas 1012	\$ 7.129.008,40
ABB		OBRAS MOLINO 141-ML-1012	\$ 10.241.862,19
Tecnogruas		TRASLADO GRANDES PIEZAS EN EXTERIOR MOLINO ML- 1012	\$ 3.413.623,71
			\$ 28.667.286,09
		Diferencias	\$ 25.158.998,41

Respecto del aprendizaje para la compañía del presente estudio, es importante determinar que después de un gran fracaso en relación a los retrasos del primer repotenciamiento del Molino Bolas 1013, el cual fue de 36 días, en relación a lo comprometido con los accionistas, es que se toma la determinación de realizar una estrategia distinta en relación donde no se entrega el proyecto en general al contratista y CMDIC decide ser el controlador y administrador directo de cada una de las actividades, incorporando mejoras en relación a los aprendizajes del proyecto fallido del año 2018. Este resultado entrega confianza a la compañía para tomar un rol más activo y protagónico en los proyectos venideros.

Producto de los aprendizajes del repotenciamiento del molino bolas 1013, el área Proyectos redefine su proceso en base a la estrategia y el modelo de gestión de la compañía, como se muestra en la Figura 8.4 siguiente.

Figura 8.4 Redefinición del área Proyectos en la compañía



Esta nueva estrategia trae consigo excelentes resultados en relación al repotenciamiento del molino bolas 1012, el cual comenzó el 01 de abril del 2019 y se efectuó en 78 días efectivos, de un total comprometido de 90 días con focos claros vinculados fuertemente con la Operación y Gestión de Activos, cumpliendo compromisos bajo una visión propia de las soluciones, tomando riesgos controlados y generando desarrollo de empresas locales.

Según los resultados obtenidos por el análisis financiero al construir el flujo de caja, se concluye que el proyecto es conveniente para la compañía, en ambos formatos de acción. Sin embargo, se escoge la alternativa de reemplazo total, es decir, el cambio de estator en conjunto con los polos. Si bien, la alternativa más conveniente es el cambio de estator, sin el reemplazo de los polos, esto se debe principalmente a la reducción de días de *Shutdown*. Sin embargo, debido a la experiencia negativa el año 2011, con graves fallas consecutivas producto de problemas en los polos, se decide la opción de cambio completo, privilegiando el aumento de confiabilidad de la línea, evitando lo ocurrido en aquella ocasión. Cabe destacar que según la sensibilización en el análisis del VPN el proyecto es conveniente incluso sin el aumento de producción de cobre (0% de recuperación adicional), ya que las pérdidas asociadas al caso base de operar hasta la ocurrencia de la falla catastrófica genera una paralización más amplia e impacta directamente en los costos de ineficiencia, debido a la diferencia en la confiabilidad operacional de la línea.

Por otro lado, la sensibilización realizada permite identificar las variables críticas que impactan el desempeño del proyecto, entre las cuales destaca en primer lugar la recuperación de cobre, la cual debe ser asegurada y velar por lograr el nivel esperado. En segundo lugar, el precio de la energía tiene un alto impacto en los resultados, por lo que se puede rescatar que es necesario el uso eficiente de los recursos energéticos y la negociación correcta de los contratos asociados a estos insumos. En tercer lugar, el costo de mantención que está ligado a la confiabilidad que se privilegió en el proyecto de repotenciamiento, al escoger la alternativa de cambio total. Por último, se observó que el precio del cobre y el *capex* afectaban moderadamente los resultados.

IX. BIBLIOGRAFÍA

SapagChainN: “Preparación y Evaluación de Proyectos” McGraw-Hill, 2000.

Project Management Institute “Fundamentos para la Dirección de Proyectos (4 edición), 2008.

Caso de Enseñanza Minera Doña Inés de Collahuasi: “Una Estrategia para Resultados Trascendentes” - Symnetics : Angélica Iriarte y Alejandra Abramovich, U. de Chile: Reinalina Chavarri y Soledad Etchebarne, 2017.

Tesis MBA Universidad de Chile: Modelo de Gestión y Administración de Proyectos Operacionales – Pedro Daniel Hidalgo Ramírez, 2013.

Apuntes Formulación y Evaluación de Proyectos Mineros: MBA Industria Minera Universidad de Chile.

Apuntes Formulación y Control de Proyectos: MBA Industria Minera Universidad de Chile.

Datos Corporativos Minera Doña Inés de Collahuasi.

ANEXO A: SECUENCIA FOTOGRÁFICA HITOS REPOTENCIAMIENTO MOLINO BOLAS 1012

A continuación, se muestra el registro fotográfico, de la secuencia en relación al Plan de ejecución descrito en el capítulo anterior referido al análisis del Proyecto de repotenciamiento de los Molinos de Bolas Línea 3 Planta concentradora Collahuasi, efectuado desde el 07 de abril del 2019 hasta el 19 de abril del 2019.

Figura A.1 Inicio de Parada de Planta, desmontaje de estructuras y plataformas



Figura A.2 Traslado de cuarto del estator, desde Iquique a bodega CMDIC



Figura A.3 Instalación de maquinarias para Volteo de cuartos del estator



Figura A.4 Instalación de dispositivo para vaciado de bolas Molino



Figura A.5 Retiro de Soleplate en bodega y fabricación de piezas especiales



Figura A.6 Desmontaje de Cooling Box



Figura A.7 Armado y Desarme de Andamios para desmontaje de Cuartos Estator

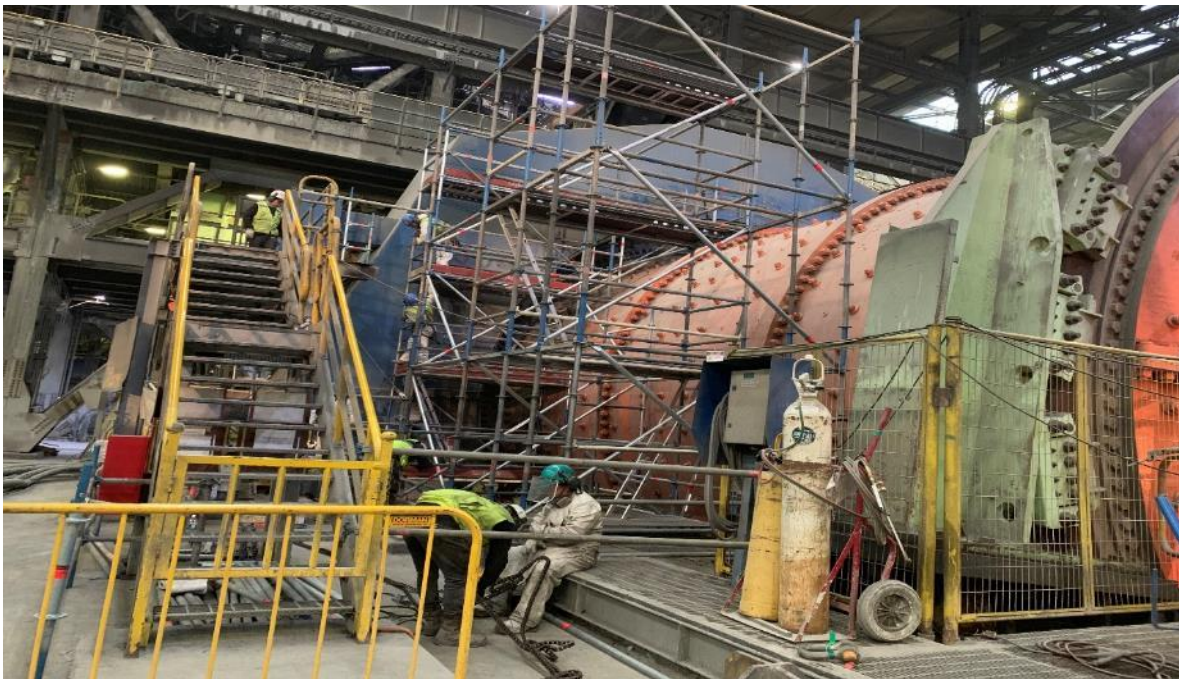


Figura A.8 Desplazamiento de estator a posición de mantenimiento



Figura A.9 Posición final estator, para montaje de cáncamos para posterior desmontaje de cuartos de estator



Figura A.10 Desmontaje y Posicionamiento de cuartos para traslado a Patio de Volteo (Grúas)



Figura A.11 Izaje y Volteo de cuartos y cooling box para posterior traslado a bodega CMDIC

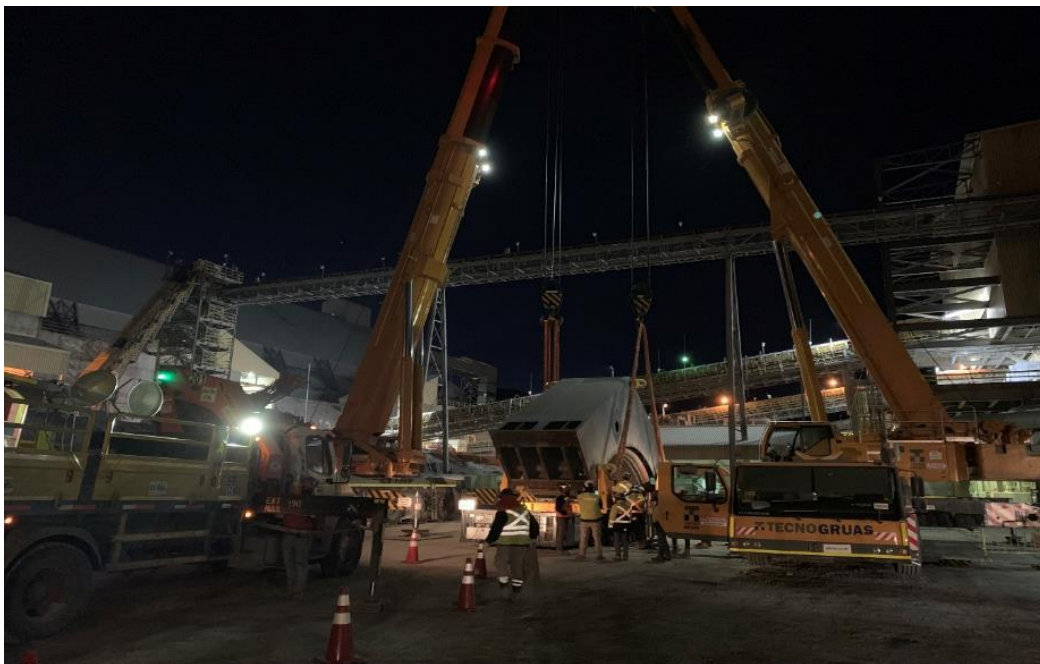


Figura A.12 Desmontaje de Último cuarto para posterior Volteo, izaje y traslado a bodega CMDIC

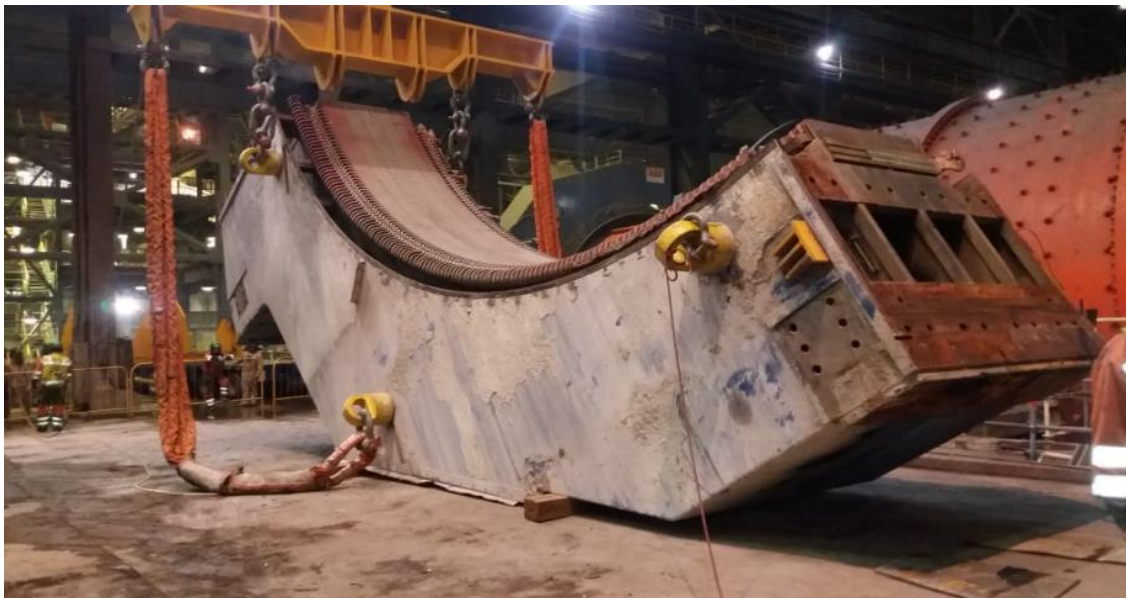


Figura A.13 Preparativos para Desmontaje de Polos



Figura A.14 Desmontaje y Montaje de nuevos Polos

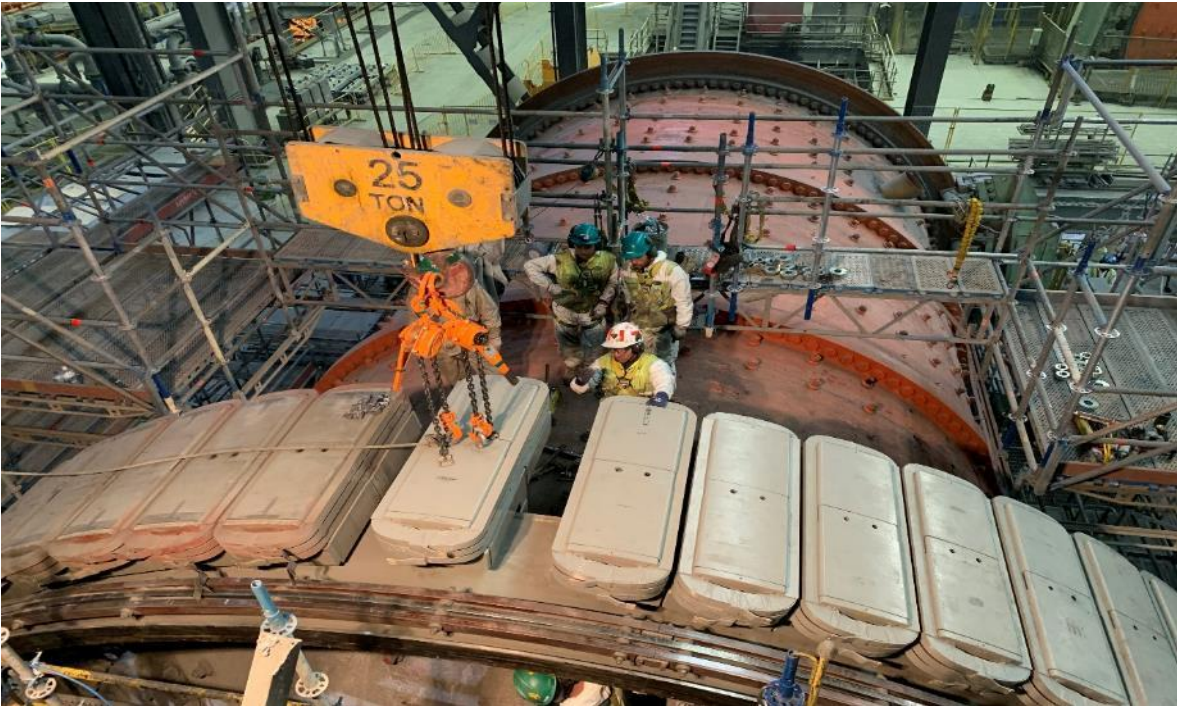


Figura A.15 Trabajos de Obras Civiles para posterior montaje de Soleplate

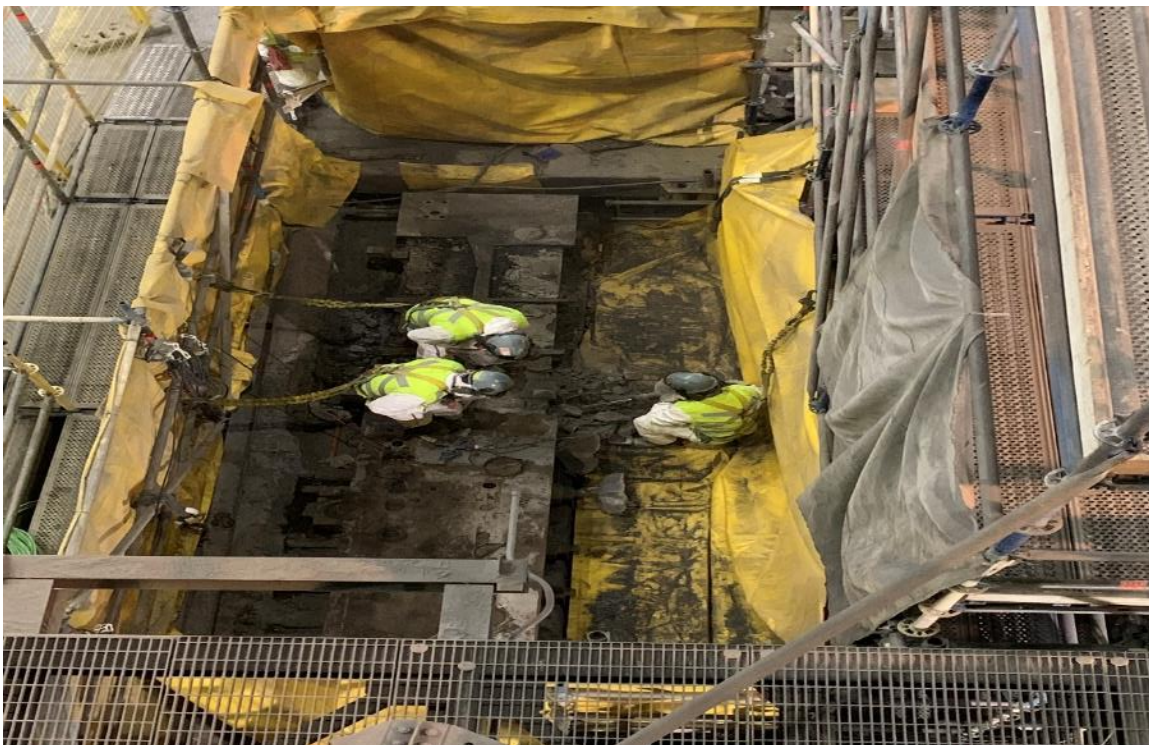


Figura A.16 Desmontaje de pad radiales



Figura A.17 Trabajos de Obras Civiles para viga antisísmica

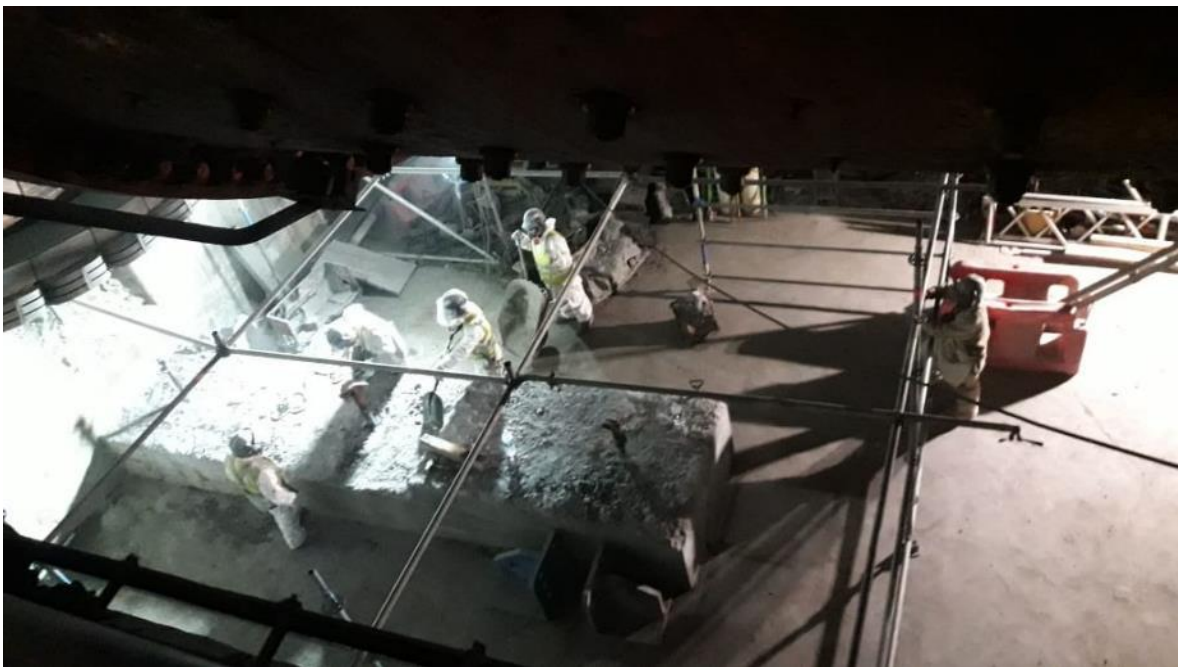


Figura A.18 Montaje de nuevos pads radiales



Figura A.19 Montaje, nivelación y torque de pernos de nuevo Soleplate



Figura A.20 Traslado de nuevos Cuartos a Patio de Volteo para posterior Izaje.



Figura A.21 Izaje y montaje de Cuartos de Estator.



Figura A.22 Posicionamiento de 2 Cuartos inferiores del Estator

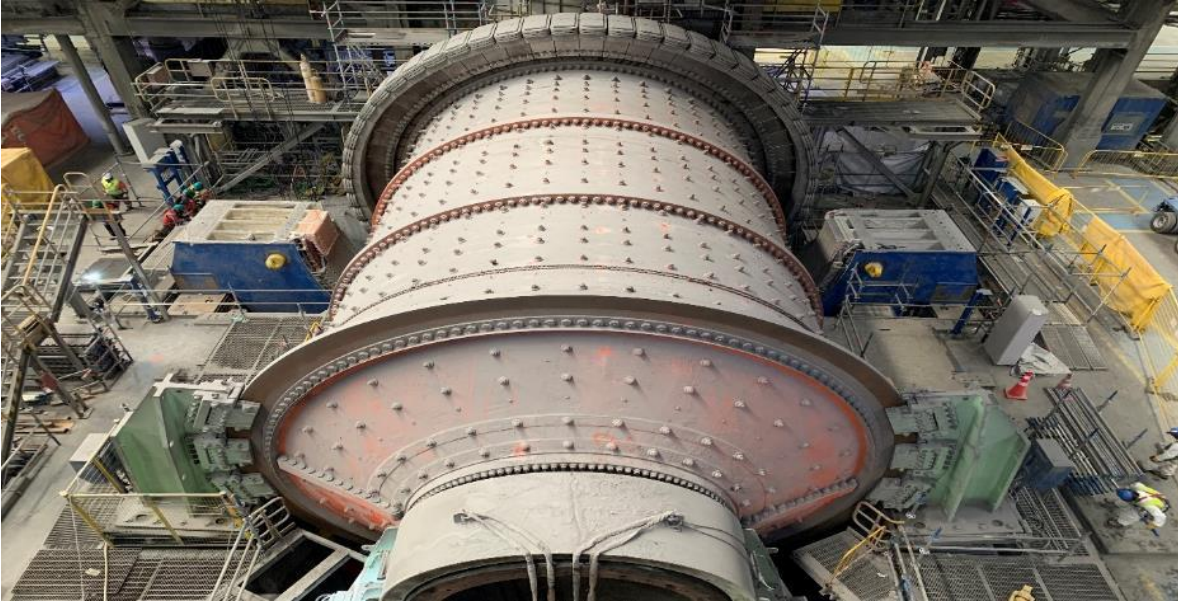


Figura A.23 Izaje y Montaje de los cuartos superiores.



Figura A.24 Finalización de montaje y posicionamiento de Cuartos de Estator.



Figura A.25 Reparaciones de Bobinado de Cuartos Inferiores



Figura A.26 Montaje y Posicionamiento de Trunnion Liner



Figura A.27 Alineamiento de Polos y Torque de Pernos Molino.



Figura A.28 Montaje de vigas magnéticas Tromell



Figura A.29 Alineamiento y Torque de Trunion Liner



Figura A.30 Montaje de Estructura de protección Trunnion



Figura A.31 Instalación de Cierre perimetral y finalización de trabajos.



ANEXO B: PROGRAMA MAESTRO DEL PROYECTO

